



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL .

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

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

**TESIS DE GRADO**

Previa la obtención del Título de

**INGENIERO NAVAL**

Presentado Por:

Edgar Marcelo Cali Yambay

Guayaquil – Ecuador  
2006

## AGRADECIMIENTO

Al Dr. José R. Marín L., director de esta tesis, por su innegable labor en el desarrollo de la educación de la Ingeniería Naval en el país, a todos los profesores que durante mi ciclo estudiantil, me impartieron sus conocimientos para ser utilizados como herramienta en mi desarrollo profesional y a todas y cada una de las personas que de una u otra forma ayudaron a la culminación de este trabajo.

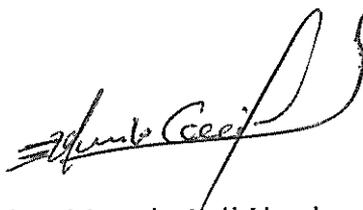
## **DEDICATORIA**

A Dios, a mis padres y a mi familia por su apoyo durante esta etapa de mi vida.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, corresponden exclusivamente a su autor, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado corresponderá a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL.)

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Edgar Marcelo Cali Yambay". The signature is stylized and written over a horizontal line.

Edgar Marcelo Cali Yambay

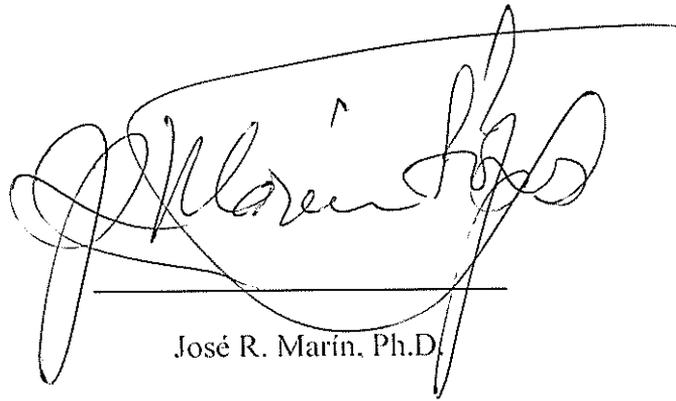
TRIBUNAL DE GRADO



---

Bolívar Vaca, M.Sc.

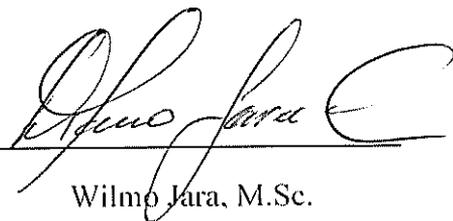
Presidente del Tribunal



---

José R. Marín, Ph.D.

Director de Tesis



---

Wilmo Jara, M.Sc.

Miembro Principal



---

Alejandro Chanabá, M.Sc.

Miembro Principal

## RESUMEN

A partir de la lista de embarcaciones nacionales preparado por la Dirección General de la Marina Mercante (DIGIMER), se establecieron en forma preliminar las dimensiones principales de un dique seco que permitiría servir al 85% de la flota nacional. Una vez definida la entrada del dique, se establecieron las dimensiones principales de la compuerta flotante. Con la información disponible acerca de compuertas de ese tipo y conociendo la forma de funcionamiento del sistema, se escogieron las formas adecuadas, para el caso analizado.

Para el análisis de estabilidad (que incluye las fuerzas del peso de la compuerta más el concreto vs. fuerza de boyantez), se dimensionó en forma preliminar la estructura, a fin de estimar el peso de la misma, para luego sumarlo a los de la maquinaria y accesorios. Posteriormente se estimó 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, hasta que alcance el calado igual a la profundidad del agua en el sitio de asentamiento. Finalizado el equilibrio de fuerzas se definió una distribución de la compuerta flotante, y, se escogió el tipo de sello necesario para lograr la impermeabilidad dentro del dique seco.

Se realizó luego un análisis detallado de la estructura en diferentes condiciones de carga, utilizando el método de Elementos Finitos, con la ayuda del programa ALGOR, y los módulos disponibles. Utilizando el criterio de falla "Tresca\*2", se compararon los valores de intensidad de esfuerzo con el de fluencia del acero, confirmándose la integridad de la estructura y estableciéndose el dimensionamiento definitivo de la misma.

Finalmente para probar la funcionabilidad del sistema, se construyó un modelo a escala 1:10 de la compuerta flotante y se adaptaron las instalaciones que permitieron simular la operación del sistema. Antes del desarrollo de las pruebas fue necesario realizar un experimento de inclinación del modelo a fin de conocer parámetros hidrostáticos, que permitieron luego estimar cantidad y posición de pesos dentro del modelo de la compuerta, a fin de establecer similitud entre el modelo y prototipo. Posteriormente se desarrollaron las pruebas de traslado a sitio, flotación y reflote de la compuerta, además de la verificación del sellamiento hacia el interior del dique. Todo esto permitió establecer la funcionabilidad del sistema para su implementación en nuestro país.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
RESUMEN .....	IV
INDICE GENERAL .....	VI
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS .....	VIII
INDICE DE TABLAS .....	X
INDICE DE FIGURAS .....	XI
INTRODUCCIÓN .....	XIV
1. DIMENSIONAMIENTO PRELIMINAR DEL DIQUE SECO .....	1
1.1 Alcance del proyecto .....	1
1.2 Actualización de Requerimientos y Dimensiones Preliminares del dique seco.....	2
2. DISEÑO DE LA COMPUERTA FLOTANTE .....	10
2.1 Descripción del Funcionamiento y Formas de la compuerta .....	10
2.2 Dimensionamiento Estructural .....	17
2.3 Equilibrio Estático .....	28
2.4 Distribución General .....	40
2.5 Opciones de Sellado .....	41
3. ANALISIS ESTRUCTURAL DE LA COMPUERTA FLOTANTE .....	43
3.1 Cargas Aplicadas y Condiciones de Frontera .....	43
3.2 Modelización de la estructura .....	48
3.3 Cálculo de Esfuerzos y Deformaciones .....	55
3.4 Consideraciones posteriores al Análisis .....	67
4. PRUEBAS DEL FUNCIONAMIENTO DEL MODELO DE LA COMPUERTA.....	74
4.1 Construcción del modelo de la Compuerta Flotante .....	74

4.2 Pruebas del sistema .....	81
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	93
ANEXO 1.- Listado de la Flota Mercante Nacional .....	98
ANEXO 2.- Formulaciones utilizadas para el cálculo de esfuerzos .....	101
ANEXO 3.- Resumen de cálculos de esfuerzos .....	104
ANEXO 4.- Cálculo de Pesos .....	101
ANEXO 5.- Catálogo de sellos de caucho .....	114
ANEXO 6.- Diagrama de flujo para el análisis estructural con ALGOR .....	116
BIBLIOGRAFÍA .....	117

## ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

%	Porcentaje
V	Volumen de desplazamiento
°	Grados
$\Delta$	Desplazamiento en Toneladas
$\theta$	Angulo de inclinación
$\sigma$	Esfuerzo
a	Lado corto del panel
ABS	valor absoluto
b	Lado largo del panel
Bb	Babor
BM	Distancia entre el metacentro y centro de boyantez transversal
cm	Centímetros
d	Distancia
DESP	Desplazamiento
di	Distancia trasladada
DIGMER	Dirección General de la Marina Mercante y del Litoral
dx	Desplazamiento en sentido del eje "X"
dy	Desplazamiento en sentido del eje "Y"
dz	Desplazamiento en sentido del eje "Z"
Gal.	Galones
GG1	Movimiento debido al efecto de superficie libre
GMT	Altura metacéntrica transversal
H	Calado
IASC	International Association of Classification Societies
Ixx	Inercia del plano de flotación respecto del eje X
k	Factor para el cálculo de esfuerzos terciarios
KB	Centro de Boyantez
KG	Centro de gravedad longitudinal
Kg.	Kilogramos Newton
KMT	Radio metacéntrico transversal
L	Eslora
I	Longitud
LC	Línea de crujía
M	Manga
m	Metros

MAX	Valor máximo
MEF	Método de Elementos Finitos
MF	Momento Flector
mm	Milímetros
MS	Modulo seccional
Mz	Momento en Z
P	Presión
P	Puntal
pi	Peso trasladado
Plg.	Pulgadas
S1	Esfuerzo normal en el plano "X"
S2	Esfuerzo normal en el plano "Y"
S3	Esfuerzo normal en el plano "Z"
Sb	Estribor
t	Espesor
Tan	Tangente
tk	Espesor de aumento por corrosión
Tk.	Tanque
tkf	Aumento de espesor en alma de refuerzo estructural
tkw	Aumento de espesor en ala de refuerzo estructural
Ton.	Toneladas
tr	Espesor requerido
TRB	Tonelaje de registro bruto
Vs.	Versus
w	Peso
wk.	Factor de aumento del modulo seccional en estructurales, debido a corrosión
z	Distancia vertical

## INDICE DE TABLAS

No	Pág.
1.- Porcentajes de mercado cubierto e incremento para diques de diferentes esloras.....	3
2.- Calados en condiciones Ligero y cargado .....	6
3.- Aumento de espesor de planchaje .....	26
4.- Aumento del módulo seccional .....	26
5.- Dimensionamiento final de la estructura .....	27
6.- Calados y KG debido a la colocación de lastre fijo .....	30
7.- Calculo de KMT para diferentes calados .....	31
8.- Cubitaje de Tanques .....	35
9.- Posición final corregida del centro de gravedad .....	38
10.- Fuerzas aplicadas debido a los diferentes pesos .....	49
11.- Distribución de Presiones por Superficie .....	51
12.- Resumen de Esfuerzos .....	62
13.- Resumen de desplazamientos .....	66
14.- Espesores iniciales y finales del planchaje .....	68
15.- Escantillones iniciales y finales de los Refuerzos .....	69
16.- Resumen de Esfuerzos, antes y después de la reducción de escantillones ....	73
17.- Datos del experimento de inclinación .....	83
18.- Estimación de Pesos a colocar en el modelo .....	85

## INDICE DE FIGURAS

No	Pág.
1.- Porcentaje del mercado para diferentes esloras de dique .....	3
2.- Mangas máximas de Buques con esloras mayores a 90 metros .....	4
3.- Calados a plena carga .....	5
4.- Esquema del Dique Seco y Compuerta Flotante .....	9
5.- Traslado de la compuerta al sitio de asentamiento .....	10
6.- Hundimiento y Vaciado de interior de dique .....	12
7.- Esquema de dique seco con varias compuertas .....	13
8.- Foto tomada desde el interior del dique seco de Talcahuano .....	14
9.- Foto tomada desde el interior del dique seco del Astillero Mahua .....	15
10.- Plano General de la compuerta flotante .....	16
11.- Condiciones de carga que soporta la estructura .....	18
12.- Distribución de presión .....	19
13.- Arreglo estructural de la Sección maestra .....	20
14.- Vista frontal de la estructura .....	20
15.- Dimensión de estructurales y puntos a ser analizados .....	22
16.- Puntos de análisis en tercera aproximación .....	24
17.- Curva de desplazamiento .....	29
18.- KG y KMT vs. Calados .....	32
19.- Calados vs. Peso de lastre añadido .....	32
20.- Inclinación de 25° a diferentes calados .....	34

21.- Angulo de escora para descubrir plano .....	36
22.- KG-KMT finales Vs. Calados .....	39
23.- Distribución General de la Compuerta Flotante .....	40
24.- Sellos de Caucho seleccionados .....	41
25.- Detalle del sellamiento .....	42
26.- Fuerzas aplicadas para la condición 1 .....	44
27.- Fuerzas aplicadas para la condición 2 .....	45
28.- Fuerzas aplicadas para la condición 3 .....	47
29.- Representación de la Compuerta para las condiciones 1 y 2 .....	52
30.- Representación de la Compuerta para la condición 3 .....	53
31.- Interior del modelo representado con MEF .....	54
32.- Distribución de Esfuerzos para la Primera Condición .....	56
33.- Distribución de Esfuerzos en el interior de la compuerta (Condición 1) .....	56
34.- Distribución de Esfuerzos para la Segunda Condición .....	57
35.- Distribución de Esfuerzos en el interior de la compuerta (condición 2) .....	58
36.- Distribución de esfuerzos para la tercera condición de carga .....	59
37.- Zona crítica en división de tanques de lastre fijo con móvil .....	60
38.- Niveles de esfuerzos en el interior de la compuerta (Condición 3) .....	61
39.- Perfil Deformación para la condición de carga 3 .....	63
40.- Niveles de deformaciones .....	64
41.- Distribución de Esfuerzos con nuevo dimensionamiento estructural .....	70
42.- Distribución de Esfuerzos en el Interior (nuevo dimensionamiento) .....	71

43.- Niveles de Deformaciones (nuevo dimensionamiento) .....	72
44.- Plano del modelo de la compuerta flotante .....	74
45.- Corte de piezas para la construcción del modelo .....	75
46.- Modelo en fase de ensamblaje .....	76
47.- Estructura externa del modelo .....	77
48.- Estructura terminada mostrando los dos tanques de agua de lastre .....	77
49.- Modelo terminado mostrando el sello de caucho en el borde .....	78
50.- Instalaciones para realización de las pruebas .....	79
51.- Modelo presentado dentro de las instalaciones .....	80
52.- Movimiento de pesos para el experimento de inclinación .....	82
53.- Foto de la Prueba de inclinación .....	83
54.- Sumatoria ( $\pi \times di$ ) Vs. Tangente (0) .....	84
55.- Compuerta en condición de flotación de diseño .....	86
56.- Traslado del modelo al sitio de asentamiento .....	87
57.- Llenado de tanques de agua de lastre .....	88
58.- Vaciado del interior del dique .....	89
59.- Compuerta actuando como medio de estanqueidad al interior del dique .....	90
60.- Llenado del interior del dique y vaciado de los tanques de lastre .....	91
61.- Reflote y retirada de la compuerta del sitio de entrada al dique .....	92

## 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.

Debido a que en el país no se cuenta con este tipo de diques, al concluir este trabajo se dispondrá de información acerca del diseño y comportamiento de la compuerta flotante, cuando se encuentre expuesta a diferentes situaciones operativas. Se contará también con un análisis estructural detallado del sistema, lo que permitirá afirmar que soportará las cargas actuantes durante su operación. Todo esto permitirá confiar en la funcionalidad de este tipo de compuerta, lo que podría finalmente llevar a su implementación.

## CAPITULO I

### DIMENSIONAMIENTO PRELIMINAR DEL DIQUE SECO

#### 1.1 ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto a desarrollarse comprende el diseño de una compuerta flotante como medio de cierre para un dique seco para satisfacer las necesidades locales de reparación de buques. Para que este diseño tenga consistencia se debe conocer las características principales del dique seco, ya que la entrada definirá las dimensiones de la compuerta flotante. Por esta razón se hace necesario empezar este trabajo con una actualización de requerimientos que permita la elección de dimensiones del dique. Debe insistirse que no se pretende diseñarlo, ni tampoco seleccionar su ubicación, sino definir las características que permitan la entrada de embarcaciones cuyas características hacen que no puedan ser carenados en varaderos actualmente en operación en nuestro medio.

En un trabajo anterior, Rodas F., "Estudio de la necesidad, dimensionamiento e implantación de un dique seco para servir a la flota mercante de tráfico internacional", [10], se definieron las dimensiones y ubicación de un dique seco en nuestro país. Dicho estudio ha sido tomado como referencia para el dimensionamiento del dique, pero ha sido actualizado y limitado para

embarcaciones nacionales operando en nuestro territorio. Una vez seleccionadas las dimensiones del dique se procederá al diseño detallado de la compuerta flotante.

## **1.2 ACTUALIZACIÓN DE REQUERIMIENTOS Y DIMENSIONES PRELIMINARES DEL DIQUE SECO**

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, [3], se presenta en el Anexo 1. A partir de dicha información se seleccionan las dimensiones principales del dique, estas son eslora, manga y puntal. Se considera que las dimensiones abarquen gran cantidad del mercado, pero también no deben producir desperdicio de espacio en el caso del carenamiento de los buques más pequeños considerados en este trabajo.

**Eslora.-** Para la selección se considera que la eslora debe estar por encima de la eslora de una embarcación mayor, pero también que permita abarcar gran cantidad de la flota nacional; además se considera un margen de espacio para permitir facilidades en los trabajos de carenamiento y maniobrabilidad al varar el buque. En la tabla No. 1 se muestran los porcentajes del mercado que se cubrirán para diferentes esloras del dique; también se presenta el incremento en porcentaje que se obtendría al aumentar la dimensión en 10 metros.

Esloza Dique	Rango de esloza (m) Embarcaciones	Número de Buques	Porcentaje del Mercado	Incremento porcentaje
60	45 < L < 60	49	48%	48%
70	45 < L < 70	66	65%	17%
80	45 < L < 80	77	75%	11%
90	45 < L < 90	86	84%	9%
100	45 < L < 100	89	87%	3%
110	45 < L < 110	98	96%	9%
230	L > 110	102	100%	4%

Tabla No. 1

Porcentajes de mercado cubierto e incremento para diques de diferentes esloras

El gráfico mostrado a continuación presenta, para diferentes esloras, el porcentaje del mercado que se abarcaría al seleccionar esta medida.

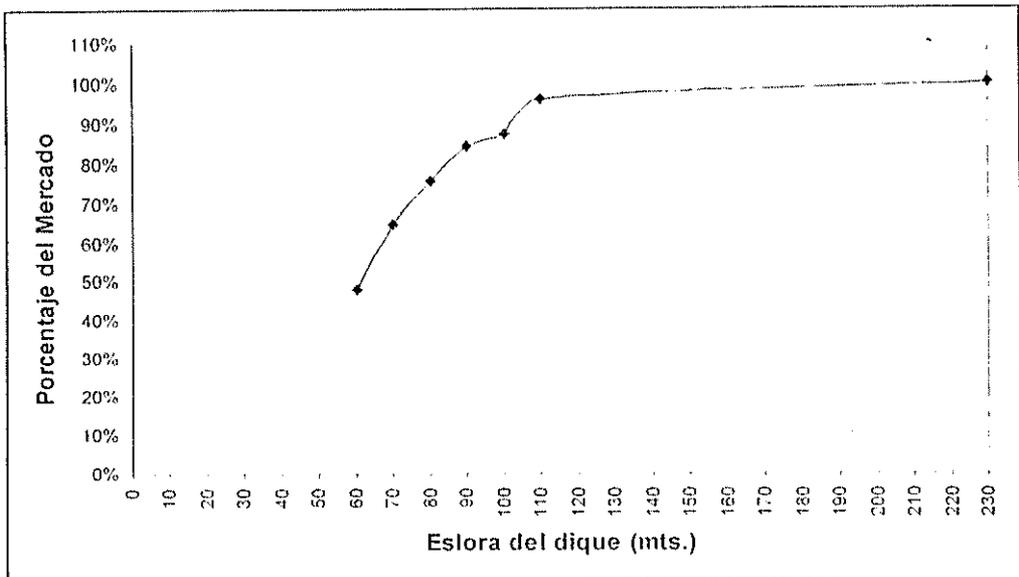


Figura No. 1

Porcentaje del mercado para diferentes esloras de dique

La eslora escogida es 90 metros, con la cual se podrá dar servicio al 84% de la flota nacional mayor a 45 metros de eslora, e inclusive con la posibilidad de prestar servicio a 2 buques simultáneamente dependiendo de sus dimensiones. Finalmente considerando 5 metros de margen para facilidades de operabilidad, se selecciona una eslora de 95 metros para el dique seco.

**Manga.-** El rango de embarcaciones se ve reducido a buques con esloras menores a 90 metros, por lo tanto se escogerá la mayor manga para este rango. En la figura No. 2 se presentan las mangas para los diferentes buques incluidos en este rango.

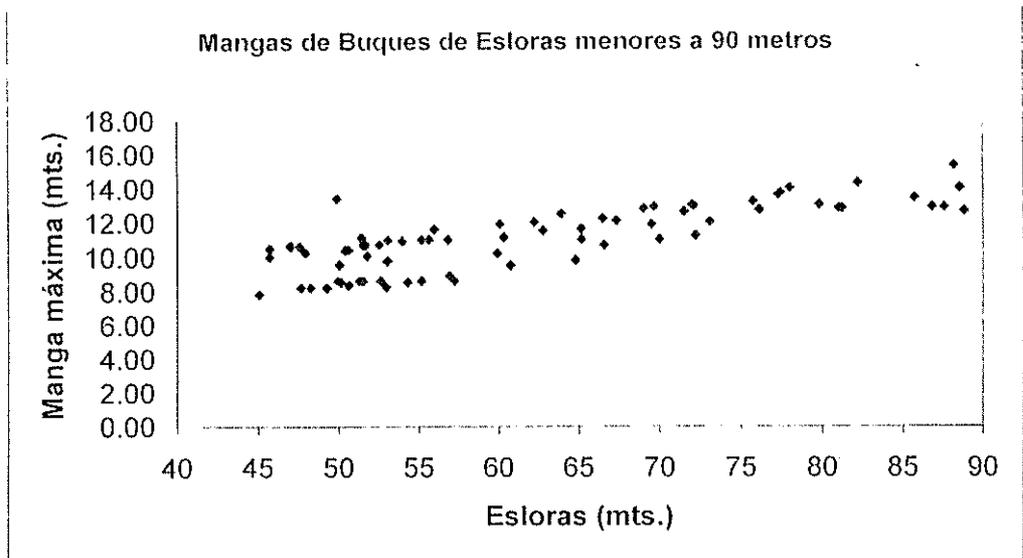


Figura No. 2

Mangas máximas de Buques con esloras mayores a 90 metros

De la figura anterior se observa que la manga máxima es de 16 metros; además se considera un espacio de 1 metro a cada lado para facilidad de trabajos y colocación de accesorios de protección, por lo tanto la manga seleccionada para el dique seco es de 18 metros.

**Calado.-** Con el mismo criterio anterior se selecciona el calado. Los calados a plena carga para las diferentes embarcaciones son presentados en la figura No. 3.

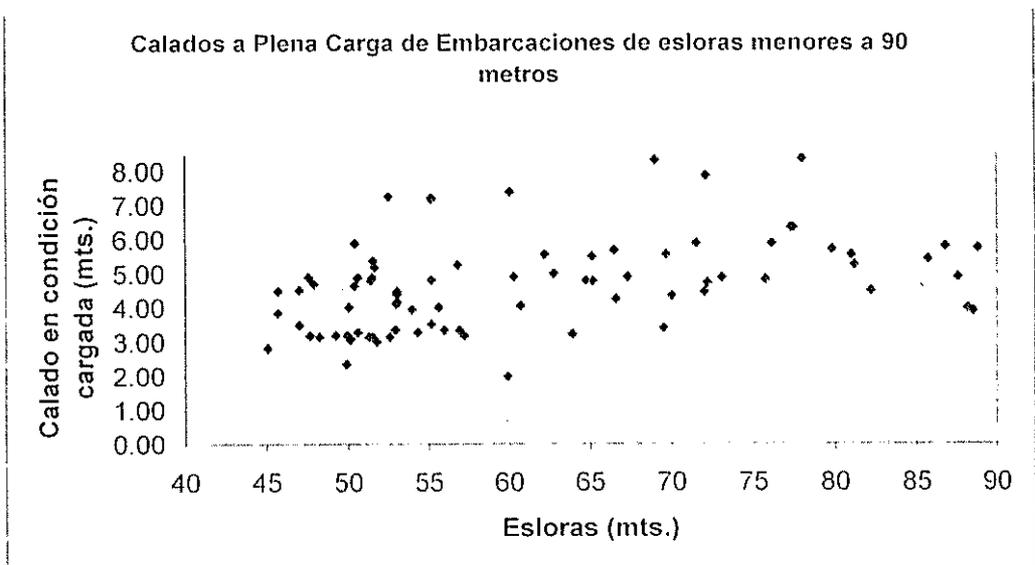


Figura No. 3

Calados a plena carga

Como se observa en la figura anterior los calados de las embarcaciones consideradas están por debajo de 8.40 metros y corresponden a barcos pesqueros atuneros. Las embarcaciones al ingresar a dique para su carenamiento, lo deben hacer en condición

ligera, por lo tanto el cálculo del calado para el dique debe hacerse bajo esa condición. A continuación se presenta una tabla con calados para diferentes embarcaciones atuneras tomado de la tabla 2, 3 y 4 de la parte VI de la referencia [12]

Eslora (metros)	Calado (metros)		Relación ligero/cargado
	Ligero	Cargado	
19.85	1.14	1.64	0.70
33.4	1.844	2.902	0.64
38.1	1.843	3.055	0.60
56.8	2.209	4.285	0.52
72.8	2.256	4.948	0.46
88	2.507	4.635	0.54

Tabla No. 2 (REF. 10)

#### Calados en condiciones Ligero y cargado

Las relaciones entre calados ligero y cargado están entre 40 y 70 por ciento, para este caso se toma como relación el 60 por ciento, por lo tanto el máximo calado en carga de 8.40 metros se reduce en condición ligera a aproximadamente 5.05 metros, medido desde la línea por encima de los picaderos.

Para seleccionar la profundidad del dique se considera además del calado, la altura de picaderos y la distancia vertical entre la línea de agua y la parte más alta del dique. Considerando 1 metro de altura de picaderos y 50 centímetros de distancia desde la línea de agua hasta el tope superior del dique, se tiene que la profundidad será de 6.55 metros.

Finalmente las dimensiones principales del dique seco para el presente trabajo son:

**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**

Con las dimensiones principales del dique seco se define también la entrada del dique, por lo tanto las dimensiones de la compuerta estarán sujetas a esta. La eslora de la compuerta quedará definida por la manga del dique más 80 centímetros (se toma 40 centímetros a cada lado) que permitirá el apoyo de esta sobre la superficie del canal de entrada del dique, entonces la eslora de la compuerta deberá ser 18.80 metros. El puntal será la profundidad del dique más 40 centímetros por el mismo motivo anterior, por lo tanto esta dimensión tendrá un valor de 7 metros. La manga de la compuerta depende de la capacidad de los tanques de agua que se necesite para hundir la compuerta. Como no se conoce todavía la cantidad de lastre necesario, se toman como referencia las dimensiones de la compuerta flotante del Astillero Mahua, [1], cuyas relaciones adimensionales son:

$$\text{Eslora/Manga} = 3.666$$

$$\text{Puntal/Manga} = 1.666$$

De las relaciones anteriores, tomando en cuenta la eslora y el puntal ya seleccionados, se tiene que la manga debe estar entre 4.20 y 5.12 metros, por lo que se toma un valor de 4.50 metros. Posteriormente en la sección 2.2 de este estudio se definirá si esta dimensión debe ser modificada de acuerdo a la capacidad de lastre requerido. Finalmente las dimensiones de la compuerta flotante son:

**Eslora (Longitud):** 18.80 metros

**Puntal (Altura):** 7.00 metros

**Manga (Ancho):** 4.50 metros

Un esquema del dique seco y la compuerta Flotante con las dimensiones principales son presentadas a continuación en la figura No. 4

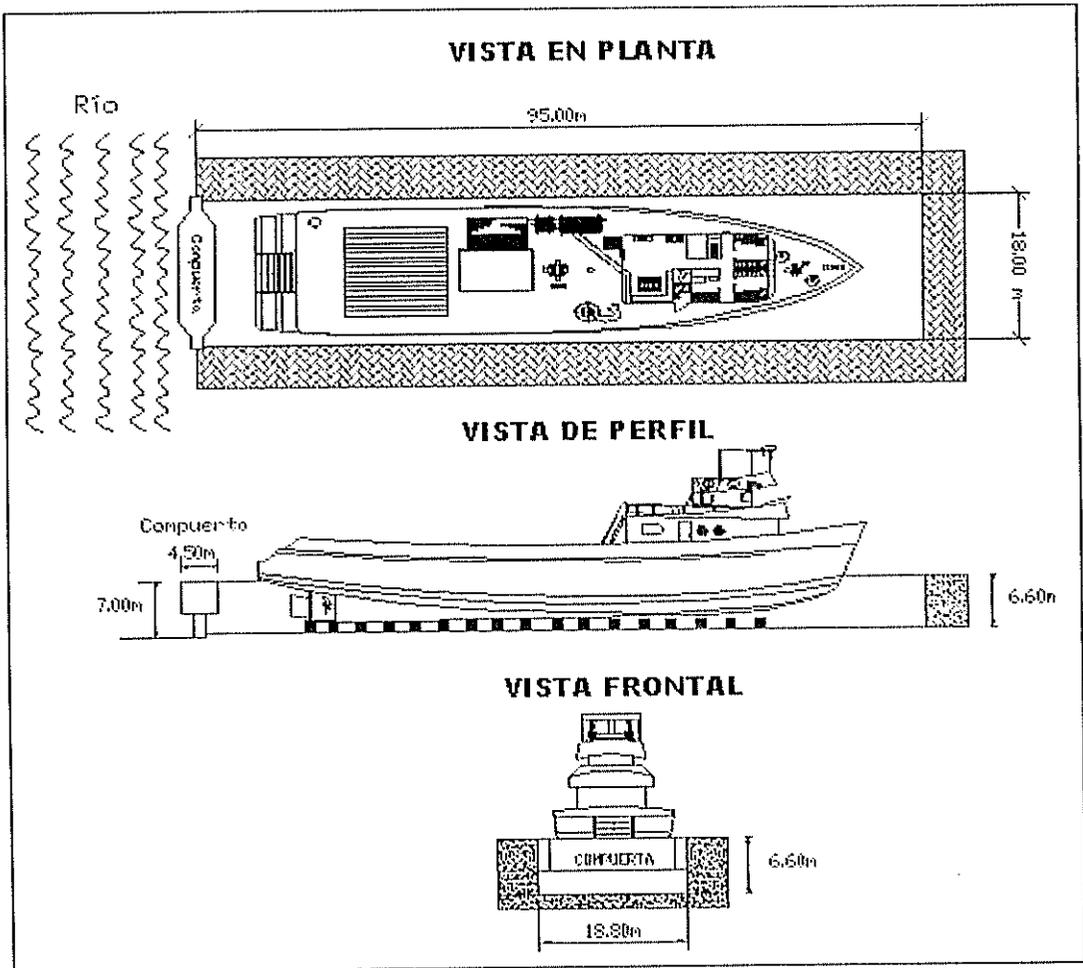


Figura No. 4 Esquema del Dique Seco y Compuerta Flotante

## CAPITULO 2

### DISEÑO DE LA COMPUERTA FLOTANTE

#### 2.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO Y FORMAS DE LA COMPUERTA

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.

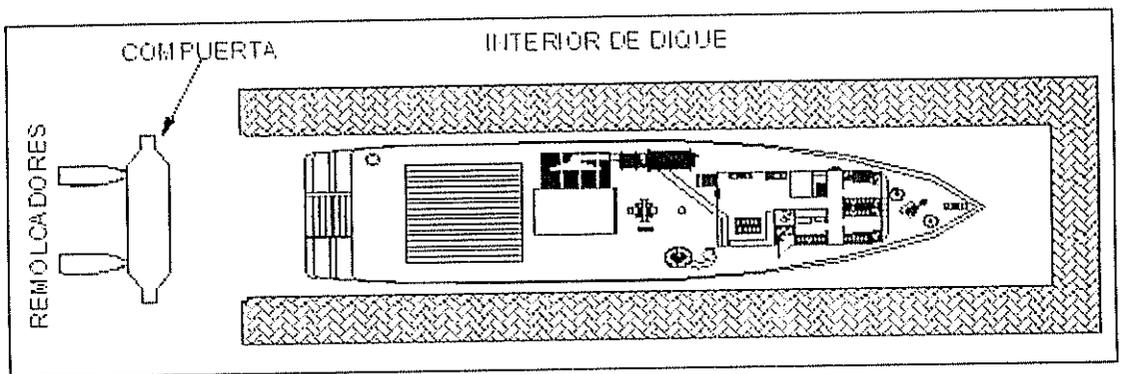
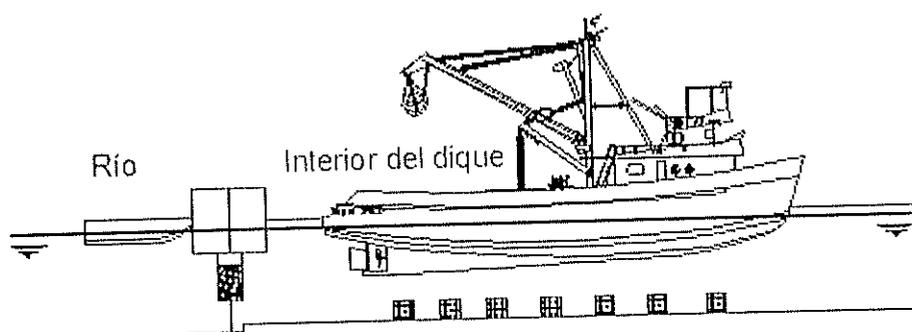
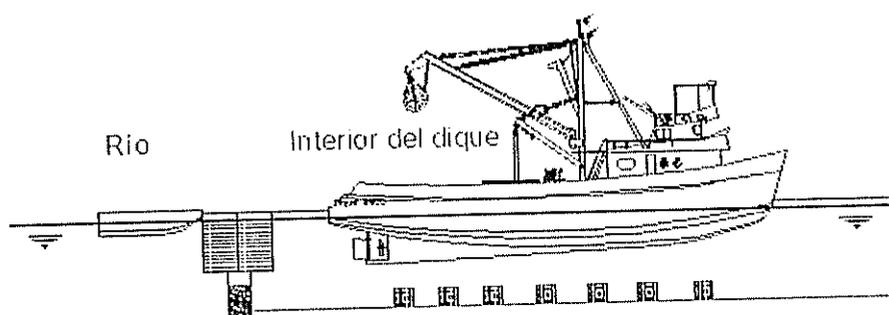


Figura No. 5 Traslado de la compuerta al sitio de asentamiento

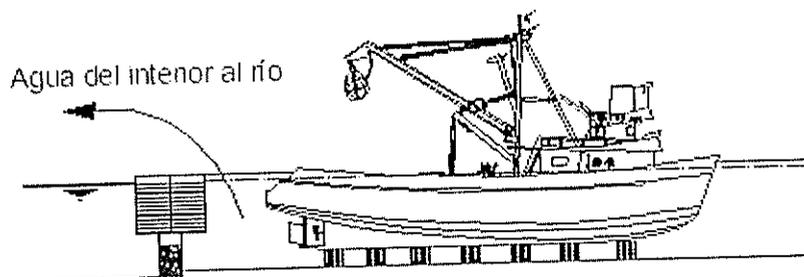
Ya en el sitio de asentamiento se inundan los tanques de lastre líquido hasta que la parte inferior de la compuerta haga contacto con el canal de asentamiento, y en este momento se interrumpe el lastrado de los compartimentos. Al mismo tiempo los remolcadores y/o los cabrestantes ejercen una presión 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.



a) Compuerta en sitio de asentamiento



b) Llenado de tanques de Lastre e hundimiento de Compuerta Flotante



c) Vaciado del interior del dique y varada de buque

Figura No. 6 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.

### Formas de Compuertas Flotantes

La forma más simple para una compuerta flotante es la de cajón (rectangular), sin embargo existen varias formas de compuertas en diferentes astilleros que han sido implementadas según sus necesidades. El dique seco de Talcahuano en Chile tiene varias compuertas que permiten el carenamiento independiente de varios buques, simultáneamente, en caso de ser necesario. Un esquema de este dique se muestra a continuación.

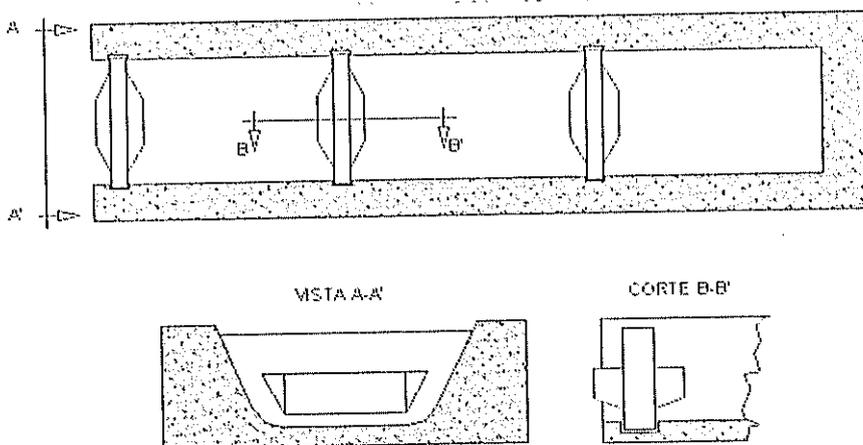


Figura No. 7 Esquema de dique seco con varias compuertas.

Como se puede observar en el corte B-B' de la figura anterior los contornos de la compuerta descansan sobre un canal en forma de "U", lo que permite tener la posibilidad de permeabilizar compartimentos del dique en ambos lados de la compuerta, de acuerdo a las necesidades de carenamiento de buques. Debido a que los contornos de la compuerta deben entrar en el canal antes mencionado, en dicho dique se implementó una compuerta de forma Trapezoidal, que le permite entrar flotando al lugar de asentamiento para posteriormente hundirse y calzar en el canal; de otra forma la compuerta no podría entrar ya que chocaría contra la pared de dicho canal. Una mejor ilustración de la forma de esta compuerta flotante se presenta en la figura siguiente.

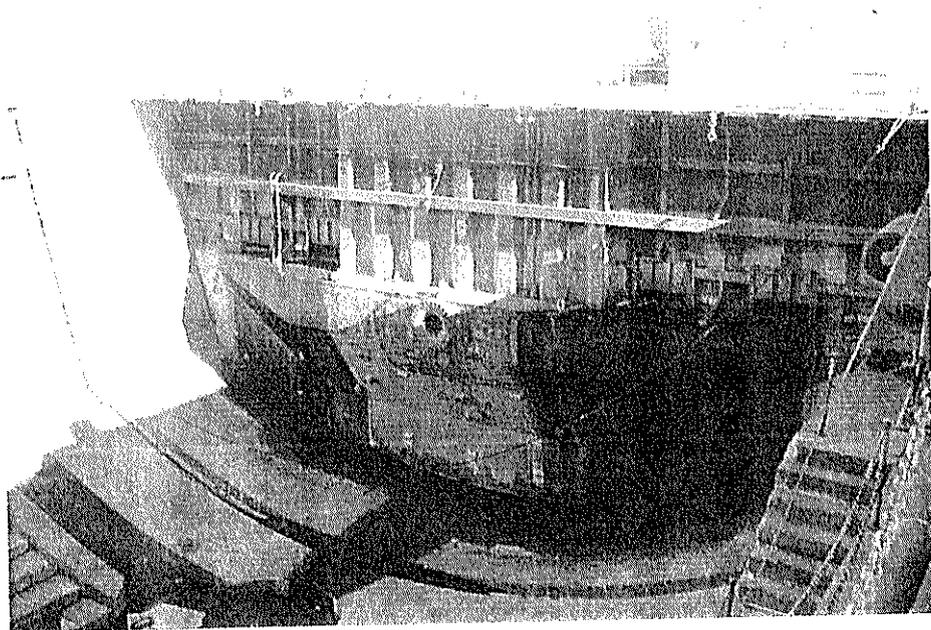


Figura No. 8 Foto tomada desde el interior del dique seco de Talcahuano [5]

El dique seco del Astillero "Mahua", en la ciudad de Niteroi en Brasil, posee una sola compuerta flotante permitiendo la impermeabilidad hacia un solo lado de la compuerta (interior del dique). por esta razón no es necesario que el nicho de asentamiento sea cerrado. En este caso un canal en forma de "L" permite fácilmente a la compuerta el contacto de los bordes con el nicho de asentamiento del dique. Debido a estas razones la forma rectangular de la compuerta permite sin ningún problema la operación de sellado. Una ilustración de la forma de esta compuerta flotante se presenta en la figura siguiente.

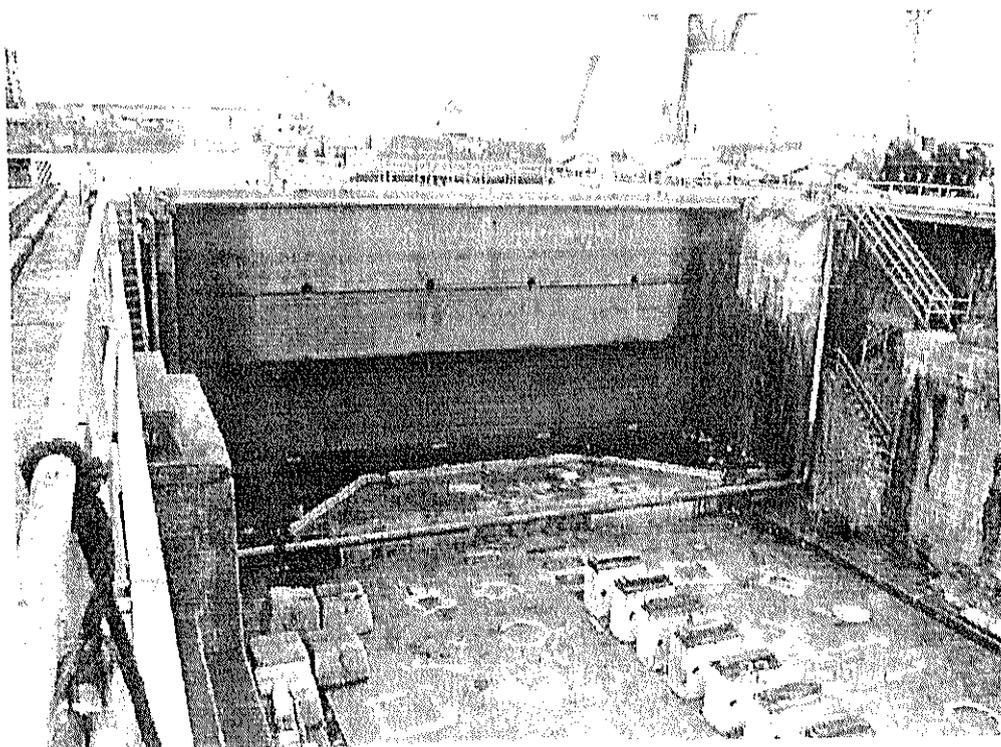


Figura No. 9 Foto tomada desde el interior del dique seco del Astillero Mahua [1]

Para el caso de este trabajo se considera un dique seco de una sola compuerta, por lo que la forma escogida será la rectangular, con tanques de agua de lastre en la parte superior. Un plano preliminar de las formas con las dimensiones principales ya seleccionadas en el Capítulo 1, para la compuerta flotante a diseñar, se presenta en el gráfico siguiente.

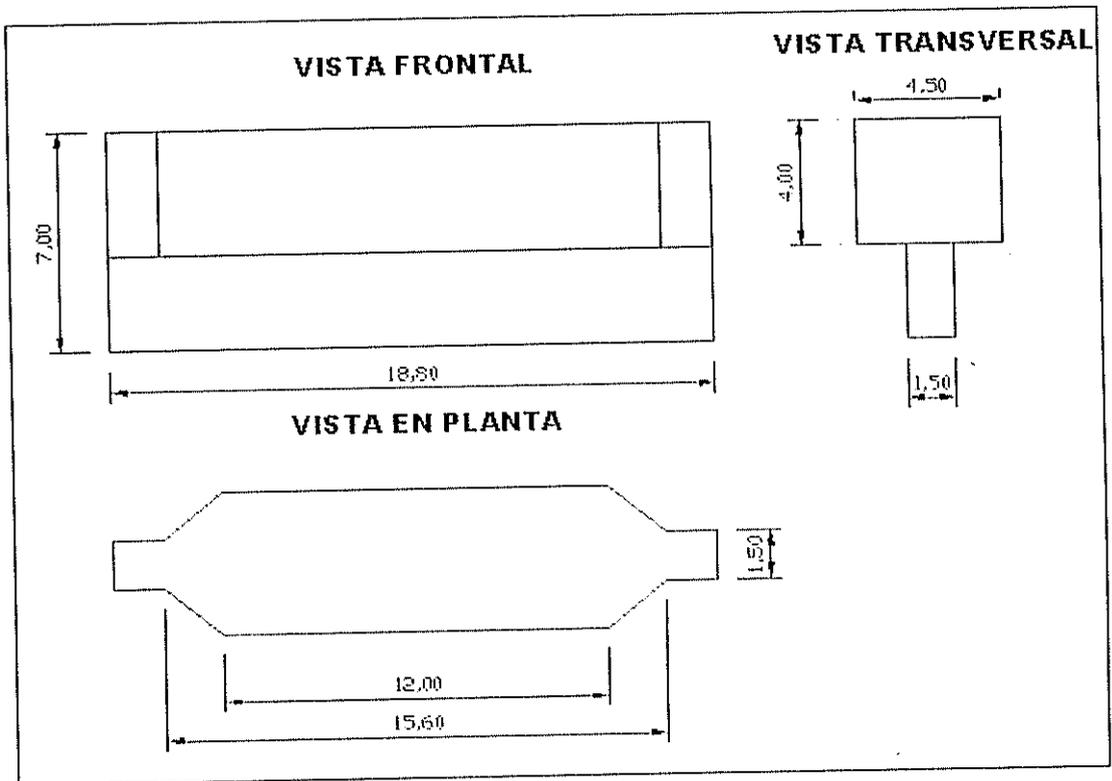


Figura No.10 Plano General de la compuerta flotante (Dimensiones en metros)

## 2.2 DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURAL

Se va considerar una estructura longitudinal compuesta de cuadernas transversales con igual espaciamento entre ellas, refuerzos longitudinales y forro de planchas de acero naval. Se dimensiona la parte inferior de la compuerta (compartimentos de lastre fijo), debido a que esta soportará la mayor presión en operación. Las otras dimensiones son reducidas en un porcentaje en relación a los obtenidos para los compartimentos inferiores. Esto permitirá obtener un dimensionamiento preliminar de la estructura, que permita aproximar el peso de la misma. En el capítulo tres se desarrollará el análisis de esfuerzos utilizando el Método de Elementos Finitos (M.E.F), y en el caso de ser necesario se reforzará la estructura, obteniendo así el diseño estructural definitivo.

### Condiciones de carga

Se comparan tres condiciones de carga a las que va a estar sometida la estructura, estas son:

1. Compuerta flotando al calado de diseño, sin agua de lastre.
2. Compuerta asentada en el fondo, con los tanques de agua de lastre llenos y soportando la presión del agua en ambos lados de la compuerta flotante y,
3. Compuerta asentada en el fondo, con los tanques de agua de lastre llenos y soportando la presión del agua de un solo lado de la compuerta.

En los cálculos se consideran las condiciones más exigentes, esto es, la 2 y la 3, con una altura de agua igual a 7 metros, tomando el caso de que el nivel de marea alcance el tope superior de la compuerta. Las tres condiciones de carga se ilustran en la siguiente figura.

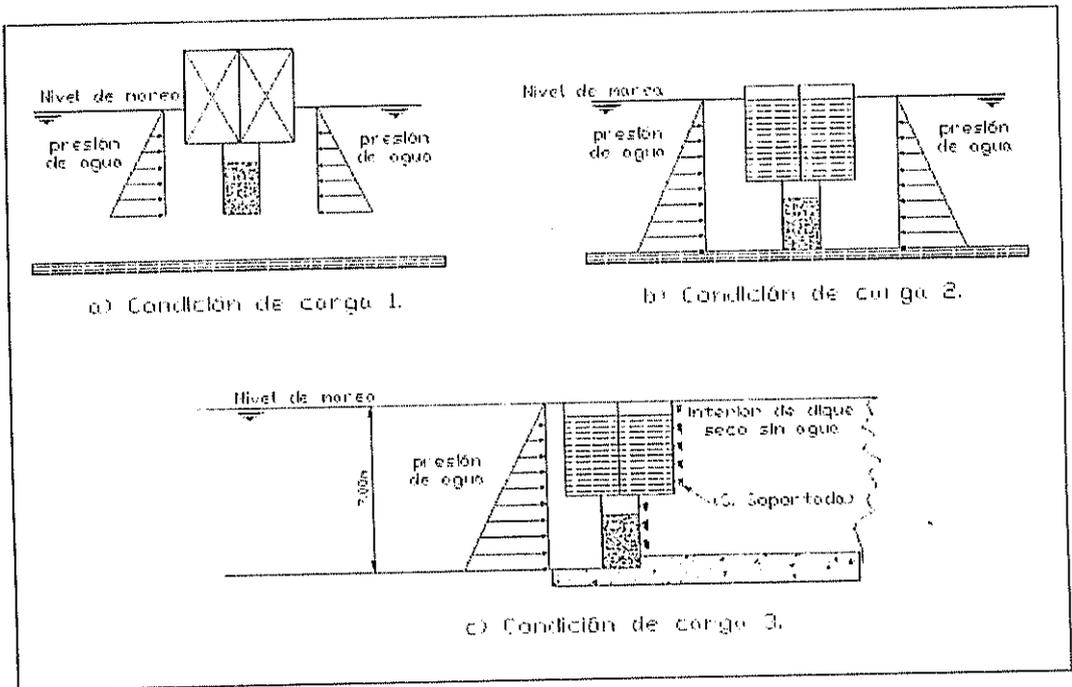


Figura No. 11 Condiciones de carga que soporta la estructura

La distribución de presión sobre la estructura es de forma linealmente variable en dirección vertical. Para simplificar los cálculos se asumen varias distribuciones rectangulares de presión que varían según la profundidad y valuada a  $3/4$  de la altura considerada. En el gráfico siguiente se muestra la distribución de presiones real y la simplificada para diferentes alturas de agua.

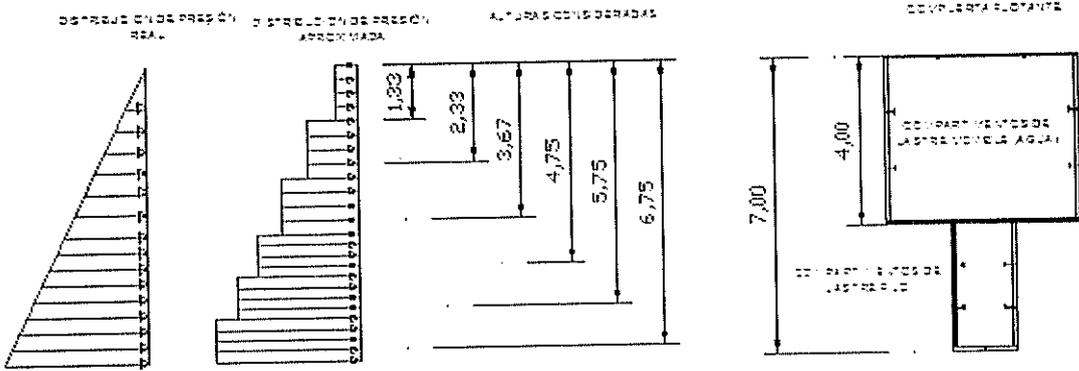


Figura No. 12 Distribución de presión

### Descripción Estructural

El arreglo de la cuaderna maestra (sección transversal) donde se describe los elementos estructurales y una vista frontal donde se muestra la ubicación de los mamparos son mostrados en los gráficos siguientes.

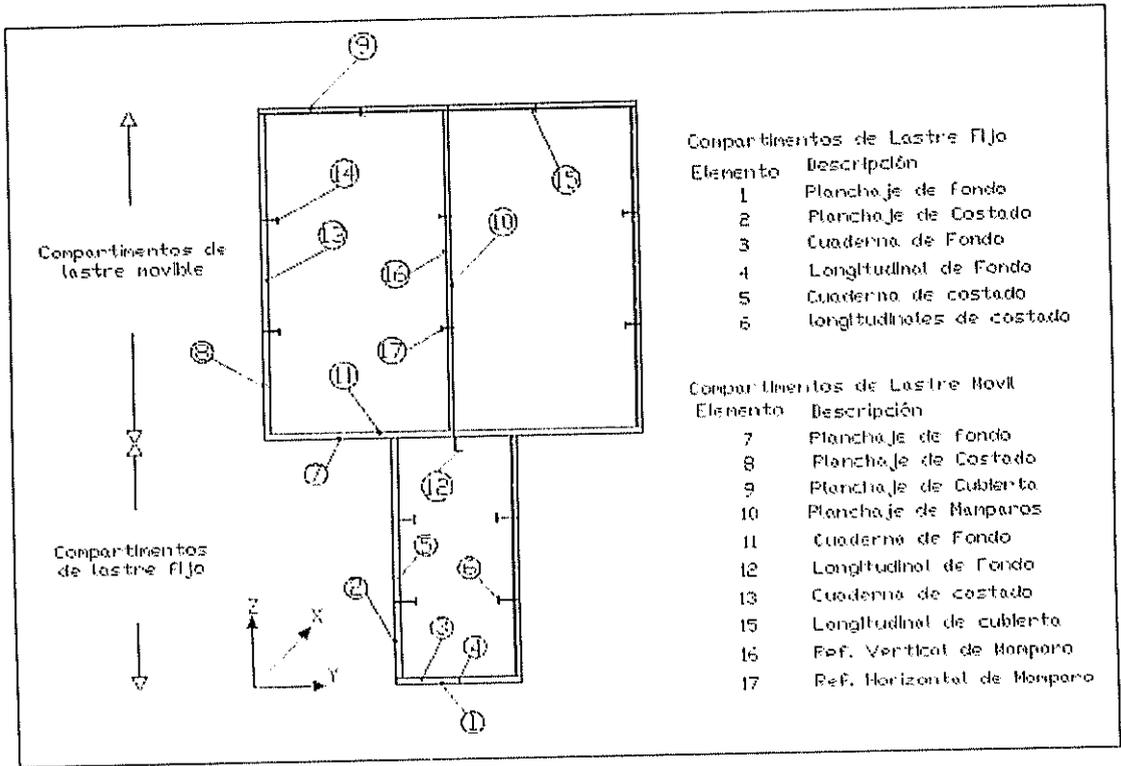


Figura. 13.- Arreglo estructural de la Sección maestra

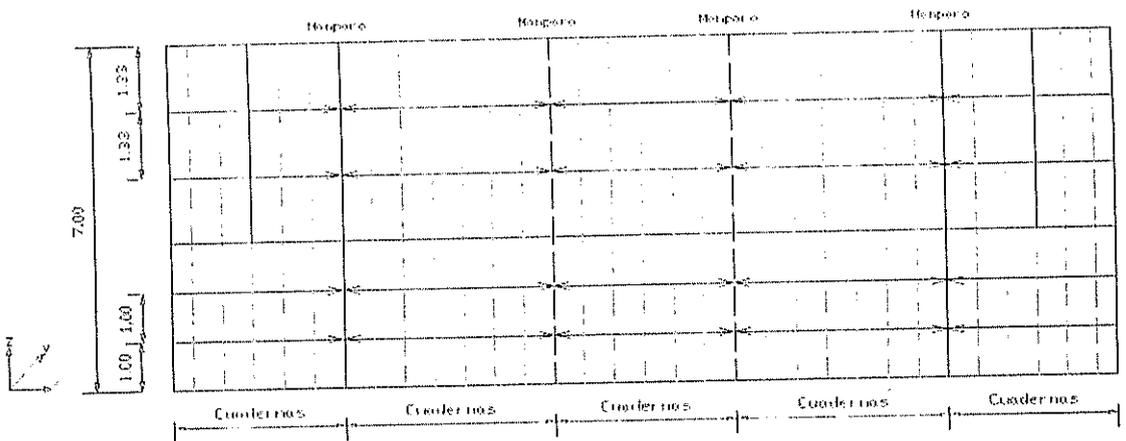


Figura 14.- Vista frontal de la estructura.

### **Cálculo Estructural**

Considerando la estructura de la compuerta como la de una embarcación, se calcularán los tres esfuerzos considerados en el área naval. El esfuerzo primario se toma como el 5% del esfuerzo de fluencia del acero; esto es debido a que la eslora de la compuerta es corta con respecto a su manga, por lo que los esfuerzos primarios esperados son bajos y pueden ser incluso absorbidos solo por el planchaje de la estructura. Los esfuerzos secundarios se calculan considerando la inercia propia de los refuerzos más el efecto de ancho efectivo de la plancha; para refuerzos primarios se calculará el ancho efectivo utilizando las recomendaciones de DNV, [2], y considerando sus extremos como empotrados, mientras que para refuerzos secundarios sus extremos se consideran como simplemente soportados y el ancho efectivo será el espaciamiento entre estos. Para los esfuerzos terciarios se considera la plancha como un panel con sus bordes empotrados. Finalmente se suman los tres esfuerzos y se verifica que estén por debajo del esfuerzo de fluencia del acero tomado como valor,  $2400 \text{ Kg/cm}^2$ . Las fórmulas utilizadas para los cálculos anteriores se presentan en el anexo 2.

### Primera Alternativa

Se considera una separación entre cuadernas de 80 centímetros y máxima separación entre mamparos de 480 centímetros. El dimensionamiento de la estructura y los puntos a ser analizados se describen en la figura siguiente.

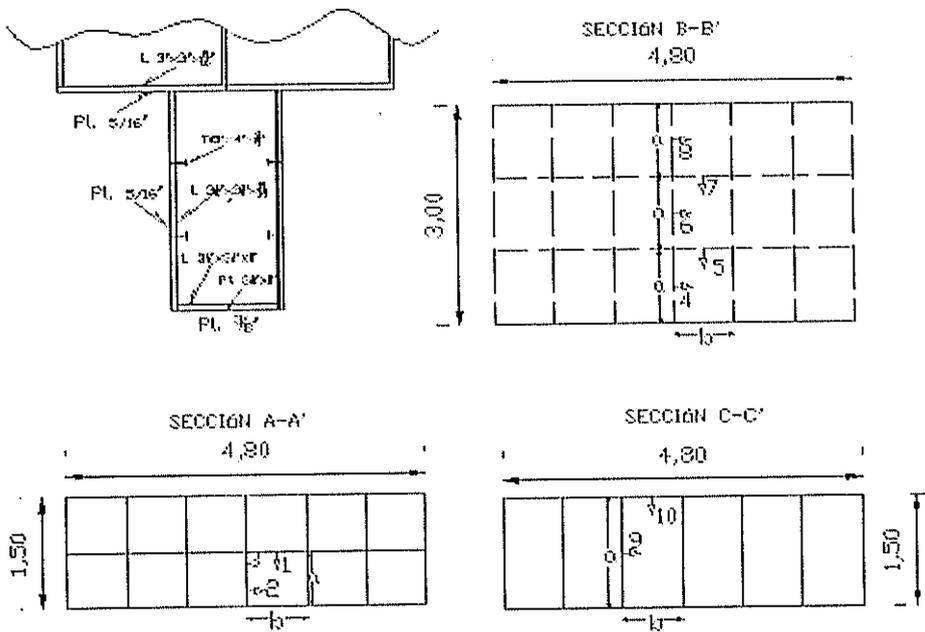


Figura 15. Dimensión de estructurales y puntos a ser analizados

En forma conservadora los esfuerzos secundarios y terciarios en los diferentes puntos se suman de manera directa, aunque sus direcciones sean perpendiculares. Los cálculos fueron realizados con la ayuda de una hoja electrónica, los mismos que son resumidos en las tablas del apéndice 3.

De los cálculos presentados en el anexo 3, se observa que los puntos 1, 4, 5, 6, 7, 8 y 9; presentan niveles de esfuerzos no aceptables, llegando incluso en el punto 5 a un valor de  $4488.54 \text{ Kg/cm}^2$ , es decir casi 2 veces el permisible; por lo que se probará con una segunda alternativa cambiando las dimensiones del arreglo estructural.

### **Segunda Alternativa.-**

En esta alternativa, se conserva el espacio entre cuadernas y los espesores de planchaje iniciales, pero se aumentan las dimensiones de los refuerzos estructurales. El dimensionamiento y los cálculos de los esfuerzos son presentados en el anexo 3.

Con esta segunda iteración se consiguió bajar los niveles de esfuerzo, sin embargo no se alcanza el nivel deseado. El esfuerzo total en el punto 2 ahora es inferior al permisible, mientras que los puntos 4, 5, 6, 7, 8, y 9, aún no llegan a valores aceptables, siendo el punto más crítico el número 5 cuyo esfuerzo total en esta iteración es de  $3926.51 \text{ Kg/cm}^2$ . Por las razones anteriores, se tendrá que realizar una tercera aproximación con una diferente alternativa.

### **Tercera alternativa**

Para disminuir los esfuerzos se puede considerar un aumento en los espesores de planchaje o una disminución en el espacio entre cuadernas. Para esta alternativa se redujo el espacio entre cuadernas a 60 centímetros, se aumentó el espesor del planchaje de costado donde se encuentra el punto 5, mientras que para los refuerzos

se consideran las dimensiones menores que la alternativa anterior. Con este nuevo arreglo se calculan los esfuerzos incluyendo ahora puntos en los costados laterales (11 y 12). Los puntos analizados para esta tercera alternativa se presentan en el gráfico siguiente.

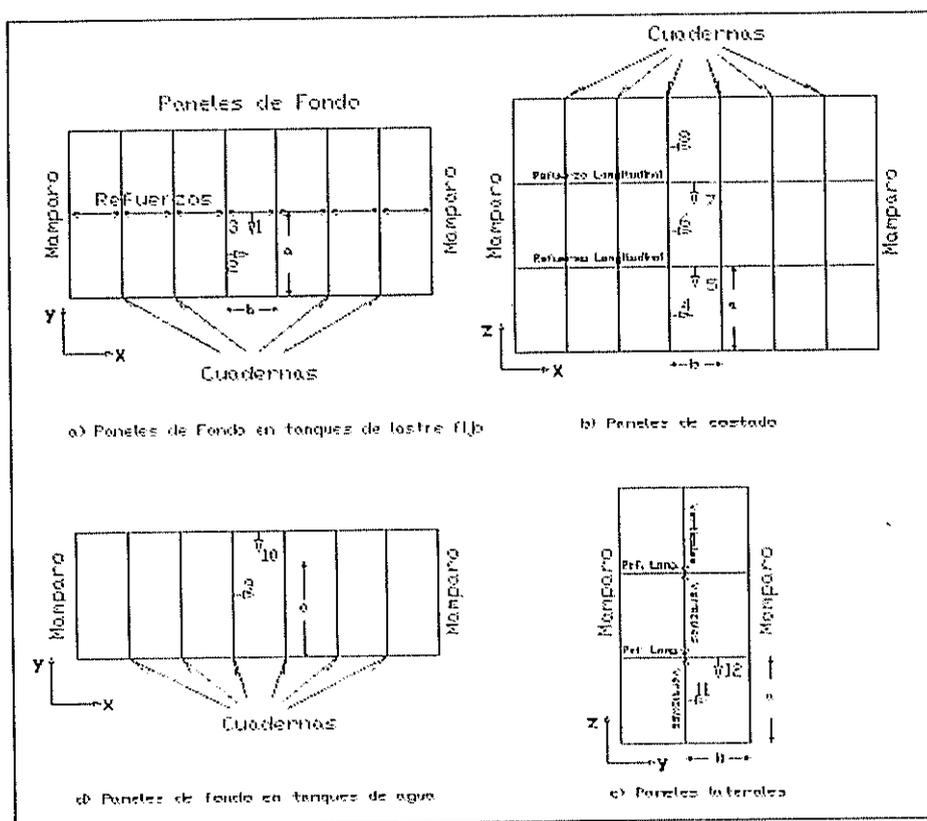


Figura No. 16 Puntos de análisis en tercera aproximación

El resumen de los cálculos de los niveles de esfuerzos para esta tercera alternativa se presenta en el anexo 3.

Con el dimensionamiento propuesto para esta iteración, los niveles de esfuerzos calculados en todos los puntos del análisis (incluyendo el 12 y 13) están por debajo del esfuerzo permisible. Los punto 5 y 12 son los más críticos y tienen valores de  $2133.46 \text{ Kg/cm}^2$  y  $2142.57 \text{ Kg/cm}^2$  respectivamente, de manera que se tomará el dimensionamiento de esta alternativa como el preliminar para el desarrollo del diseño de la compuerta flotante.

#### **Aumento de escantillonado considerando desgaste por corrosión**

Además de la parte estructural, también se considera un aumento en los escantillones debido al desgaste que sufrirá por efecto de la corrosión. Tomando como referencia las reglas de clasificación de DNV, [2], en cuya Sección 2 se recomiendan valores para aumento de espesores de planchas y módulos seccionales para suplir el desgaste por corrosión, se seleccionan los escantillones finales. Las dimensiones iniciales y finales del planchaje y de los refuerzos estructurales son mostrados en las tablas 3 y 4.

Descripción	Espesor requerido estructuralmente		Aumento por corrosión	Espesor requerido	Espesor escogido	
	Plg.	mm	tk(mm)	t r (mm)	Plg.	mm.
Fondo	3/8	9.53	1.00	10.53	7/16	11.11
Costado	3/8	9.53	1.00	10.53	7/16	11.11
Laterales	3/8	9.53	1.00	10.53	7/16	11.11
Fondo de Tk. De agua	5/16	7.94	1.50	9.44	3/8	9.53

Tabla No. 3 Aumento de espesor de planchaje

Aumento de espesor en ala (tkw):		1 mm		
Aumento de espesor en alma (tkf):		1 mm		
wk=1+0.05(tk+tkf):		1.1 Factor de aumento del MS		
INICIAL		Aumento por corrosión	FINAL	
Escantillón	MS(cm <sup>4</sup> )	MS x wk	Escantillón	MS(cm <sup>4</sup> )
L 3 1/2"x3 1/2"x1/4" (89x89x6.35mm)	47.85	52.63	L 3 1/2"x3 1/2"x5/16" (89x89x7.94mm)	57.98
Pt. 3 1/2"x3/8" (89x9.50mm)	27.65	30.41	Pt. 3 1/2"x7/16" (89x11.10mm)	32.01
L 3 1/2"x3 1/2"x5/16" (89x89x7.94mm)	79.74	87.71	L 3 1/2"x3 1/2"x3/8" (89x89x9.50mm)	93.22
T armada 10"x3/8"+4"x7/16" (254x9.5+102x11.1mm)	469.49	516.44	T armada 10"x7/16"+4"x1/2" (254x11.10+102x12.70mm)	534.89
L 7"x4"x3/8" (178x102x9.5mm)	245.83	270.41	L 7"x4"x7/16" (178x102x11.10mm)	280.08
T armada 10"x3/8"+4"x7/16" (254x9.5+102x11.1mm)	430.60	473.66	T armada 10"x7/16"+4"x1/2" (254x11.10+102x12.70mm)	485.64
L 3"x3"x5/16" (76x76x7.94mm)	57.47	63.22	L 3"x3"x3/8" (76x76x7.94mm)	66.95

Tabla No. 4 Aumento del módulo seccional

Finalmente el dimensionamiento estructural de la compuerta flotante será el presentado en la siguiente tabla.

**PLANCHAJE**

**COMPARTIMENTOS DE LASTRE FIJO**

Descripción	ESPEORES	
	Pulgadas	Milímetros
Fondo	7/16	11.11
Costado	7/16	11.11
Laterales	7/16	11.11
Mamparos Transversales	5/16	7.94

**COMPARTIMENTO DE LASTRE MOVIBLE (AGUA)**

Descripción	ESPEORES	
	Pulgadas	Milímetros
Fondo	3/8	9.53
Costado	5/16	7.94
Laterales	5/16	7.94
Mamparos Transversales	5/16	7.94
Mamparo Longitudinal	5/16	7.94
Cubierta	1/4	6.35

**ESTRUCTURALES**

**COMPARTIMENTOS DE LASTRE FIJO (CONCRETO)**

Descripción	Dimensiones	
Cuaderna de fondo	L 3 1/2"x3 1/2"x5/16"	(89x89x7.94mm)
Ref. Longitudinal de fondo	Pl. 3 1/2"x7/16"	(89x11.10mm)
Cuaderna de costado	L 3 1/2"x3 1/2"x3/8"	(89x89x9.50mm)
Longitudinales de costado	T armada 10"x7/16"+4"x1/2"	(254x11.10+102x12.70mm)
Refuerzo vertical en costado lateral	L 7"x4"x7/16"	(178x102x11.10mm)
Refuerzo horizontal en costado lateral	T armada 10"x7/16"+4"x1/2"	(254x11.10+102x12.70mm)
Ref. horizontales en Mamp. Transv.	L 3 1/2"x3 1/2"x1/4"	(89x89x6.35mm)
Ref. Verticales en Mamp. Transv.	Platina 3 1/2"x1/4"	(89x6.35mm)

**COMPARTIMENTOS DE LASTRE MOVIBLE (AGUA)**

Descripción	Dimensiones	
Ref. Longitudinal de Fondo	L 7"x4"x7/16"	(178x102x11.10mm)
Cuaderna de fondo	L 3"x3"x3/8"	(76x76x7.94mm)
Cuaderna de Costado	L 3"x3"x5/16"	(76x76x7.94mm)
Longitudinales de costado	T armada 7 1/2" x3/8"+ 3"x7/16"	(191x9.53mm + 76x11.10mm)
Bao de Cubierta	L 2 1/2"x2 1/2"x1/4"	(64x64x6.35mm)
longitudinales de Cubierta	L 5"x3"x3/8"	(127x76x7.94mm)
Ref. horizontales en Mamparos	T armada 5 1/2" x5/16"+ 2"x3/8"	(140x7.94mm + 51x7.94mm)
Ref. Verticales en Mamparos	L 3"x3"x1/4"	(76x76x6.35mm)

Tabla No. 5 Dimensionamiento final de la estructura

### 2.3 EQUILIBRIO ESTÁTICO

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. A continuación se calculó el desplazamiento de la compuerta para diferentes calados, lo que se muestra en el gráfico No. 17, donde se presenta a la derecha la curva de desplazamiento para diferentes calados y a la izquierda la forma transversal de la compuerta.

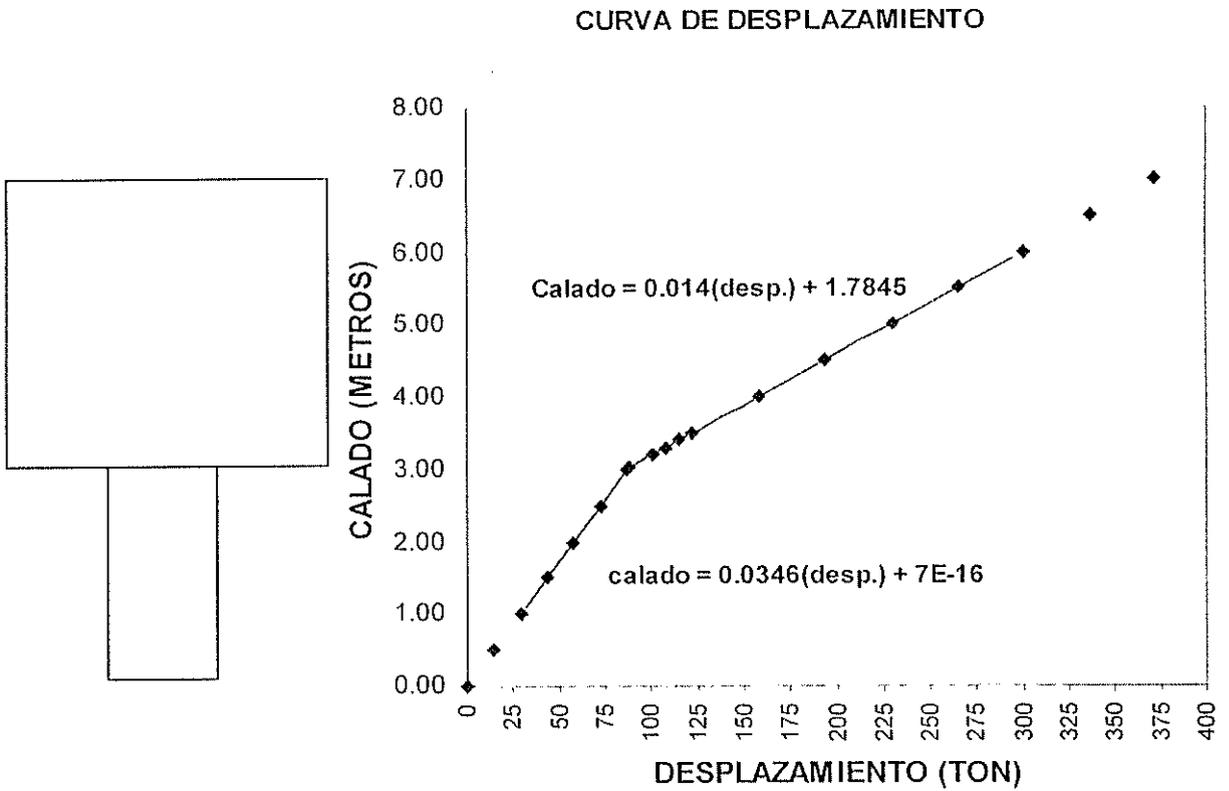


Figura No. 17 Curva de desplazamiento

De la curva de desplazamientos tenemos que para 55 toneladas corresponde un calado de 1.90 metros. Para garantizar una estabilidad positiva el radio metacéntrico transversal ( $KM_T$ ), debe ser mayor que la posición vertical del centro de gravedad ( $KG$ ). La formulación para encontrar el  $KM_T$  es la siguiente:

$$KM_T = KB + \frac{I_{xx}}{\nabla}$$

Siendo,  $KB$  el centro de boyantez a la línea de flotación,  $I_{xx}$  la inercia del plano de flotación respecto del eje  $xx$ , y  $\nabla$  el volumen de desplazamiento. Utilizando esta

formulación se tiene que el  $KM_T$  es 1.05 metros, muy por debajo del KG de 3.51 correspondientes al calado de 1.90 metros. Por esta razón se hace necesaria la colocación de lastre fijo en la parte inferior de la compuerta para disminuir el KG hasta poder obtener una estabilidad positiva.

### Cálculo de Lastre Fijo

Se va instalar como lastre fijo, concreto, con un peso específico de  $2.1 \text{ ton/m}^3$ . La tabla 10 resume el cálculo del calado y el movimiento del KG debido a la colocación de lastre fijo y la tabla 11 el cálculo del  $KM_T$  para diferentes alturas.

Altura de concreto (metros)	Peso Añadido de concreto (Ton)	Desplaz. (Ton)	Calado (metros)	KG Final (metros)
0,00	0,00	55,00	1,90	3,580
0,20	12,86	67,86	2,35	2,921
0,40	25,72	80,72	2,79	2,503
0,60	38,58	93,58	3,09	2,228
0,80	51,44	106,44	3,27	2,043
1,00	64,30	119,30	3,45	1,920
1,20	77,16	132,16	3,63	1,840
1,40	90,01	145,01	3,81	1,792
1,60	102,87	157,87	3,99	1,768
1,80	115,73	170,73	4,17	1,763
1,88	121,11	176,11	4,25	1,766
2,00	128,59	183,59	4,35	1,773
2,16	138,96	193,96	4,50	1,789
2,40	154,31	209,31	4,71	1,825
2,60	167,17	222,17	4,89	1,864
2,80	180,03	235,03	5,07	1,910
3,00	192,89	247,89	5,25	1,961

Tabla No. 6 Calados y KG debido a la colocación de lastre fijo

Calado (H) (m)	Vol. de desplaz. (m <sup>3</sup> )	Inercia x-x (m <sup>4</sup> )	BM (m)	KB (m)	KMT (m)
0.50	14.10	5.2875	0.375	0.250	0.625
1.00	28.20	5.2875	0.188	0.500	0.688
1.50	42.30	5.2875	0.125	0.750	0.875
2.00	56.40	5.2875	0.094	1.000	1.094
2.50	70.50	5.2875	0.075	1.250	1.325
3.00	84.60	5.2875	0.063	1.500	1.563
3.01	85.30	102.150	1.198	1.512	2.710
3.20	98.52	102.150	1.037	1.726	2.763
3.30	105.48	102.150	0.968	1.827	2.795
3.40	112.44	102.150	0.908	1.921	2.829
3.50	119.40	102.150	0.856	2.010	2.866
4.00	154.20	102.150	0.662	2.403	3.065
4.50	189.00	102.150	0.540	2.743	3.283
5.00	223.80	102.150	0.456	3.055	3.511
5.50	258.60	102.150	0.395	3.350	3.745
6.00	293.40	102.150	0.348	3.635	3.983
6.50	328.20	102.150	0.311	3.912	4.223
7.00	363.00	102.150	0.281	4.184	4.466

Tabla No. 7 Calculo de KMT para diferentes calados

En la figura 18 se presenta el KG y KMT para diferentes calados y en la figura 19 se muestra los calados para diferentes pesos de lastre añadido en los compartimentos inferiores de la compuerta.

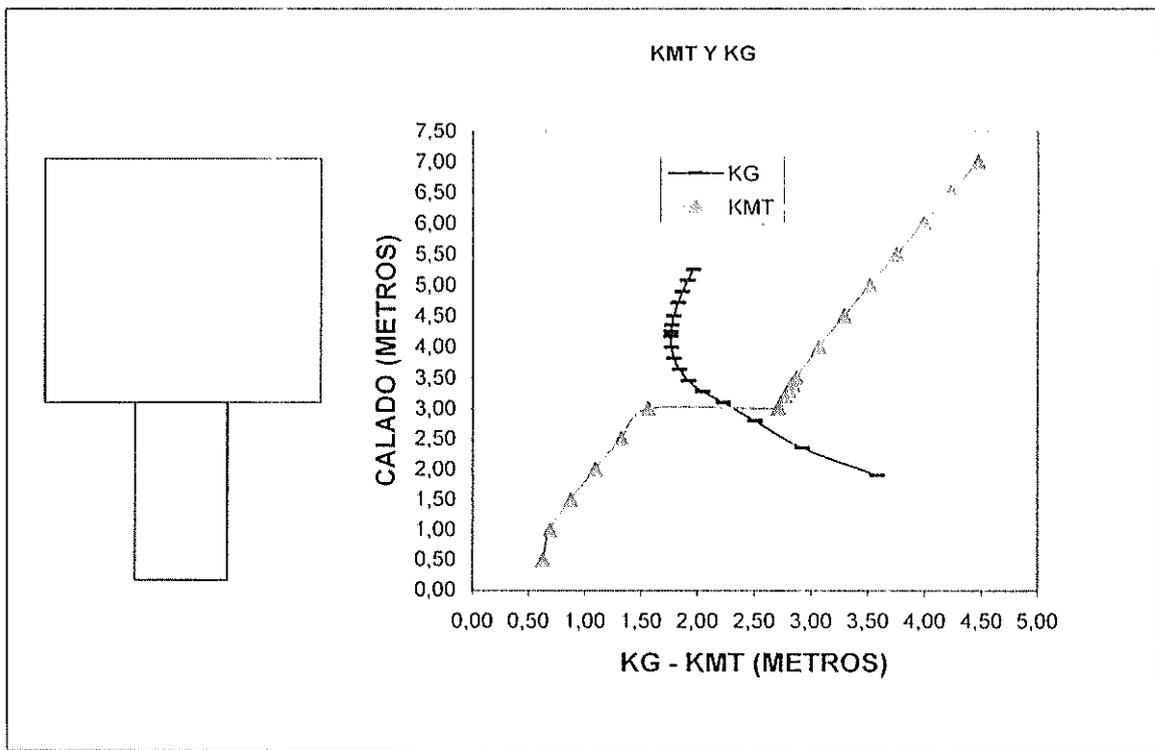


Figura No. 18 KG y KMT vs. Calados

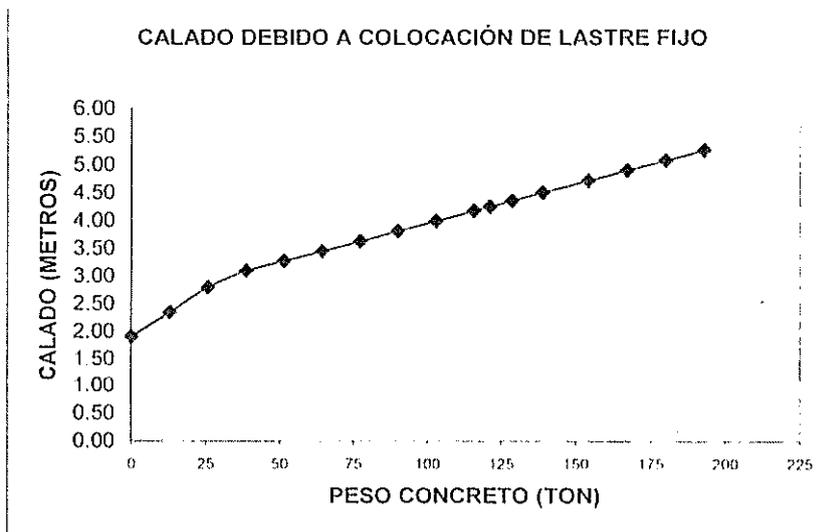


Figura No. 19 Calados vs. Peso de lastre añadido

De la figura 18 se observa un aumento brusco del  $KM_1$ , inmediatamente después de que se excede el calado de 3 metros; esto se debe a que en esa parte de la compuerta, se produce el cambio de los compartimentos de lastre fijo y movable que tienen diferentes dimensiones y formas. Por lo tanto la estabilidad positiva se produciría a un calado inmediatamente superior a los 3 metros. Sin embargo al inclinarse la compuerta esta perdería estabilidad debido a la pérdida del área de flotación. Por tanto como una medida, se debe asegurar que bajo inclinaciones razonables la superficie inferior de los tanques de lastre móvil no sobresalga del agua.

A continuación se considera una inclinación de  $25^\circ$  a diferentes calados y se escoge el que garantice que la superficie antes mencionada no emerja del agua. De esta forma se obtiene el calado de diseño de la compuerta y por ende la cantidad de lastre fijo que se añadirá para conseguir esta flotación. La figura siguiente muestra las diferentes situaciones para una inclinación de  $25^\circ$  a diferentes calados.

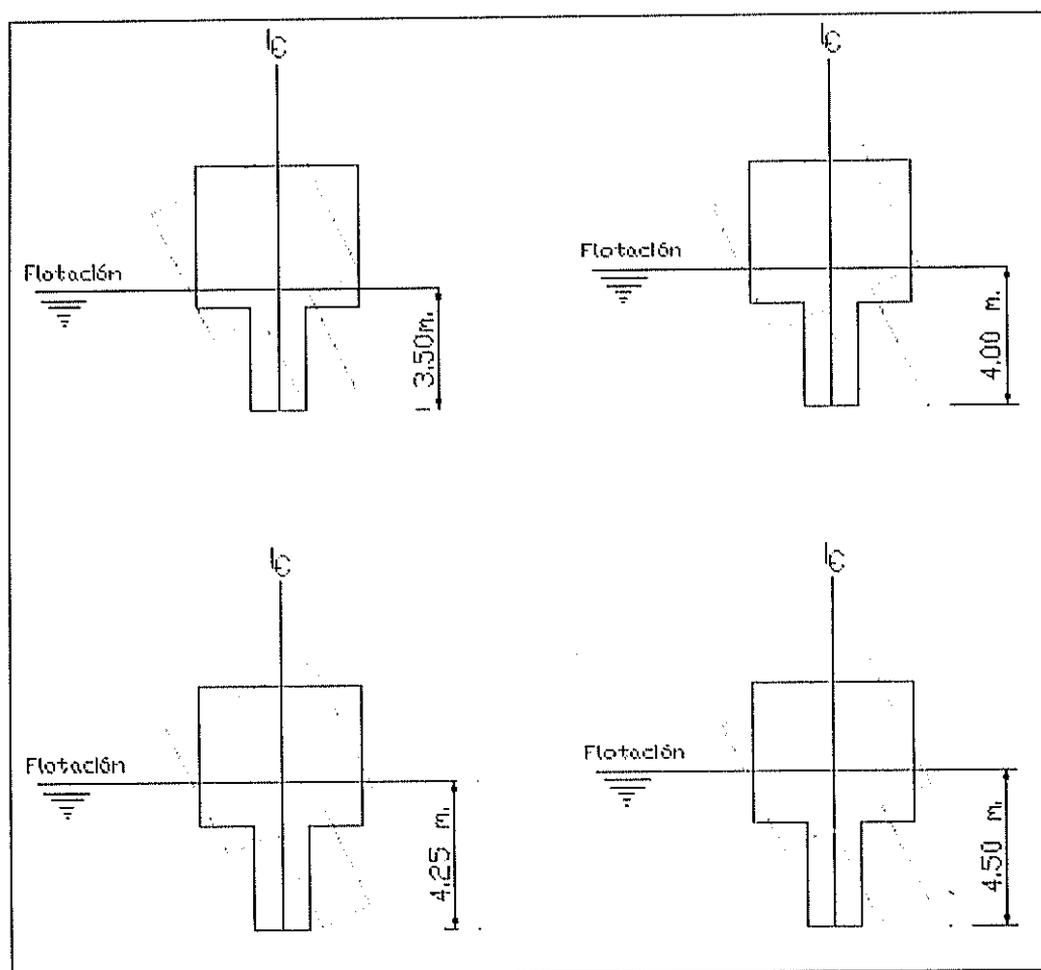


Figura No. 20 Inclinación de 25° a diferentes calados

Del gráfico anterior se escogen dos alternativas de calados que corresponden a las siguientes características:

<b>Opciones de Calado</b>	4,25 m	4,50 m
<b>Peso de lastre fijo añadido</b>	121,11 Ton.	138,96 Ton.
<b>Altura de llenado de tanques</b>	1,88 m	2,16 m
<b>Desplazamiento</b>	176,11 Ton.	193,96 Ton.
<b>KG:</b>	1,766 m	1,789 m
<b>Volumen fuera de la línea de flotación:</b>	191,4 m <sup>3</sup>	174 m <sup>3</sup>
<b>Peso necesario para hundir (6.50 metros):</b>	196,185 Ton.	178,35 Ton.

### Cálculo de lastre Móvil (Agua)

En la tabla siguiente se presenta el peso de agua ingresada que corresponde a una altura de llenado de los tanques de lastre móvil, se ha marcado las dos opciones de peso necesario para hundir 6.50 metros de las dos alternativas de calado.

Altura de agua.	Metros	ALTURA DE LLENADO DE TANQUES	AREA PLANTA	PESO DE AGUA INGRESADA
		(m)	(m <sup>2</sup> )	(Ton.)
	4.00	0.00	54.00	0.00
	3.50	0.25	54.00	13.15
	3.00	0.50	54.00	26.29
	2.50	0.75	54.00	39.44
	2.00	1.00	54.00	52.58
	1.50	1.25	54.00	65.73
	1.00	1.50	54.00	78.87
	0.50	1.75	54.00	92.02
	0	2.00	54.00	105.17
		2.25	54.00	118.31
		2.50	54.00	131.46
		2.75	54.00	144.60
		3.00	54.00	157.75
		3.25	54.00	170.89
		<b>3.39</b>	<b>54.00</b>	<b>178.35</b>
		<b>3.73</b>	<b>54.00</b>	<b>196.19</b>
		3.75	54.00	197.18
		4.00	54.00	210.33

Tabla No. 8 Cubitaje de Tanques

Para dejar un mayor espacio en los tanques, en caso de ser necesario el hundimiento mayor a 6.50 metros o necesitar mayor presión en el fondo mayor que la altura considerada a la compuerta, se escoge una altura de llenado de 3.39 metros que

corresponde al calado de 4.50 metros. Finalmente las características para el equilibrio hidrostático de la compuerta flotante son:

### 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  $40^\circ$  y es presentado en la figura siguiente.

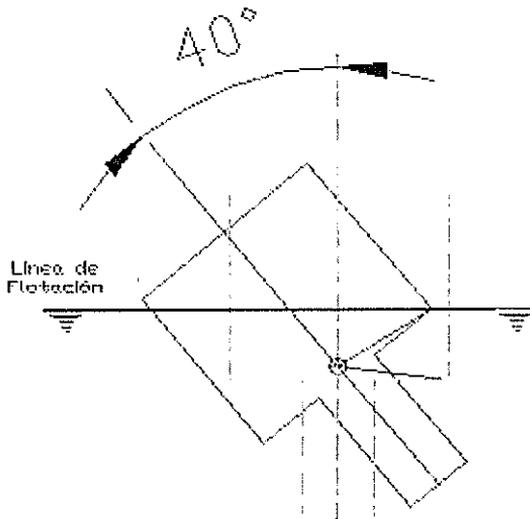


Figura No. 21 Ángulo de escora para descubrir plano

### Condiciones para hundimiento de 6.50 metros

Volumen de agua necesaria: 183.16 m<sup>3</sup>

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:

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

$$GG_1 = \frac{I_w}{\Delta}$$

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

$\Delta$ ; Desplazamiento de la compuerta

En la siguiente tabla se presenta el resumen de los cálculos del movimiento del centro de gravedad.

Altura de agua (m)	Desplaz. Final (Ton.)	Calado final (m)	KG final (m)	Inercia de Tks.(1, 2, 5, 6) ( $m^4$ )	Inercia de Tks. (3, 4) ( $m^4$ )	GG1 (m)	KG corregido (m)
0.00	193.96	4.500	1.770	0.00	0.00	0.00000	1.7700
0.25	207.11	4.684	1.856	3.99	3.42	0.11275	1.9687
0.50	220.26	4.868	1.947	3.99	3.42	0.10602	2.0527
0.75	233.40	5.052	2.041	3.99	3.42	0.10005	2.1412
1.00	246.55	5.236	2.139	3.99	3.42	0.09471	2.2337
1.25	259.69	5.420	2.239	3.99	3.42	0.08992	2.3294
1.50	272.84	5.604	2.342	3.99	3.42	0.08558	2.4280
1.75	285.98	5.788	2.447	3.99	3.42	0.08165	2.5290
2.00	299.13	5.972	2.554	3.99	3.42	0.07806	2.6321
2.25	312.27	6.156	2.662	3.99	3.42	0.07478	2.7370
2.50	325.42	6.340	2.772	3.99	3.42	0.07176	2.8436
2.75	338.57	6.524	2.883	3.99	3.42	0.06897	2.9516
3.00	351.71	6.708	2.994	3.99	3.42	0.06639	3.0608
3.25	364.86	6.893	3.107	3.99	3.42	0.06400	3.1712
3.39	372.31	6.997	3.172	3.99	3.42	0.06272	3.2343
3.73	390.15	7.247	3.327	3.99	3.42	0.05985	3.3864
3.75	391.15	7.261	3.335	3.99	3.42	0.05970	3.3950
4.00	404.29	7.445	3.450	0.00	0.00	0.00000	3.4504

Tabla No. 9 Posición final corregida del centro de gravedad

A continuación se presenta el gráfico del  $KM_1$  y  $KG$  para diferentes calados de la compuerta flotante.

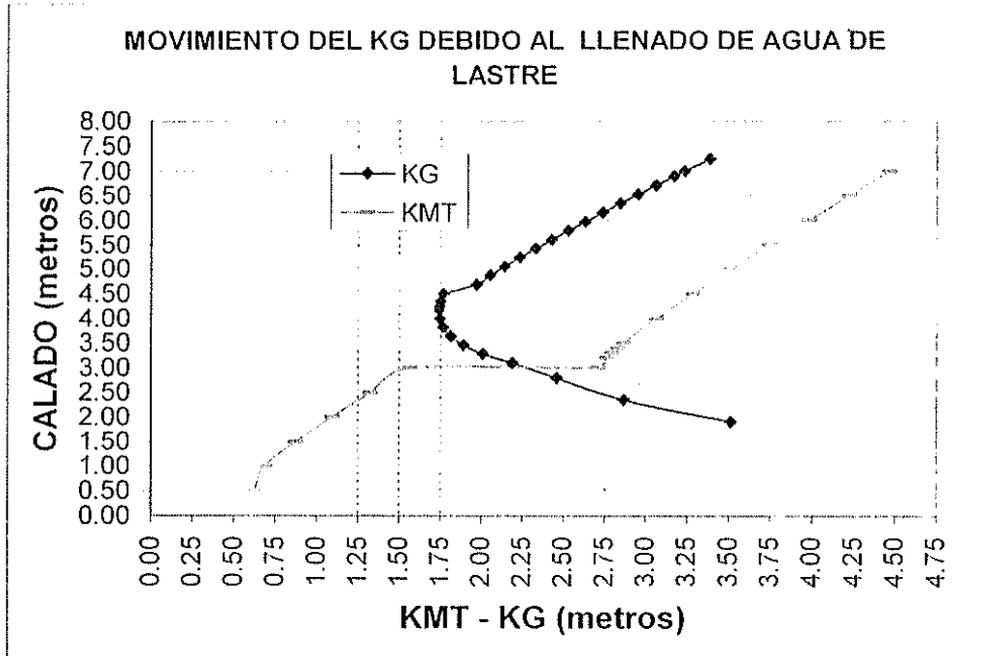


Figura No.22 KG-KMT finales Vs. Calados

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.

## 2.4 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 desalajo del agua de lastre. A continuación se presenta la distribución general de la compuerta.

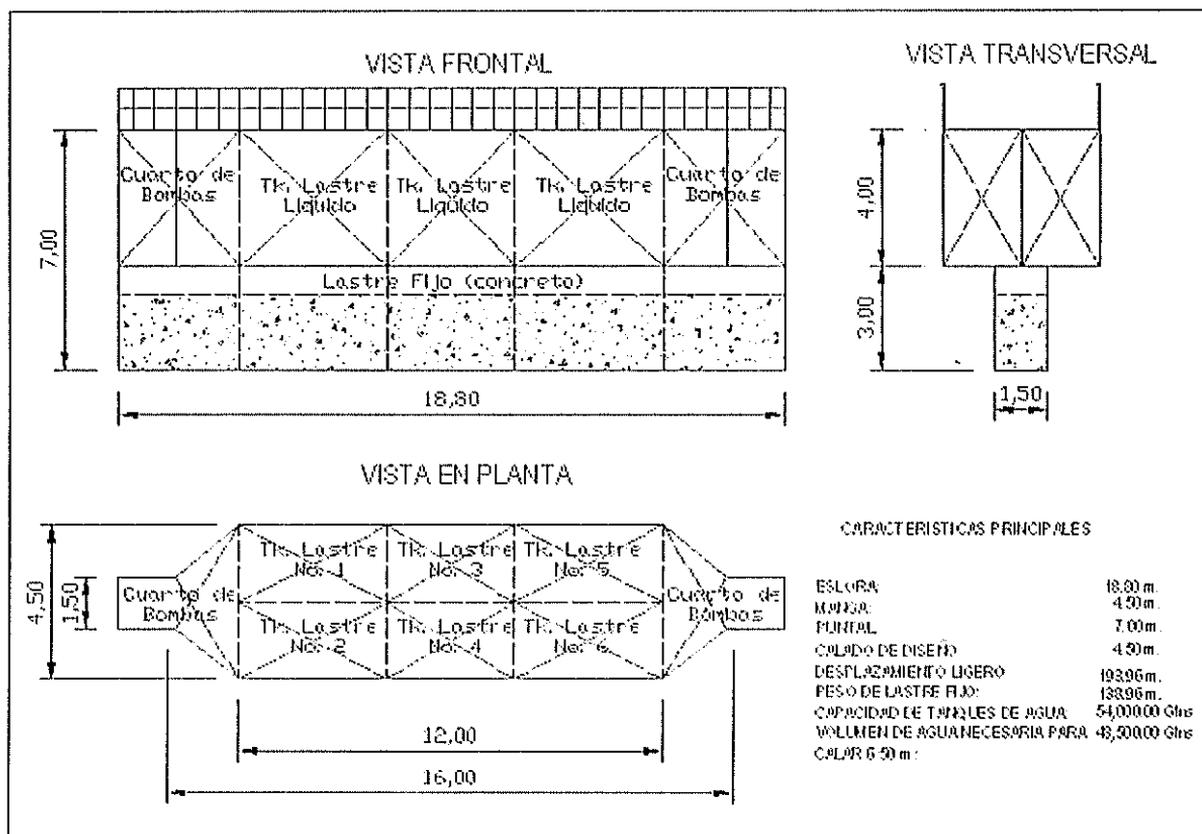


Grafico No.23 Distribución General de la Compuerta Flotante

## 2.5. OPCIONES DE SELLADO

Siendo el principal objetivo de la compuerta el sellado del interior del dique seco, se debe escoger una opción adecuada para esta labor. La permeabilidad se lo realiza mediante una junta de caucho colocada alrededor de los bordes de la compuerta, los que al ser presionados sobre la superficie de la entrada del dique, a través de la acción del agua producirá el sello necesario.

La empresa Rubberrart, [17], [18], de Sao Paulo, Brasil, fabrica productos de caucho para soluciones de ingeniería, y entre otros fabrica sellos para diques secos. Del catálogo que se presenta en el anexo 5, se tomó el modelo R-08 para los lados, y, para los bordes el modelo R-68, de iguales dimensiones transversales. Los detalles son presentados en el gráfico siguiente.

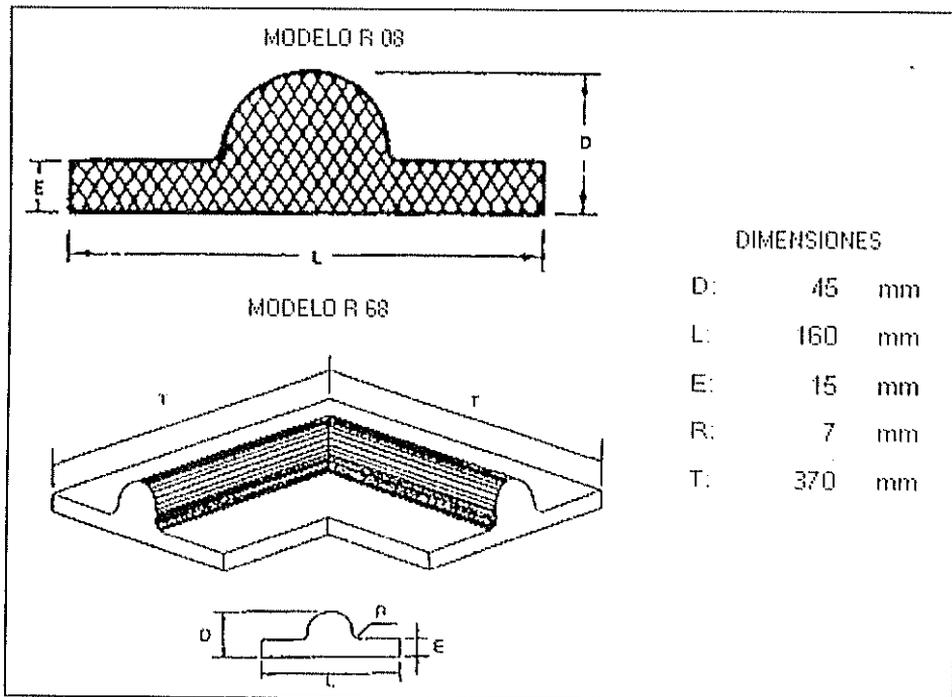


Gráfico No.24 Sellos de Caucho seleccionados

El detalle del sellado de la compuerta es presentado en la figura siguiente.

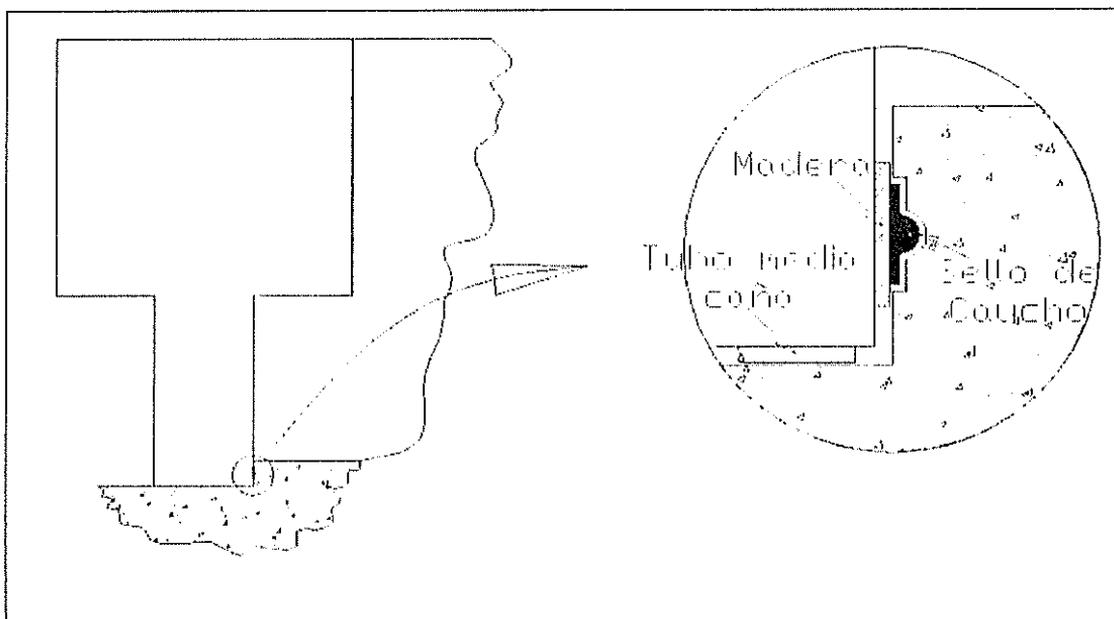


Figura No.25. Detalle del sellamiento

Como se ve en el gráfico anterior el sello es colocado sobre un tablón de madera que ayuda a absorber la fuerza de reacción sobre la compuerta, además se coloca en el fondo de la compuerta varias medias cañas que sirve para que el área de contacto en el fondo sea mínima, evitando posibles daños en la estructura debido al golpe al hundirse y la reacción de despegue del fondo al reflotar la compuerta.

## CAPITULO 3

### ANALISIS ESTRUCTURAL DE LA COMPUERTA FLOTANTE

#### 3.1 CARGAS APLICADAS Y CONDICIONES DE FRONTERA

Las tres condiciones discutidas en la sección 2.2, serán analizadas estructuralmente en el presente capítulo mediante el método de elementos finitos (MEF), utilizando el software Algor, [13], y los diferentes módulos disponibles. Antes de empezar con el análisis se definen las cargas que serán aplicadas sobre la estructura, además de las condiciones de frontera (restricciones) aplicadas para cada condición.

##### **Compuerta flotando al calado de diseño (Condición 1)**

En esta condición el peso de la estructura es calculado y aplicado internamente por el programa Algor. Al peso específico del acero se le aumenta un 3.5% para considerar la soldadura y escuadras no definidas en la geometría del modelo. El peso de la maquinaria y accesorios es aplicado sobre todos los nodos que definen la primera cubierta dentro de la sala de bombas. El peso del lastre fijo es aplicado sobre los nodos que definen el fondo de los tanques de lastre y en los nodos que forman los costados y mamparos a 150 cm por encima del fondo de estos tanques. La suma de todos los pesos mencionados serán equilibrados con la fuerza de boyantez aplicada sobre la estructura hasta la línea de flotación de diseño. Esta condición de carga es mostrada en el gráfico siguiente.

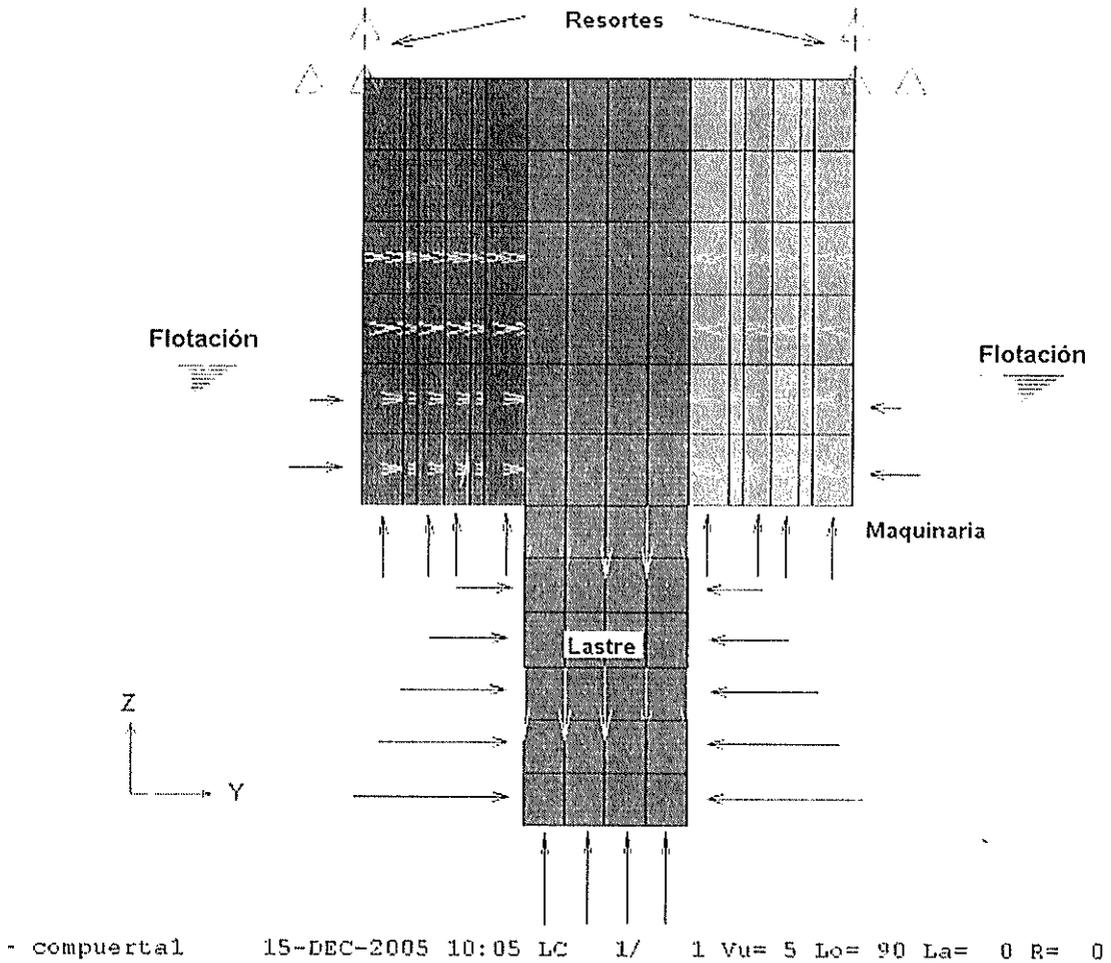


Figura No. 26 Fuerzas aplicadas para la condición I

Dado que el caso analizado no tiene condiciones de frontera geométricas (desplazamiento o rotación conocidos) se colocarán 4 resortes en dirección de cada uno de los ejes, en los bordes superiores de la compuerta. Estos resortes poseen rigidez mínima y deben desarrollar fuerzas nulas debido al equilibrio de fuerzas existente (Boyantez y Peso), sin embargo son necesarios para obtener una solución única del sistema (véase figura 26).

### Compuerta hundida próxima a asentarse en el fondo (Condición 2)

Para esta condición el equilibrio de fuerzas se realizará a un calado de 650 centímetros. Además de las fuerzas aplicadas en la condición anterior, se suma la del peso del lastre móvil (agua), aplicada sobre los nodos que definen los tanques de agua de lastre. Todo este peso es equilibrado con la fuerza de boyantez aplicada sobre la estructura para el calado mencionado anteriormente. Esta condición de carga es mostrada en el gráfico siguiente.

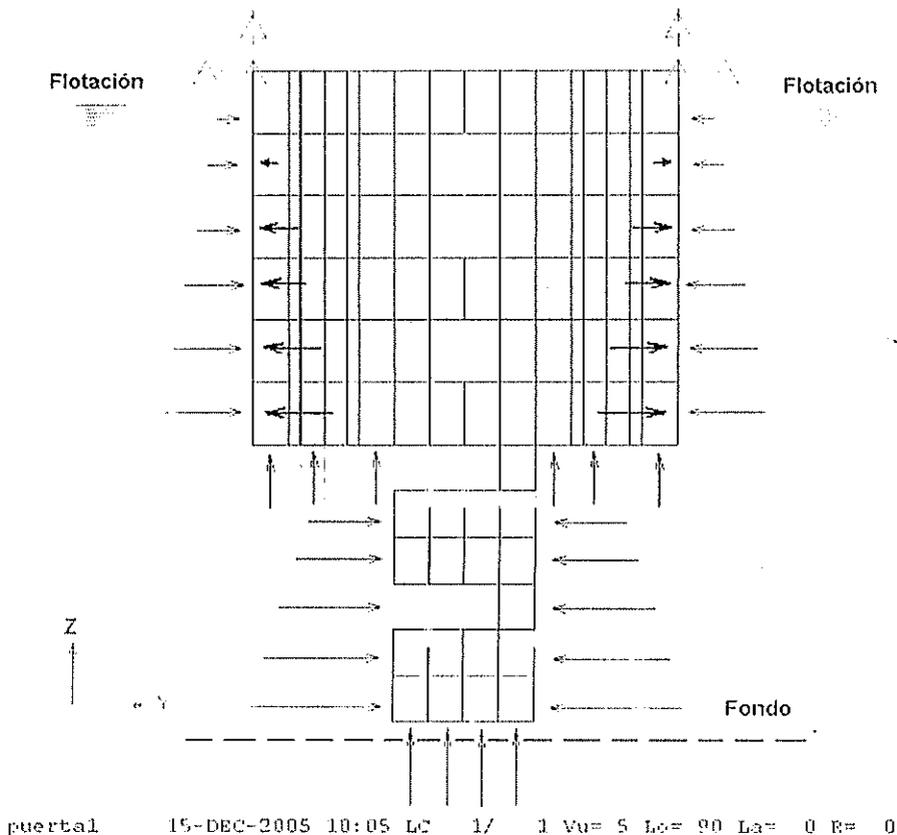
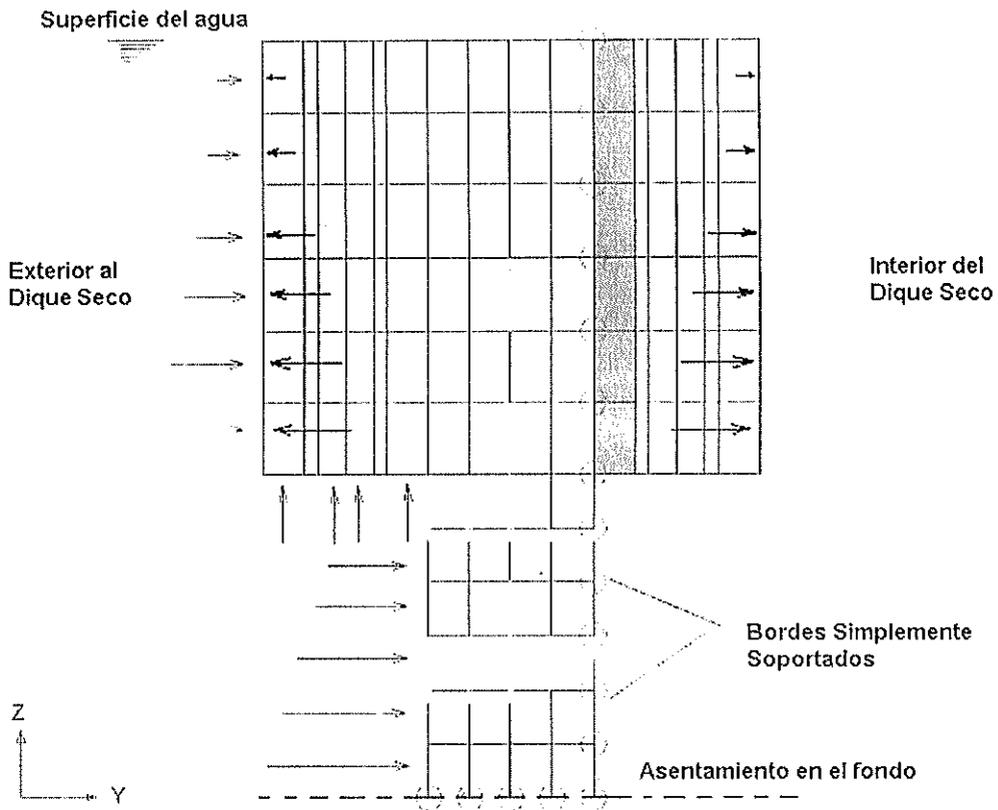


Figura No. 27 Fuerzas aplicadas para la condición 2

Las condiciones de frontera serán las mismas utilizadas para la condición anterior.

### **Compuerta asentada en el fondo y produciendo estanqueidad en el interior del dique (Condición 3)**

En esta condición el peso del agua de lastre será el que produzca el hundimiento total de la compuerta, y será aplicado sobre los elementos que definen los tanques. La presión hidrostática sobre la estructura en sentido del eje “Y” (hacia dentro del dique) no será igual en ambos sentidos como en las dos condiciones anteriores. El lado que se encuentra fuera del dique soportará la diferencia de las presiones hidrostáticas del agua de lastre y el agua externa al dique. El agua de lastre ejercerá también presión sobre los mamparos de sala de bombas y las paredes de los tanques hacia el interior del dique seco. El equilibrio en este caso se logra a través de las fuerzas de reacción generadas por el contacto entre los bordes de la compuerta y las paredes de la entrada al dique. Para modelar esta condición se define como simplemente soportados los bordes de la compuerta. Esta condición de carga es mostrada en el gráfico siguiente.



2.04- compuerta1 15-DEC-2005 10:05 LC 1/ 1 Vu= 6 Lo=-90 La= 0 R= 0

Figura No. 28 Fuerzas aplicadas para la condición 3

Como se observa en la figura anterior, la presión sobre la compuerta en el lado hacia el exterior del dique será la diferencia de presiones, sin embargo para considerar la situación extrema, se asumirá que los tanques de lastre se encuentran llenos hasta el tope, y que la profundidad de agua en el exterior del dique será de 7 metros. Esto ocasiona una presión nula en la zona de los tanques de agua que se encuentran hacia el exterior del dique seco, pero producen una presión máxima en el lado que se encuentra hacia el interior del mismo.

### 3.2 MODELIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA

El primer paso antes del análisis de la estructura es su discretización. Con la ayuda del módulo Superdraw III, [14], se generó el modelo de la compuerta utilizando 3042 nodos y 5378 elementos; el material de los elementos es acero ASTM A-36 y se utilizaron dos tipos de elementos disponibles, “Plate” y “Beam”. Los elementos planchas, definidos por tres o cuatro nodos en el espacio tridimensional, soportan presión, y, fueron utilizados para definir el planchaje exterior, así como los mamparos y estructurales longitudinales primarios (“Girders”). El segundo tipo de elementos, vigas, se definen con dos nodos y se los utilizó para modelar las cuadernas y demás estructurales secundarios; en estos últimos se incluyó la inercia propia del elemento más el efecto de ancho efectivo en la plancha.

Teniendo lista la geometría, se calculó el peso de la estructura con la herramienta “Tools”, disponible en Superdraw III, y se lo sumó a los demás pesos (lastre y maquinaria), para poder conocer el calado real al cual va flotar la compuerta y poder definir la presión que se va aplicar sobre la estructura hasta obtener el equilibrio de fuerzas. En la tabla siguiente se muestran las fuerzas aplicadas sobre la estructura debido a los diferentes pesos, para las diferentes condiciones de carga.

<b>CONDICIÓN 1: Compuerta flotando al calado de diseño</b>					
Descripción	Peso (N)	Peso (Ton)	# de Nodos	Peso/Nodo (N)	Observ.
W(sold+esc+estructura)	551270.00	56.19	----	----	
Maquinaria y acc.	5203.8	0.53	118	44.1000	
Lastre Fijo (concreto)	1363197.60	138.96	165	4130.9018	Fondo de tk.
			84	8114.2714	Mitad de Tk.
Lastre Móvil (agua)	0.00	0.00	247	0.0000	
W (Total)	1919671.40	195.69			
Calado correspondiente:	452.75	cm			
<b>CONDICIÓN 2: Compuerta hundida próxima a asentarse en el fondo</b>					
Descripción	Peso (N)	Peso (Ton)	# de Nodos	Peso/Nodo (N)	Observ.
W(sold+esc+estructura)	551270.00	56.19	----	----	
Maquinaria y acc.	5203.8	0.53	118	44.1000	
Lastre Fijo (concreto)	1363197.60	138.96	165	4130.9018	Fondo de tk.
			84	8114.2714	Mitad de Tk.
Lastre Móvil (agua)	1380461.65	140.72	247	5588.9136	
W (Total)	3300133.05	336.41			
Calado correspondiente:	650.00	cm			
<b>CONDICIÓN 3: Compuerta asentada en el fondo y produciendo estanqueidad en el interior del dique</b>					
Descripción	Peso (N)	Peso (Ton)	# de Nodos	Peso/Nodo (N)	Observ.
W(sold+esc+estructura)	551270.00	56.19	----	----	
Maquinaria y acc.	5203.8	0.53	118	44.1000	
Lastre Fijo (concreto)	1363197.60	138.96	165	0.0000	Fondo de tk.
			84	0.0000	Mitad de Tk.
* Lastre Móvil (agua)	2171934.00	221.40	247	8793.2551	
W (Total)	4091605.40	417.09			
Calado correspondiente:	700.00	cm			

\* Se considera el peso del agua de lastre, el ocasionado por los tanques llenos hasta su máxima capacidad

Tabla No. 10 Fuerzas aplicadas debido a los diferentes pesos

El peso de la estructura es aplicado internamente por el programa, mientras que las fuerzas debido al peso de la maquinaria, accesorios, lastre fijo y móvil son aplicadas

en los nodos correspondientes en sentido negativo del eje "Z", las que son mostradas en la columna 5 de la tabla anterior.

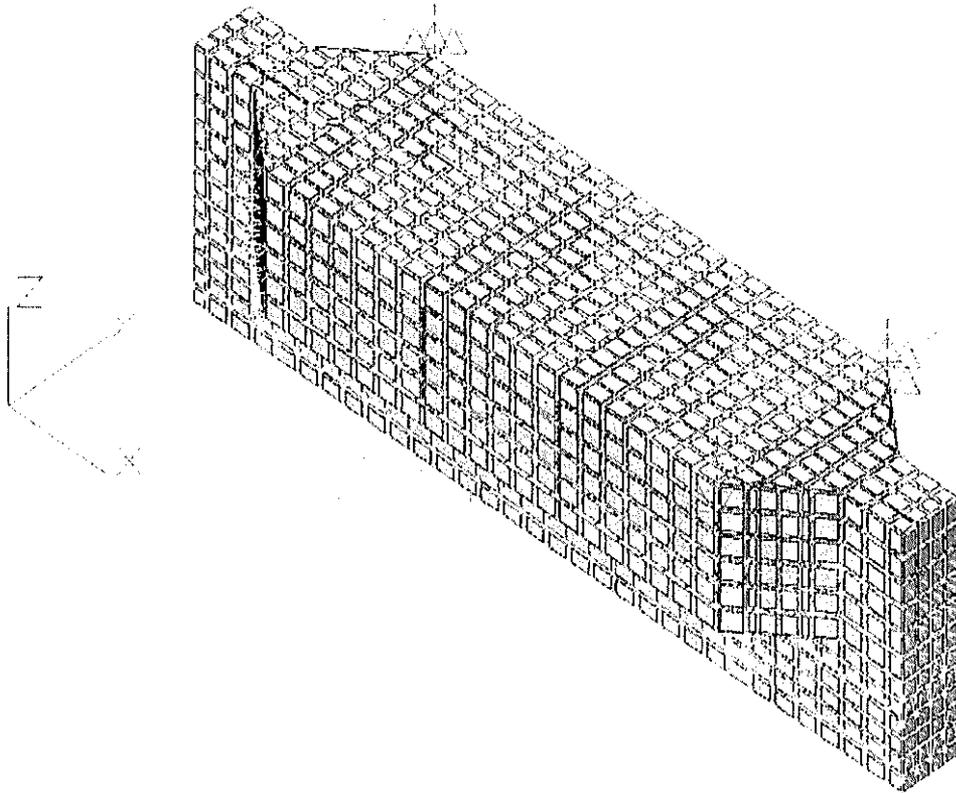
Debido a que la presión hidrostática varía linealmente con la profundidad, se dividió los costados de la compuerta en 6 superficies de un lado y otras 6 del lado contrario, sobre los cuales se aplica una presión constante (1-6 presión positiva y 7-12 presión negativa) sobre cada una de ellas. Dicha presión fue calculada de la misma manera que en la sección 2.2. En los fondos paralelos a los planos "XY" la presión es constante por lo que no hubo la necesidad de dividirlo en varias superficies. A continuación se presenta en la siguiente tabla la distribución de presiones para cada superficie en cada condición de carga.

CONDICIÓN 1					
Superficie	Altura (cm)	Altura prom. (cm)	Peso esp. Agua (N/cm <sup>3</sup> )	Presión	
				Exterior (N/cm <sup>2</sup> )	Mamparos (N/cm <sup>2</sup> )
1 y 7	0.00	0.00	0.01005525	0.0000	0.0000
2 y 8	0.00	0.00	0.01005525	0.0000	0.0000
3 y 9	0.00	0.00	0.01005525	0.0000	0.0000
4 y 10	19.67	14.75	0.01005525	0.1483	0.0000
5 y 11	86.33	64.75	0.01005525	0.6511	0.0000
6 y 12	153.00	114.75	0.01005525	1.1538	0.0000
Fondo de Tk. De agua	153.00	153.00	0.01005525	1.5385	-----
1 y 7	203.00	152.25	0.01005525	1.5309	-----
2 y 8	253.00	189.75	0.01005525	1.9080	-----
3 y 9	303.00	227.25	0.01005525	2.2851	-----
4 y 10	353.00	264.75	0.01005525	2.6621	-----
5 y 11	403.00	302.25	0.01005525	3.0392	-----
6 y 12	453.00	339.75	0.01005525	3.4163	-----
Fondo de Tk. De lastre fijo	453.00	453.00	0.01005525	4.5550	-----

CONDICIÓN 2					
Superficie	Altura (cm)	Diferencia (cm)	Peso esp. (N/cm <sup>3</sup> )	Presión	
				Exterior (N/cm <sup>2</sup> )	Mamparos (N/cm <sup>2</sup> )
1 y 7	0.00	0.00	0.01005525	0.0000	0.0000
2 y 8	66.67	50.00	0.01005525	0.5028	0.0000
3 y 9	133.33	58.75	0.01005525	0.5907	0.4148
4 y 10	200.00	58.76	0.01005525	0.5908	0.9175
5 y 11	266.67	58.76	0.01005525	0.5908	1.4203
6 y 12	333.34	58.76	0.01005525	0.5908	1.9231
Fondo de Tk. De agua	350.00	350.00	0.01005525	3.5193	-----
1 y 7	383.33	287.50	0.01005525	2.8909	-----
2 y 8	433.33	325.00	0.01005525	3.2679	-----
3 y 9	483.33	362.50	0.01005525	3.6450	-----
4 y 10	533.33	400.00	0.01005525	4.0221	-----
5 y 11	583.33	437.50	0.01005525	4.3991	-----
6 y 12	633.33	475.00	0.01005525	4.7762	-----
Fondo de Tk. De lastre fijo	650.00	650.00	0.01005525	6.5359	-----
CONDICIÓN 3					
Superficie	Altura (cm)	Peso esp. (Nw/cm <sup>3</sup> )	Presión		
			Exterior (Diferencia)		Interior
			En Tk. Agua (Nw/cm <sup>2</sup> )	Fuera Tk. Agua	Mamparos (Nw/cm <sup>2</sup> )
1 y 7	66.67	0.01005525	0.0000	0.5028	0.5028
2 y 8	133.33	0.01005525	0.0000	1.0055	1.0055
3 y 9	200.00	0.01005525	0.0000	1.5083	1.5083
4 y 10	266.67	0.01005525	0.0000	2.0110	2.0110
5 y 11	333.33	0.01005525	0.0000	2.5138	2.5138
6 y 12	400.00	0.01005525	0.0000	3.0166	3.0166
Fondo de Tk. De agua	400.00	0.01005525	-----	4.0221	-----
1 y 7	450.00	0.01005525	-----	3.3936	-----
2 y 8	500.00	0.01005525	-----	3.7707	-----
3 y 9	550.00	0.01005525	-----	4.1478	-----
4 y 10	600.00	0.01005525	-----	4.5249	-----
5 y 11	650.00	0.01005525	-----	4.9019	-----
6 y 12	700.00	0.01005525	-----	5.2790	-----
Fondo de Tk. De lastre fijo	700.00	0.01005525	-----	5.2790	-----

Tabla No. 11 Distribución de Presiones por Superficie

La representación de la compuerta flotante para las condiciones 1 y 2 es presentada en la siguiente figura.

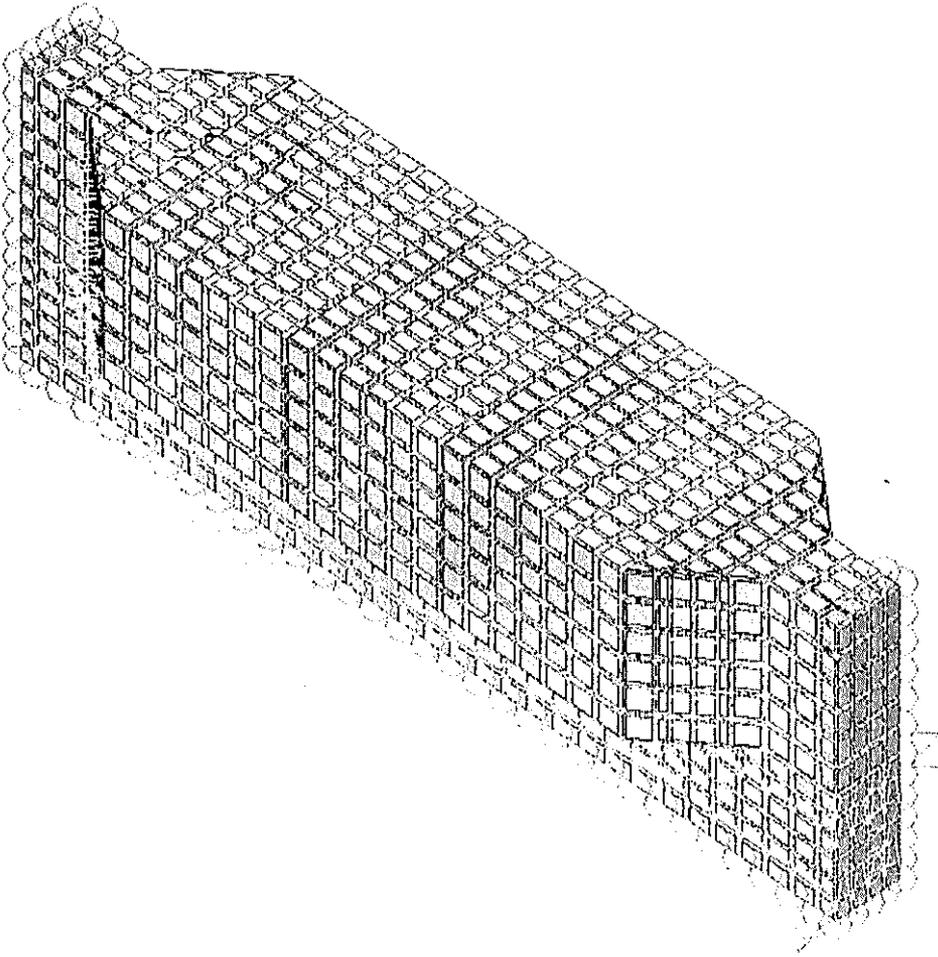


.04- compuerta1 04-JAN-2006 14:40 LC 1/ 1 Vu= 7 Lc= 45 La= 45 R=

Figura No. 29 Representación de la Compuerta para las condiciones 1 y 2

En la figura anterior las flechas representan las cargas aplicadas, los triángulos en los bordes superiores los resortes utilizados como condiciones de frontera y los rectángulos los elementos planchas generados.

Para la tercera condición de carga, las condiciones de frontera son diferentes. En el gráfico mostrado a continuación las circunferencias representan los extremos simplemente soportados (traslaciones restringidas y rotaciones sin restricción).



ta1 15-DEC-2005 10:05 LC 1/ 1 Vu=U7 Lb=-135 La= 45 R=

Figura No. 30 Representación de la Compuerta para la condición 3

Para una mejor visualización de la estructura, en el siguiente gráfico se muestra una vista con dos cortes, donde se puede observar el interior de la compuerta, y en la que se pueden distinguir los mamparos y refuerzos principales modelados con elementos plancha.

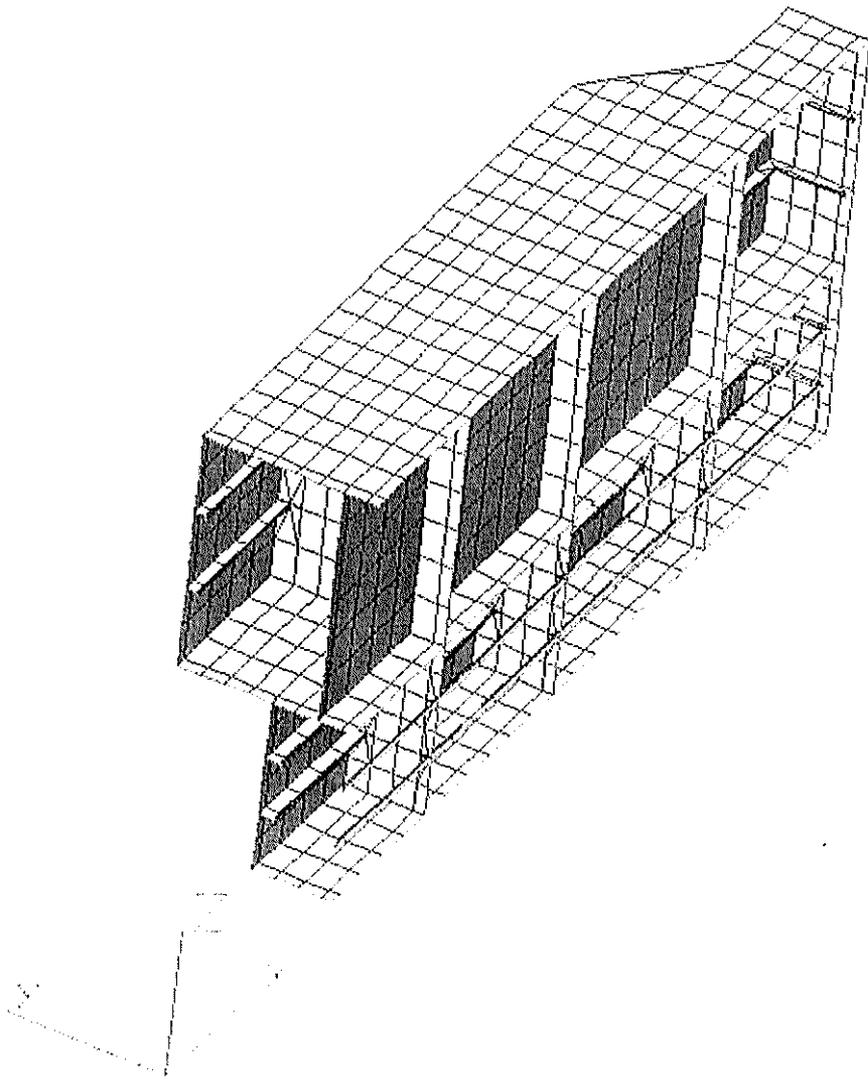


Figura No. 31 Interior del modelo representado con MEF

Finalmente, teniendo lista la geometría, definidas las propiedades de los materiales, determinadas las fuerzas aplicadas y condiciones de frontera, se procede con la verificación de la ausencia de errores con el módulo Superview III, [15], para posteriormente iniciar el análisis de esfuerzos y deformaciones.

### 3.3 CÁLCULOS DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES.

#### Análisis de Esfuerzos

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:

$\sigma$ : 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/cm<sup>2</sup>. Los resultados son presentados en N/cm<sup>2</sup> para los esfuerzos y cm para los desplazamientos o deformaciones. A continuación en los siguientes gráficos se presentan las distribuciones de esfuerzos para la primera condición de carga.

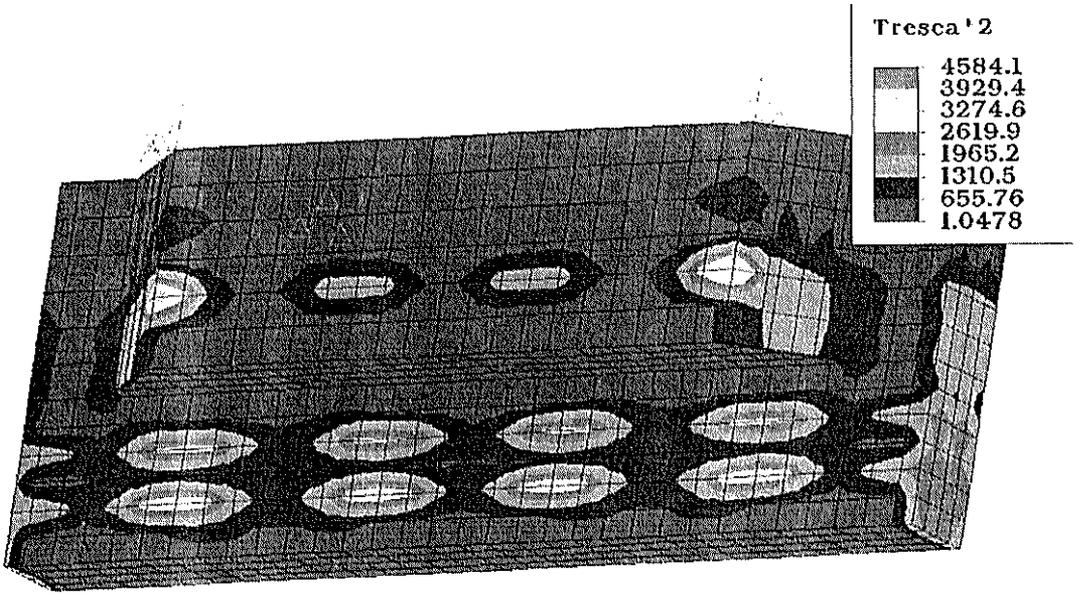


Figura No. 32 Distribución de Esfuerzos para la Primera Condición

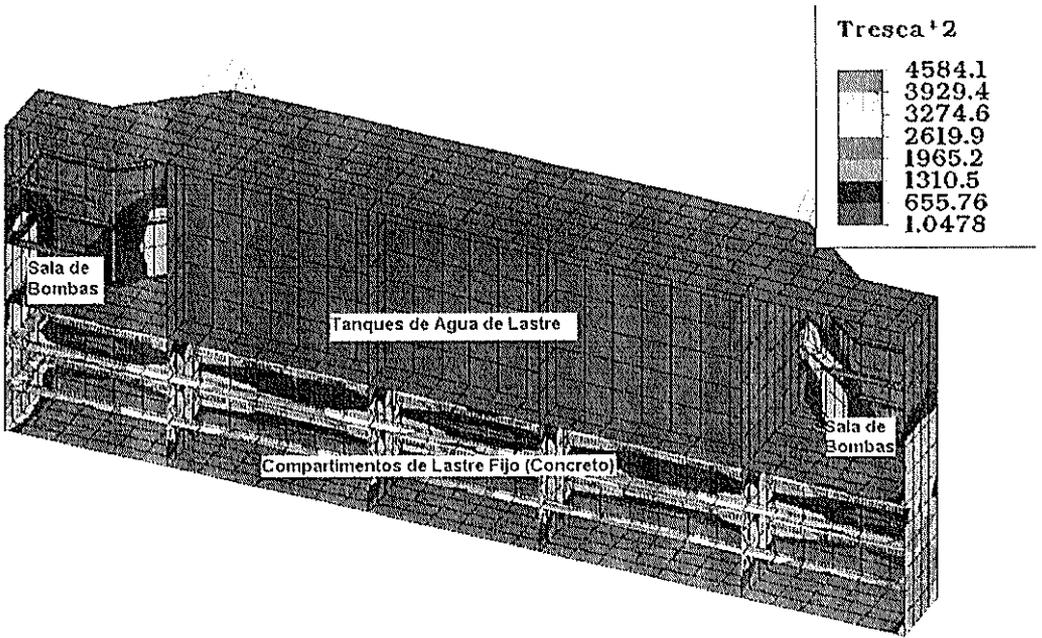


Figura No. 33 Distribución de Esfuerzos en el interior de la compuerta (Condición 1)

De los gráficos anteriores se observa que las zonas de mayores esfuerzos se encuentran en los refuerzos primarios de los compartimentos de lastre fijo. Esto se debe a que a más de soportar la presión hidrostática, también resisten el peso del concreto usado como lastre fijo. Existe además concentración de esfuerzos debido al cambio de sección en las zonas del mamparo que divide los tanques de agua con la sala de bombas. El máximo esfuerzo en esta condición alcanza un valor de  $4584 \text{ N/cm}^2$ , que corresponden a  $467 \text{ Kg/cm}^2$ , valor por debajo del esfuerzo de fluencia.

La distribución de esfuerzos para la segunda condición se presenta en los siguientes gráficos.

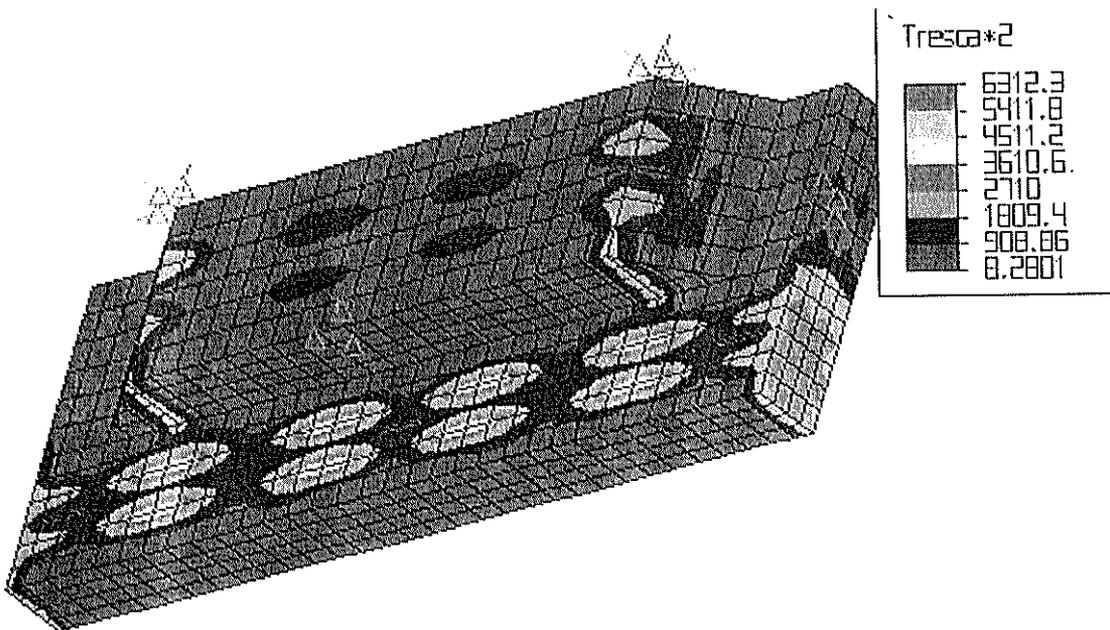


Figura No. 34 Distribución de Esfuerzos para la Segunda Condición

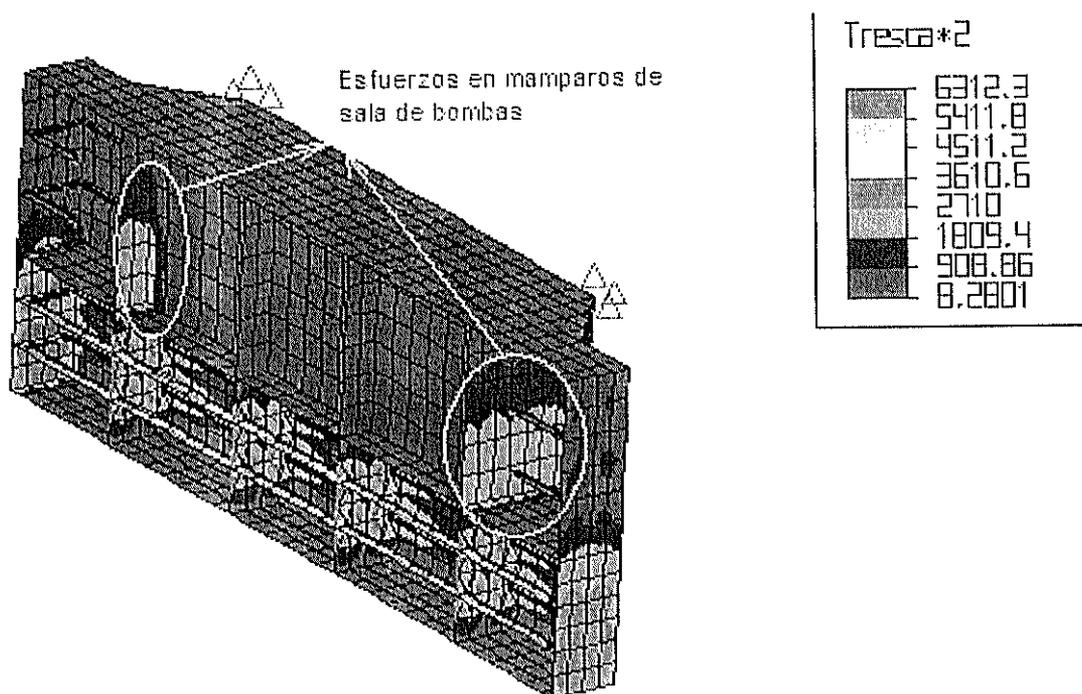


Figura No. 35 Distribución de Esfuerzos en el interior de la compuerta (Condición 2)

De los gráficos anteriores se observa una distribución similar a la condición anterior, pero en este caso el agua en los tanques de lastre móvil produce esfuerzos en los mamparos de división en la sala de bombas que alcanzan un valor máximo de  $2700 \text{ N/cm}^2$ , correspondientes a  $275 \text{ Kg/cm}^2$ . El máximo valor de esfuerzo en esta condición se encuentra en la zona en que los refuerzos primarios cruzan los mamparos de los compartimentos de lastre fijo, alcanzando un valor máximo de  $6312 \text{ N/cm}^2$ , equivalente a  $643 \text{ Kg/cm}^2$ , el mismo que se encuentra por debajo del esfuerzo de fluencia.

En el gráfico siguiente se muestra la distribución de esfuerzos para la tercera condición de carga.

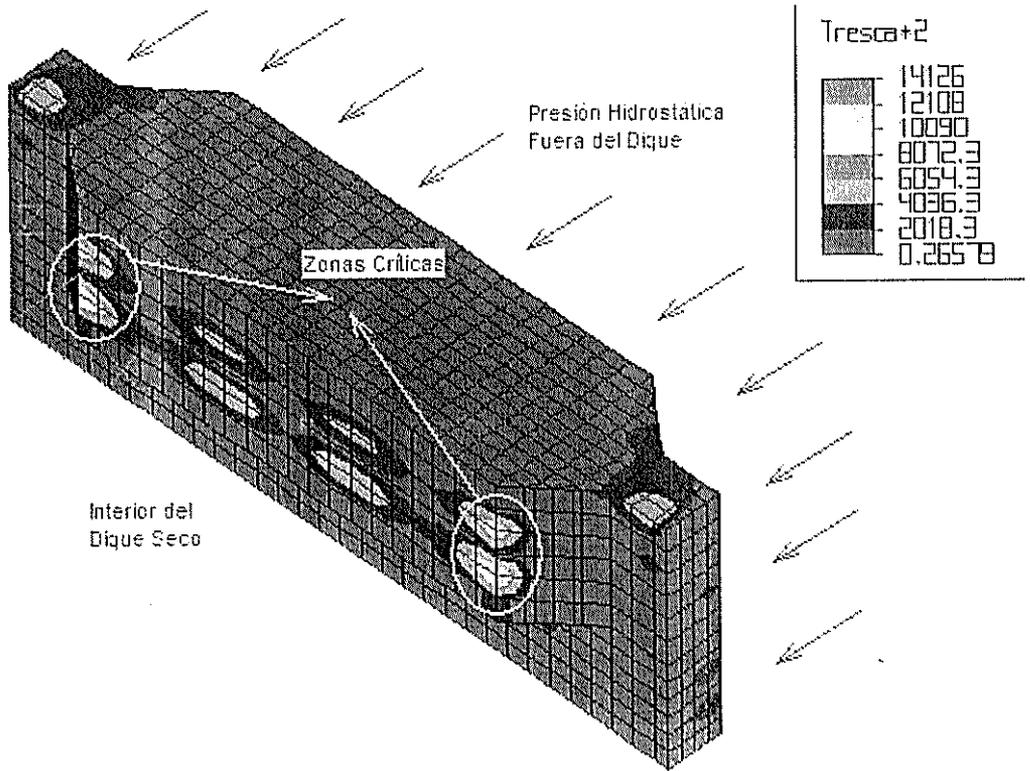
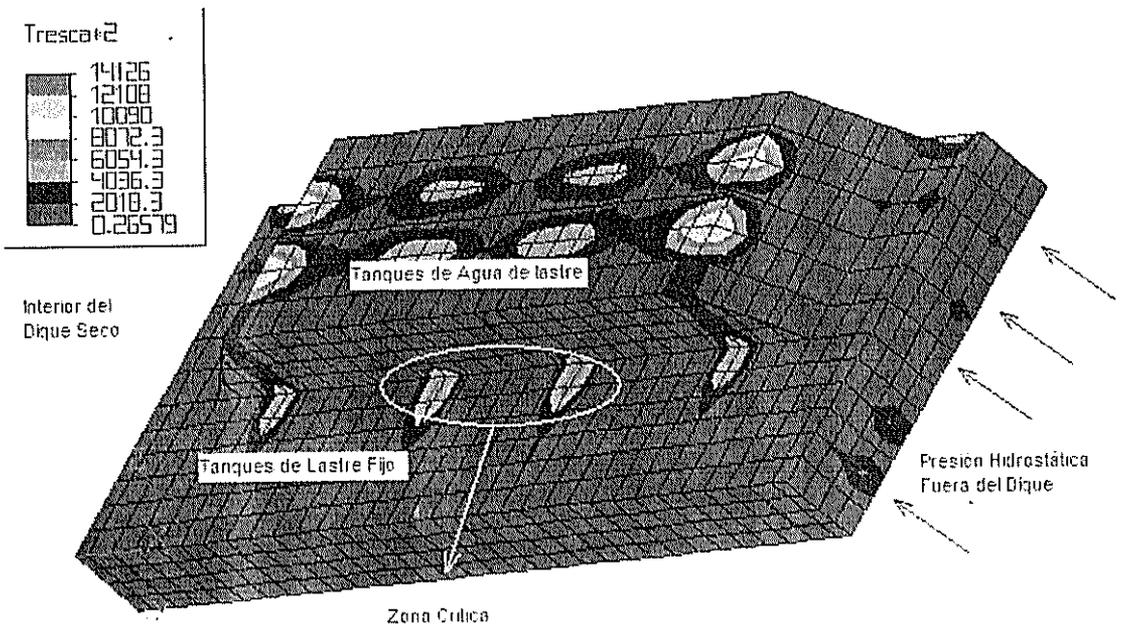


Figura No. 36 Distribución de esfuerzos para la tercera condición de carga

En la figura anterior se marca la zonas críticas, ahí se nota una concentración de esfuerzos en la unión del mamparo de sala de bombas con el costado y los refuerzos longitudinales primarios ("Girders"). Esto se debe al cambio de geometría de los tanques de agua de lastre, lo que produce niveles de esfuerzo de hasta  $14126 \text{ N/cm}^2$  ( $1440 \text{ Kg/cm}^2$ ). En los extremos superiores se observa una zona donde los esfuerzos alcanzan los  $6054 \text{ N/cm}^2$  ( $617 \text{ Kg/cm}^2$ ); en esta región es donde la compuerta está en

contacto con la pared de entrada del dique. En la zona donde se dividen los tanques de lastre fijo y móviles, se visualiza una zona crítica, que es presentada en el gráfico siguiente.



SVIEW 12.04- compuerta1 25-JAN-2006 07:08 LC 1/ 1 Vu=07 Lo= 60 La=-23 R=-29

Figura No. 37 Zona crítica en división de tanques de lastre fijo con móvil

Sobre la zona crítica marcada en el gráfico anterior, actúa todo el peso del agua de lastre, sin que exista una fuerza opuesta que aliviane los esfuerzos, como sucede en el lado que se encuentra hacia el exterior del dique, donde existe la fuerza de boyantez en sentido opuesto al peso del agua de lastre. Los esfuerzos en esta zona alcanzan

niveles de hasta  $10000 \text{ N/cm}^2$  ( $1020 \text{ Kg/cm}^2$ ). Para poder visualizar las zonas críticas en el interior de la compuerta, se presenta una vista con un corte longitudinal en el gráfico a continuación.

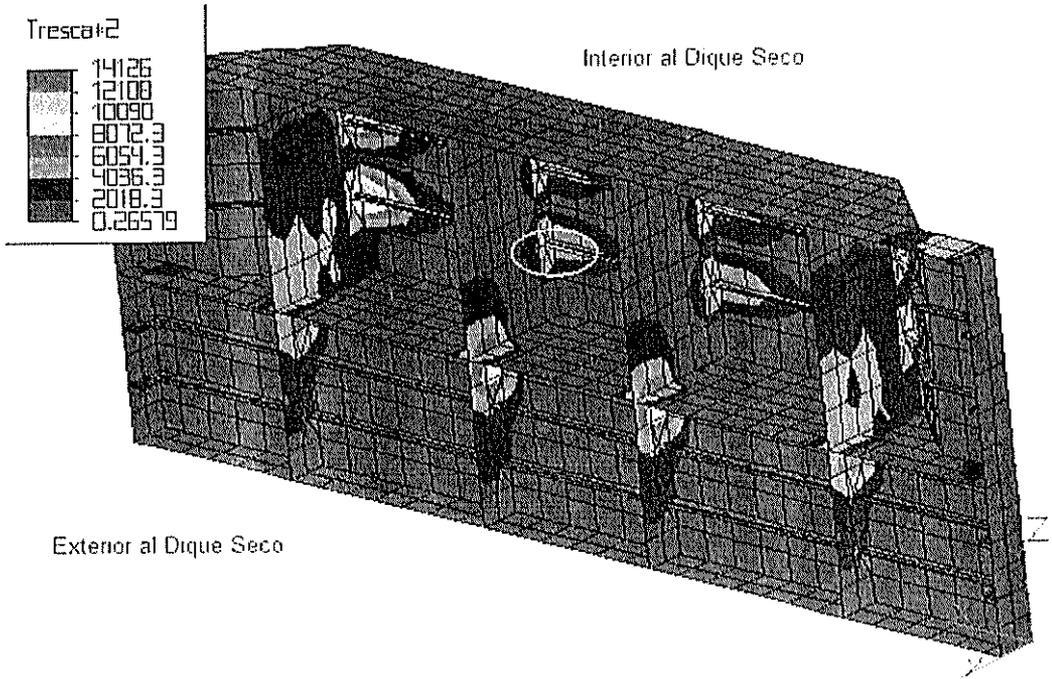


Figura No. 38 Niveles de esfuerzos en el interior de la compuerta (Condición 3)

En la figura No. 38 se observa internamente las zonas críticas mencionadas anteriormente, además se marca con un círculo la zona de pase del longitudinal de costado con los mamparos transversales centrales, ahí se genera una concentración de esfuerzos que alcanzan niveles de hasta  $10000 \text{ N/cm}^2$  ( $1020 \text{ Kg/cm}^2$ ). En los mamparos de sala de bombas los esfuerzos alcanzan valores máximos de  $6000 \text{ N/cm}^2$  ( $612 \text{ Kg/cm}^2$ ).

De lo expuesto anteriormente se tiene que la condición más exigente es la tercera, y el valor máximo de esfuerzo es de **1440 Kg/cm<sup>2</sup>**, que se encuentra por debajo del esfuerzo de fluencia con un factor de seguridad de **1.67**, esto lleva a garantizar que la estructura no fallará aún en la condición extrema de operación. Sin embargo grandes zonas de la estructura no sobrepasan los 2000 N/cm<sup>2</sup> (204 Kg/cm<sup>2</sup>), es decir muy por debajo del esfuerzo de fluencia, lo que nos lleva a la posibilidad de disminuir los espesores de planchaje y escantillones de los refuerzos en estas zonas para reducir el costo del proyecto. La alternativa con reducción de escantillones será analizada en la siguiente sección. En la siguiente tabla se muestran el resumen de esfuerzos en las zonas críticas para las tres condiciones de carga analizadas.

Ubicación	Condición 1		Condición 2		Condición 3	
	Nodo	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>	Nodo	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>	Nodo	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>
<i>Compartimentos de lastre fijo</i>						
Fondo	99	239.35	99	331.09	80	107.4
Laterales	411	269.01	411	373.39	411	447.2
Costados	335	333.13	335	460.86	947	851.9
Mamparos Transversales	425	441.49	425	598.78	969	884.5
Refuerzos longitudinales primarios	432	<b>467.18</b>	432	<b>622.12</b>	808	759.4
<i>Compartimentos de Agua de lastre</i>						
Fondo	1279	108.26	1210	280.43	1131	825.7
Mamparos	1620	417.94	2228	349.03	1662	<b>1421.0</b>
Costados	1640	418.35	2206	349.24	1620	<b>1421.0</b>
Laterales	1443	204.89	2009	107.44	2324	240.0
Refuerzos longitudinales primarios	1815	417.74	1804	365.55	1641	<b>1421.0</b>
Cubierta	2872	14.54	2852	32.50	2721	515.7

Tabla No. 12 Resumen de Esfuerzos

### Análisis de Deformaciones

Los mayores desplazamientos de los nodos se presentan en la tercera condición de carga, cuyo perfil de deformación es mostrado a continuación.

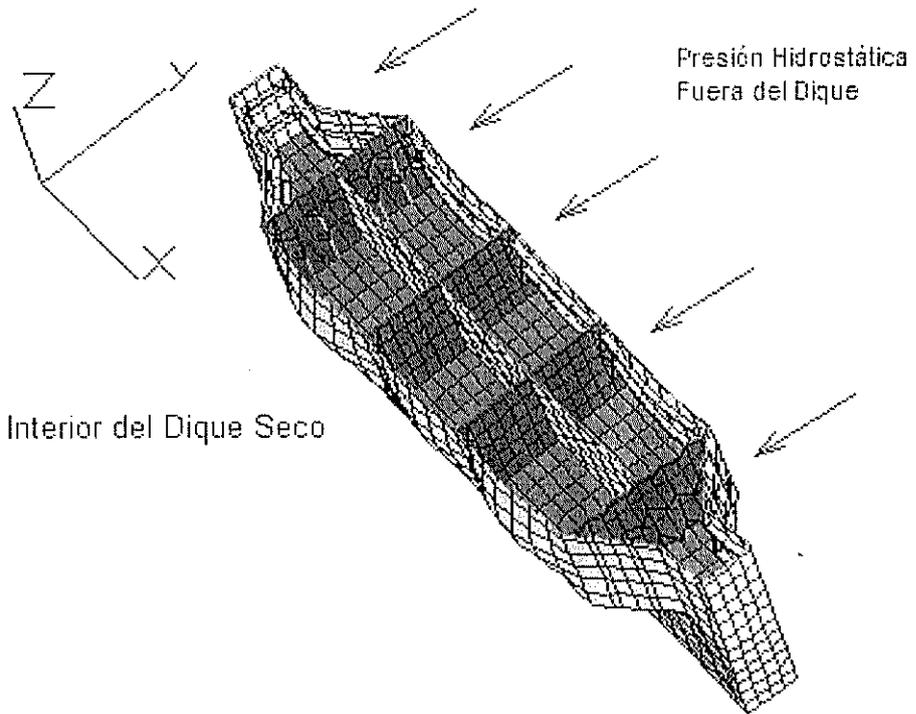
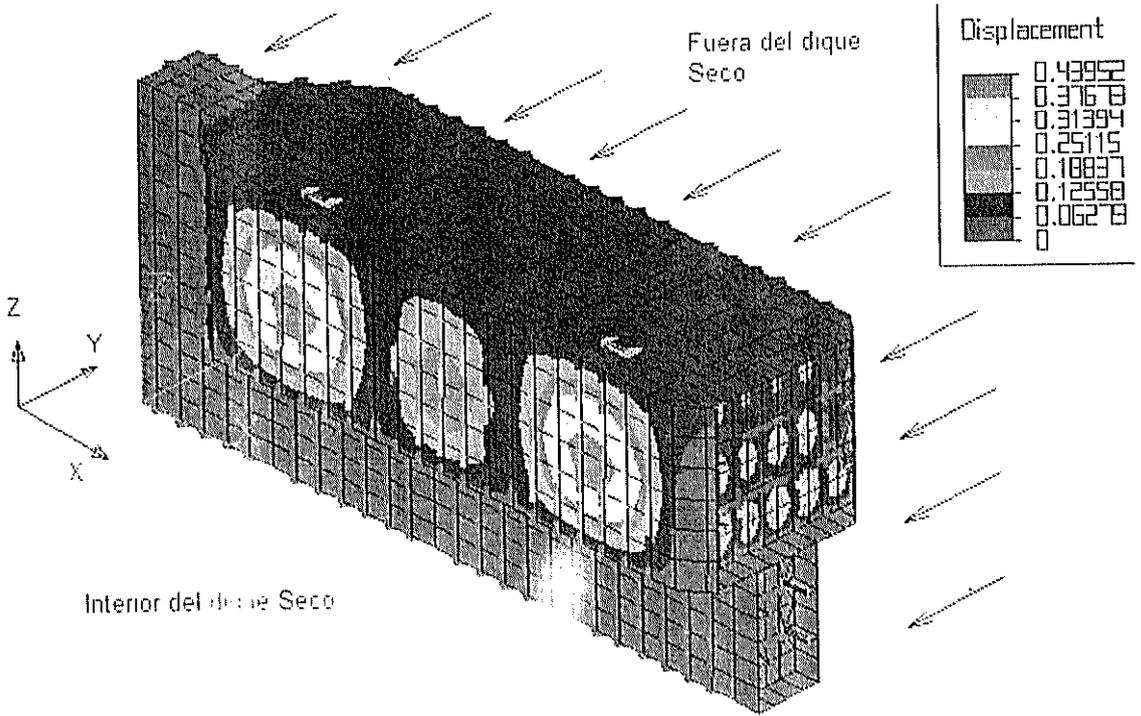


Figura No. 39 Perfil Deformación para la condición de carga 3

Los valores de las deformaciones en centímetros, son presentados en el siguiente gráfico.



W 12.04- compuerta1 25-JAN-2006 07:07 LC 1/ 1 Vu=U7 Lo= 46 La= 31 R= -0

Figura No. 40 Niveles de deformaciones

En el gráfico anterior se presentan los valores absolutos de las deformaciones, en el sentido del eje "X" las mayores deformaciones se producen en los mamparos de sala de bombas con valor máximo de 3.77 mm, mientras que en el eje "Y" se producen en

el costado de los tanques de agua de lastre cuyo valor máximo es 4.40 mm. La “International Association of Classification Societies” (IACS) en su publicación “Shipbuilding and Repair Quality Standard”, [7], recomienda valores estándares para deformaciones en planchaje de costado y fondo de 4 mm, mientras que para mamparos transversales es de 6 mm, el valor límite para ambos es 8 mm. Tomando como referencia esta publicación, se tiene que las deformaciones tienen valores aceptables de acuerdo con los estándares y límites mencionados.

En la siguiente tabla se muestran las deformaciones en las zonas críticas para las tres condiciones de carga analizadas.

Ubicación	Nodo	Desplazamientos		
		dx cm	dy cm	dz cm
<b>Condición 1</b>				
<i>Compartimentos de lastre fijo</i>				
Fondo	121	-0.002	0.000	<b>-0.005</b>
Laterales	216	-0.104	0.000	-0.004
Costados	610	0.003	<b>-0.134</b>	0.000
Mamparos Transversales	590	-0.004	0.000	-0.001
<i>Compartimentos de Agua de lastre</i>				
Fondo	1302	-0.001	-0.001	-0.002
Mamp. Transv. de sala de bombas	1486	-0.003	-0.001	0.000
Costados	1624	0.000	0.080	0.001
Laterales	1443	<b>-0.130</b>	0.000	-0.003
Cubierta	2808	0.000	0.000	0.000
<b>Condición 2</b>				
<i>Compartimentos de lastre fijo</i>				
Fondo	121	-0.001	0.000	<b>0.003</b>
Laterales	216	-0.142	0.000	-0.001
Costados	610	0.002	<b>-0.195</b>	0.002
Mamparos Transversales	590	-0.008	0.000	0.002
<i>Compartimentos de Agua de lastre</i>				
Fondo	1302	0.000	-0.001	-0.010
Mamp. Transv. de sala de bombas	1486	<b>-0.255</b>	-0.001	0.001
Costados	1966	0.000	0.107	0.000
Laterales	1472	-0.066	0.000	-0.001
Cubierta				
<b>Condición 3</b>				
<i>Compartimentos de lastre fijo</i>				
Fondo	1	0.000	0.000	0.000
Laterales	582	-0.006	-0.002	0.001
Costados	633	-0.019	-0.071	-0.013
Mamparos Transversales	399	0.005	-0.005	-0.002
<i>Compartimentos de Agua de lastre</i>				
Fondo	1324	0.000	-0.033	-0.077
Mamp. Transv. de sala de bombas	1486	<b>-0.381</b>	-0.035	0.004
Costados	1953	-0.004	<b>-0.438</b>	-0.033
Laterales	2924	-0.031	0.000	-0.001
Cubierta	2725	0.002	-0.081	<b>-0.099</b>

Tabla No. 13 Resumen de desplazamientos

### 3.4 CONSIDERACIONES POSTERIORES AL ANALISIS

En el desarrollo del dimensionamiento estructural en el capítulo 2, se consideró que la presión hidrostática se ejercía sobre la estructura vacía, además al combinar esfuerzos entre el planchaje y refuerzos, se consideró para su combinación; el desarrollado en el ala de dicho refuerzo y no el del tope, en la unión de este con la plancha, por considerar el caso extremo. Estas asunciones conservativas, llevaron a un sobredimensionamiento de la estructura, que se ve reflejado en los bajos niveles de esfuerzos desarrollados en amplias zonas de la estructura. Como se mencionó en la sección anterior, a continuación se procede a reducir los escantillones de la estructura y analizar los esfuerzos desarrollados con esta alternativa para la situación extrema (Condición 3).

En las tablas siguientes se presentan los escantillones iniciales y finales para el nuevo dimensionamiento a ser considerado para el posterior análisis estructural.

Descripción	Espesor de planchaje				Modificado
	Iniciales		Finales		
	(plg)	(mm)	(plg)	(mm)	
<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

Tabla No. 14 Espesores iniciales y finales del planchaje

Descripción	Escantillones de Refuerzos Estructurales		
	Iniciales	Finales	Modificado
<b>COMPARTIMENTOS DE LASTRE FIJO (CONCRETO)</b>			
Cuaderna de fondo	L 3 1/2"x3 1/2"x5/16" (89x89x7.94mm)	L 3 1/2"x3 1/2"x5/16" (89x89x7.94mm)	No
Ref. Longitudinal de fondo	Pl. 3 1/2"x7/16" (89x11.10mm)	Pl. 3 1/2"x7/16" (89x11.10mm)	No
Cuaderna de costado	L 3 1/2"x3 1/2"x3/8" (89x89x9.50mm)	L 3"x3"x5/16" (76x76x7.94mm)	Si
Longitudinales de costado	T armada 10"x7/16"+4"x1/2" (254x11.10+102x12.70mm)	T armada 10"x3/8"+4"x7/16" (254x9.50+102x11.10mm)	Si
Refuerzo vertical en costado lateral	L 7"x4"x7/16" (178x102x11.10mm)	L 7"x4"x7/16" (178x102x11.10mm)	No
Refuerzo horizontal en costado lateral	T armada 10"x7/16"+4"x1/2" (254x11.10+102x12.70mm)	T armada 10"x3/8"+4"x7/16" (254x9.50+102x11.10mm)	Si
Ref. horizontales en Mamp. Transv.	L 3 1/2"x3 1/2"x1/4" (89x89x6.35mm)	L 3 1/2"x3 1/2"x1/4" (89x89x6.35mm)	No
Ref. Verticales en Mamp Transv.	Platina 31/2"x1/4" (89x6.35mm)	Platina 31/2"x1/4" (89x6.35mm)	No

<b>COMPARTIMENTOS DE AGUA DE LASTRE</b>			
Ref. Longitudinal de Fondo	L 7"x4"x7/16" (178x102x11.10mm)	L 7"x4"x3/8" (178x102x9.50mm)	Si
Cuaderna de fondo	L 3"x3"x3/8" (76x76x9.50mm)	L 2 1/2"x2 1/2"x5/16" (64x64x7.94mm)	Si
Cuaderna de Costado	L 3"x3"x5/16" (76x76x7.94mm)	L 2 1/2"x2 1/2"x1/4" (64x64x6.35mm)	Si
Longitudinales de costado	T armada 7 1/2" x3/8"+ 3"x7/16" (191x9.50mm + 76x11.10mm)	T armada 7 1/2" x5/16"+ 3"x3/8" (191x7.94mm + 76x9.50mm)	Si
Bao de Cubierta	L 2 1/2"x2 1/2"x1/4" (64x64x6.35mm)	L 2"x2"x1/4" (50x50x6.35mm)	Si
longitudinales de Cubierta	L 5"x3"x3/8" (127x76x9.50mm)	L 5"x3"x5/16" (127x76x7.94mm)	Si
Ref. horizontales en Mamparos	T armada 5 1/2" x5/16"+ 2"x3/8" (140x7.94mm + 51x9.50mm)	T armada 5 1/2" x5/16"+ 2"x5/16" (140x7.94mm + 51x7.94mm)	Si
Ref. Verticales en Mamparos	L 3"x3"x1/4" (76x76x6.35mm)	L 2 1/2"x2 1/2"x1/4" (64x64x6.35mm)	Si

Tabla No. 15 Escantillones iniciales y finales de los Refuerzos

Además de la disminución del escantillonado, en la zona donde existe alta concentración de esfuerzos debido al cambio de forma de la sección, se colocaron escuadras entre los longitudinales de costado y los refuerzos horizontales en los mamparos transversales de sala de bombas. A continuación se presenta en el siguiente gráfico la nueva distribución de esfuerzos.

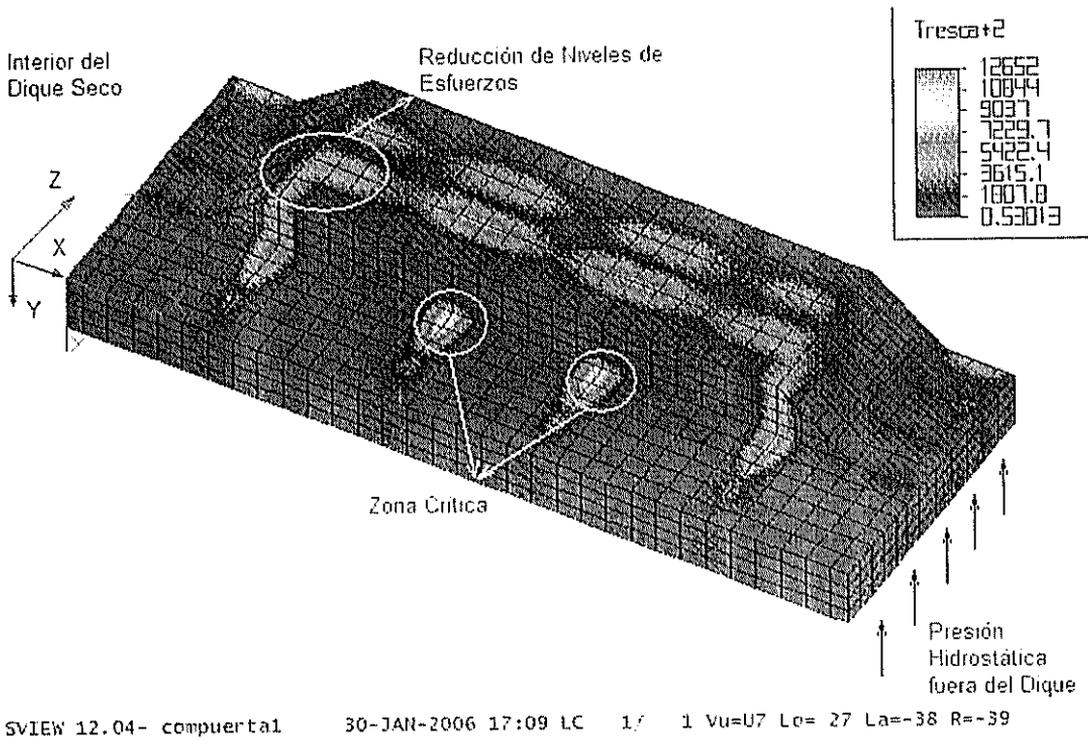


Figura No. 41 Distribución de Esfuerzos con nuevo dimensionamiento estructural.

Con este nuevo dimensionamiento se consiguió una distribución de esfuerzos más uniforme, además con la colocación de escuadras se logró reducir la concentración de esfuerzos generada sobre la zona del mamparo de sala de bombas. La zona crítica sigue siendo la parte inferior marcada en el gráfico anterior. El nivel de esfuerzos en el interior de la compuerta flotante se muestra en el gráfico siguiente.

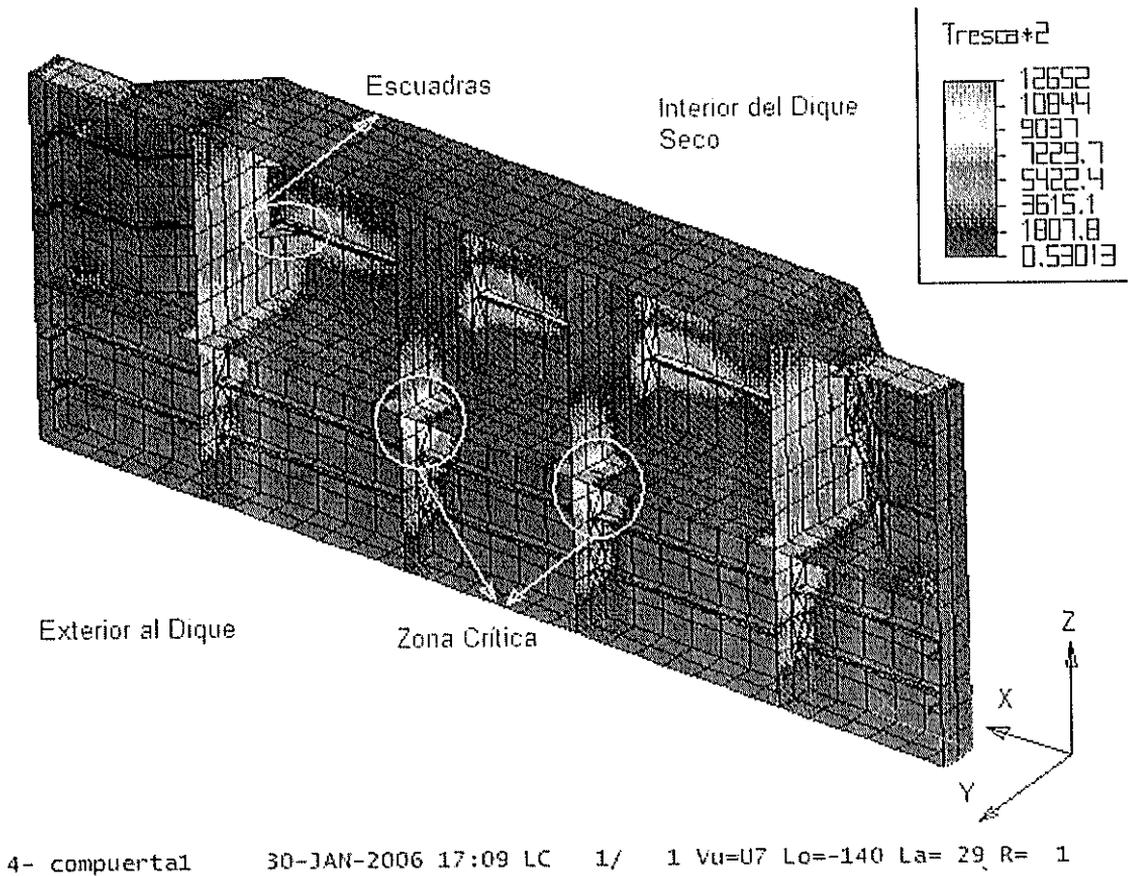
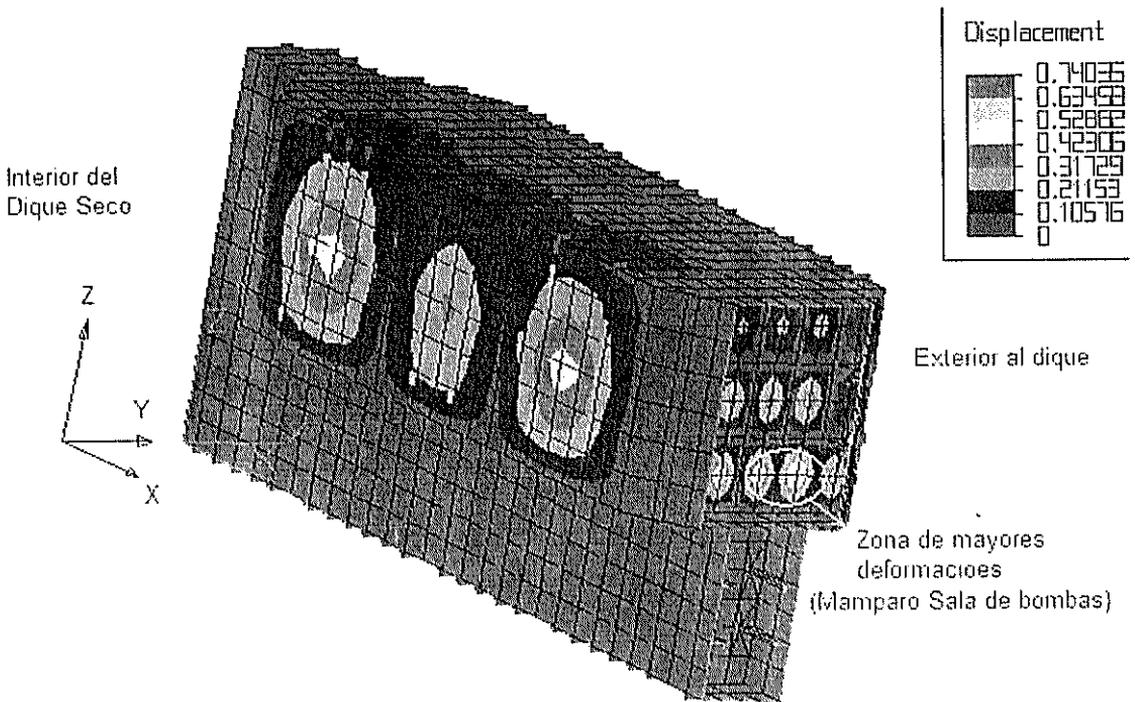


Figura No. 42 Distribución de Esfuerzos en el Interior (nuevo dimensionamiento)

En el gráfico anterior se pueden observar las escuadras colocadas, que produjeron una reducción de esfuerzos de  $14120 \text{ N/cm}^2$  ( $1440 \text{ Kg/cm}^2$ ) a  $7300 \text{ N/cm}^2$  ( $744 \text{ Kg/cm}^2$ ) 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  $12652 \text{ N/cm}^2$  ( $1290 \text{ Kg/cm}^2$ ), valor que se encuentra por debajo del esfuerzo de fluencia.

Las deformaciones alcanzan valores máximos de 7.40 mm en los mamparos que dividen los tanques de agua de lastre y la sala de bombas, estos valores no superan los

límites recomendados por la IACS, además se debe tener en cuenta, que esta condición considera los tanques de agua llenos, situación extrema que pocas veces debería suceder. Los niveles de deformaciones en centímetros, son presentados en el gráfico siguiente.



IEW 12.04- compuerta1 30-JAN-2006 17:08 LC 1/ 1 Vu=U7 Lo= 56 La= 13 R= -9

Figura No. 43 Niveles de Deformaciones (nuevo dimensionamiento)

Con la disminución del escantillonado se reduce el material y en consecuencia, también el peso de la estructura en 9 toneladas, por tal razón como recomendación para un diseño final se tendrá que recalcular el peso de lastre fijo en proporción a lo disminuido en material y revisar las condiciones de estabilidad. 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 <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

Tabla No. 16 Resumen de Esfuerzos, antes y después de la reducción de escantillones.

## CAPÍTULO 4

### 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 se probará su funcionamiento en un estanque que simulará el dique seco.

#### 4.1 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE LA COMPUERTA FLOTANTE

El modelo de la compuerta flotante fue construido a escala 1:10 y el material de construcción fue plywood marino para las partes planas con algunos refuerzos de madera. En la figura siguiente se presenta el plano del modelo a construirse, con dimensiones dadas en centímetros.

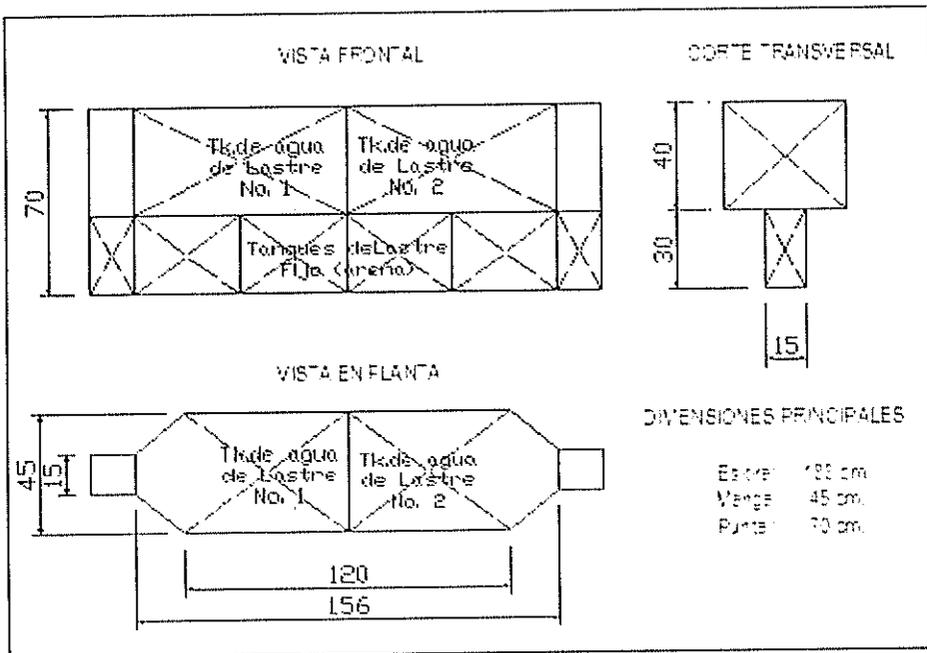


Figura No. 44 Plano del modelo de la compuerta flotante, dimensiones en cm.

El proceso de construcción empieza con la marcación en el plywood marino de las piezas, de acuerdo al plano del prototipo, con la escala correspondiente al modelo, para posteriormente ser cortadas. En la siguiente figura se muestra la labor de corte de piezas.

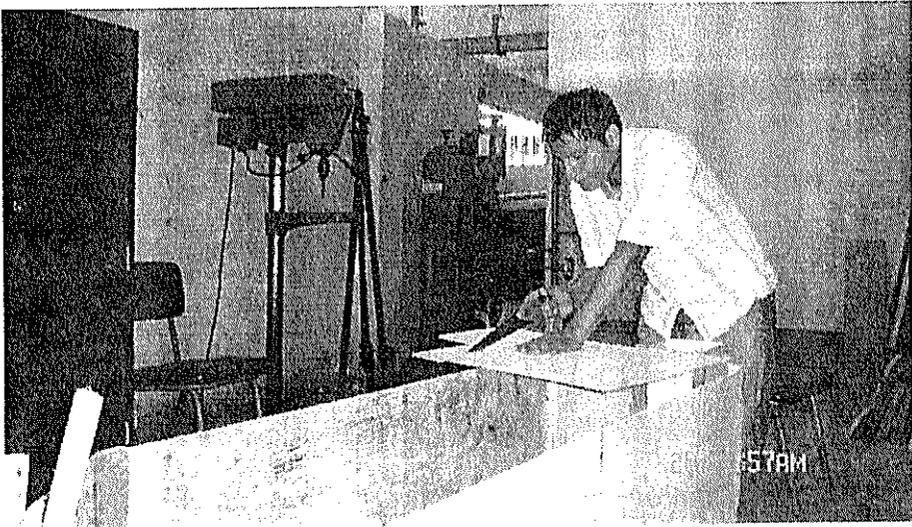


Figura No. 45 Corte de piezas para la construcción del modelo

Teniendo todas las piezas cortadas, se procedió a unir las, con clavos y cola marina. En la siguiente figura se muestra a la compuerta en fase de ensamblaje, donde se puede ver los tanques de agua de lastre en la parte superior.

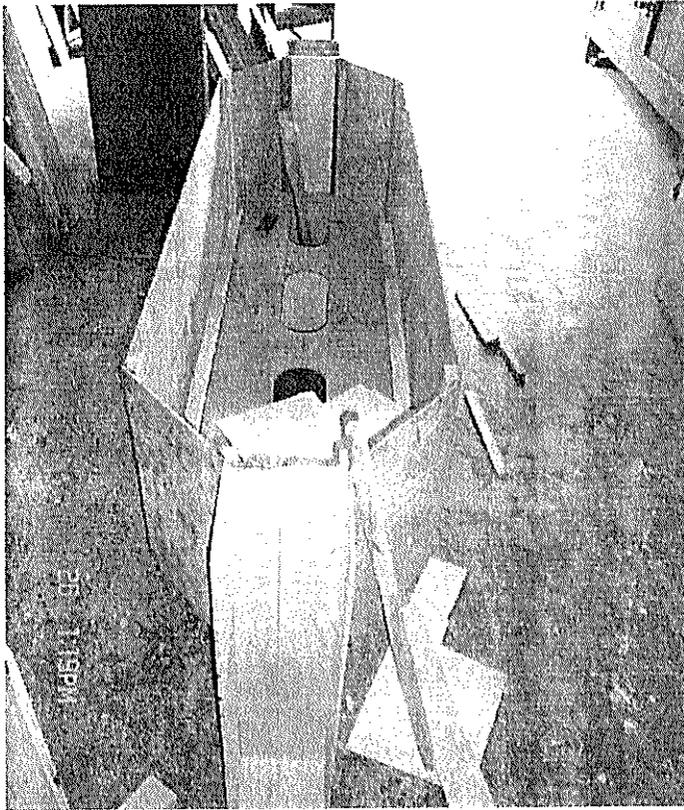


Figura No. 46 Modelo en fase de ensamblaje

En la figura anterior, se nota en el fondo de los tanques de agua aligeramientos que conectan con los tanques de lastre fijo ubicados en el fondo. Estos orificios se hicieron para poder introducir arena, que se utilizará como lastre fijo. En la figura siguiente se muestra la estructura terminada de la parte exterior del modelo de la compuerta.

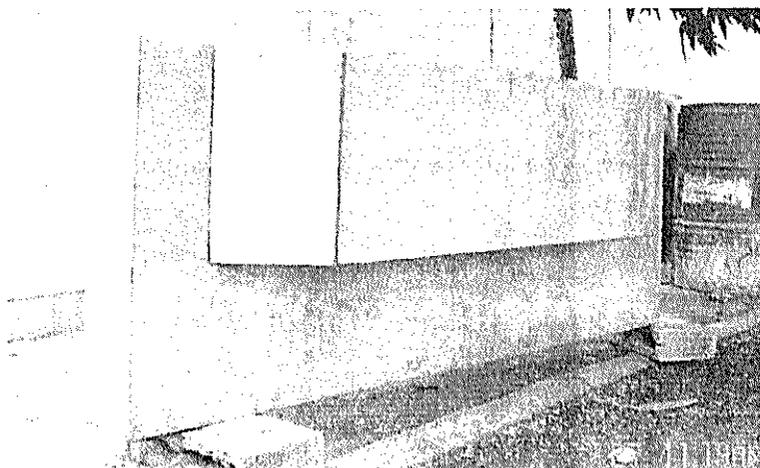


Figura No. 47 Estructura externa del modelo

A diferencia del prototipo que tiene 4 tanques de agua de lastre, el modelo tiene solo dos, divididos por un mamparo transversal, lo que es suficiente para probar su funcionamiento. En la siguiente figura se puede observar la distribución mencionada.

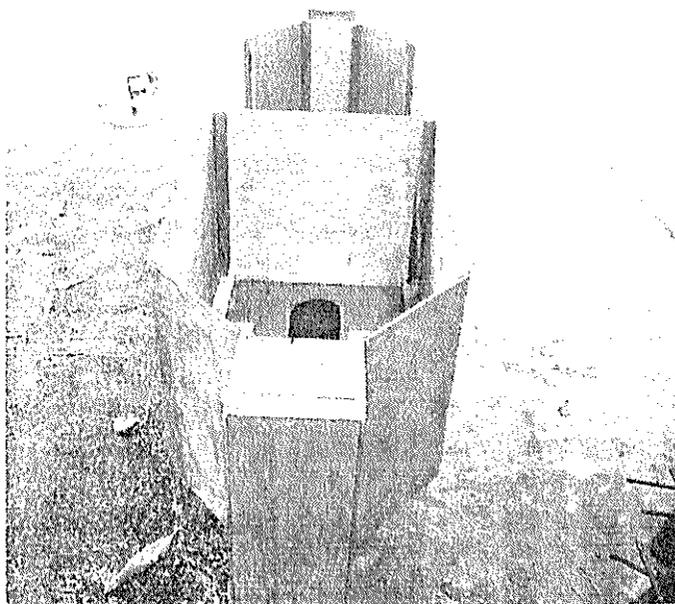


Figura No. 48 Estructura terminada mostrando los dos tanques de agua de lastre

Para permeabilizar el modelo y no permitir el ingreso de agua hacia el interior de esta, se cubrió el exterior con una capa de fibra de vidrio y luego se aplicó esmalte para ayudar a la no filtración de agua y humedad. Finalmente se colocó el sello de caucho en los contornos que van a producir estanqueidad hacia el interior del estanque que simulará el dique seco. En la figura a continuación se muestra la construcción terminada del modelo.

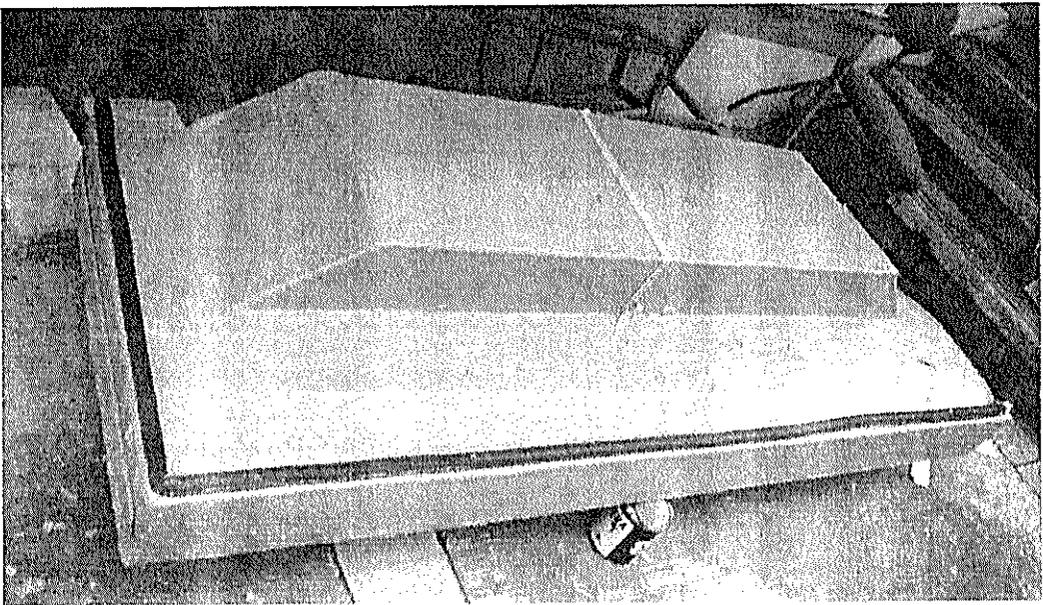


Figura No.49 Modelo terminado mostrando el sello de caucho en el borde

Las instalaciones que servirán para la realización de las pruebas se construyeron dentro de una piscina disponible en la FIMCM como parte de los laboratorios de acuicultura. En la figura siguiente se muestran detalles del marco de cemento que representa la boca del dique, adecuadas para simular las situaciones que se producirían en la realidad.

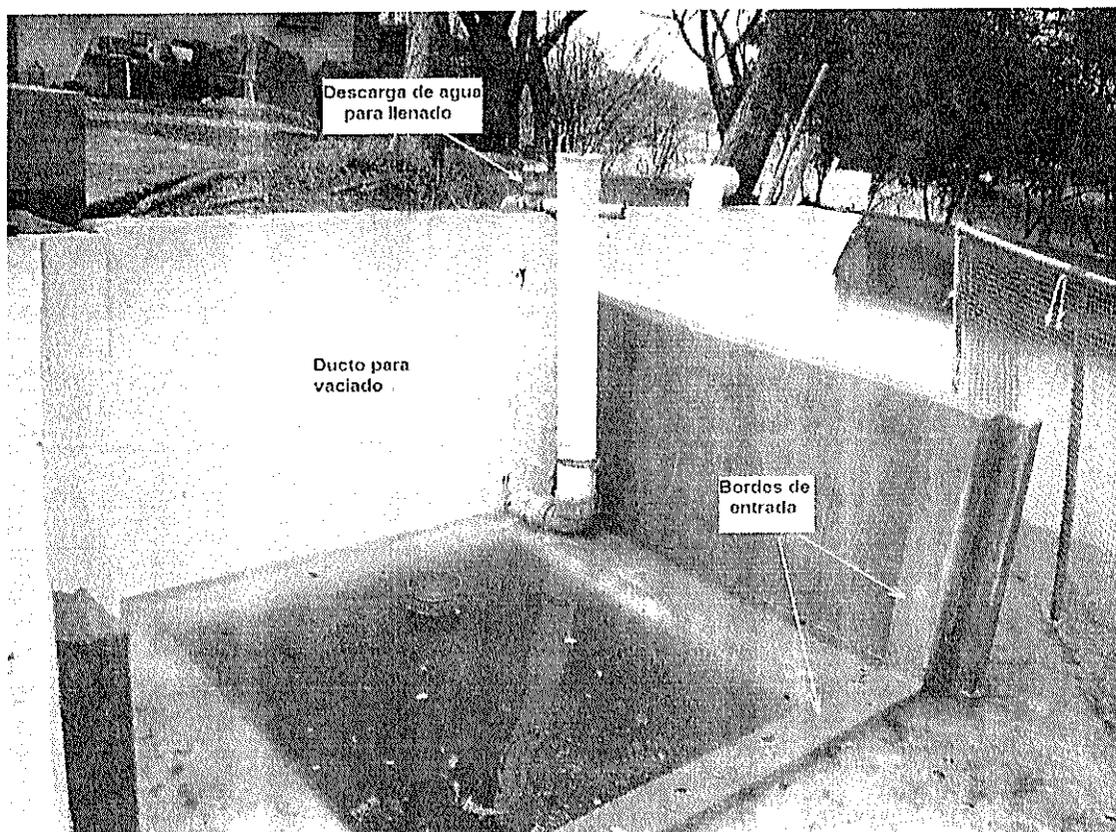


Figura No.50 Instalaciones para realización de las pruebas

Como se describe en la figura anterior, las instalaciones constan de una descarga de agua que permitirá el llenado de la piscina. Un ducto en el fondo permitirá el vaciado del agua en el interior del dique, en el instante en que la compuerta flotante esté asentada en el sitio de entrada. Los bordes en la entrada, permitirán el sellado del interior del dique cuando la acción de la presión del agua en el exterior, actúe sobre dichos bordes.

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

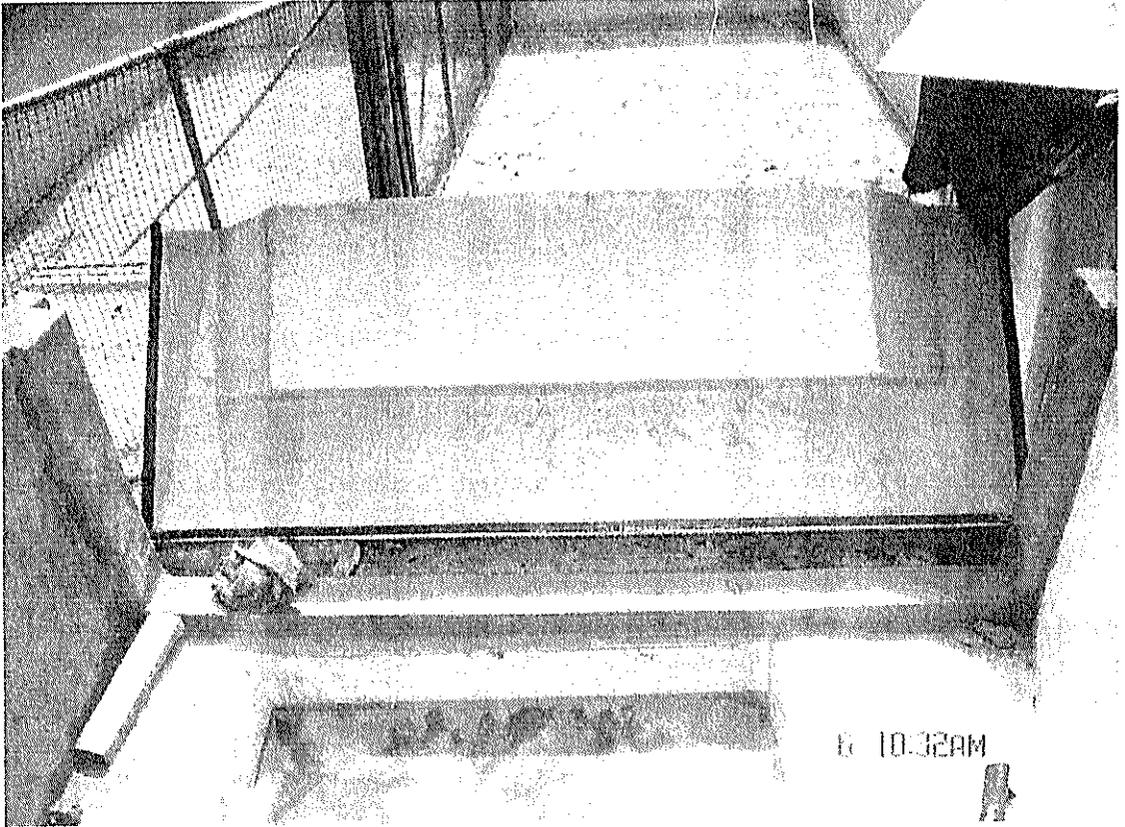


Figura No. 51 Modelo presentado dentro de las instalaciones (Foto tomada desde el interior del "dique")

## 4.2 PRUEBAS DEL SISTEMA

Para realizar las pruebas de funcionamiento, las características hidrostáticas del modelo deben ser similares en proporción a la escala del prototipo diseñado. Los valores de las características para el modelo y prototipo se presentan a continuación.

	Prototipo	Modelo
Calado:	4.50 m	45.00 cm.
Posición del centro de gravedad vertical (KG):	1.79 m	17.90 cm.
Peso de la compuerta:	55.00 Ton.	55.00 Kg.
Desplazamiento:	193.96 Ton.	189.00 Kg.

El peso del modelo en proporción al del prototipo debería ser de 55 Kg., sin embargo debido a que el material de construcción del modelo es madera, el modelo pesó 23 Kg.; además el lastre utilizado es arena y no concreto como en el caso del prototipo, lo que origina que la cantidad y posición vertical del centroide del lastre fijo sean diferentes en el modelo. Para establecer similitud entre el modelo y prototipo, se tomó como alternativa llenar los tanques de lastre y realizar una prueba de inclinación, para de esta manera conocer el calado y KG para esta condición. A partir de esto, se va a estimar los pesos necesarios y su ubicación en el modelo, que produzcan las características hidrostáticas similares a las del prototipo.

### Experimento de Inclinación

Para realizar el experimento de inclinación se procedió tal como si fuera una embarcación: se utilizaron 4 pesos conocidos, ubicados 2 a babor y 2 a estribor. Los calados medidos para esta condición (incluidos pesos utilizados para el experimento) fueron los siguientes:

Calado en Proa: 42.30 cm

Calado en Popa: 42.30 cm

Escora inicial: aproximadamente 0°

Los movimientos realizados fueron 8, registrándose los ángulos de inclinación generados por cada uno de los movimientos. En la figura a continuación se presenta el esquema de la ubicación de los pesos y la secuencia de movimientos.

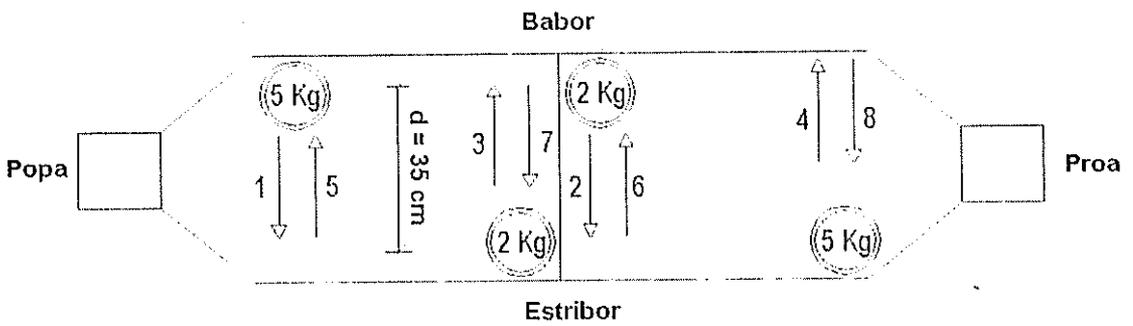


Figura No. 52 Movimiento de pesos para el experimento de inclinación

En las figuras mostradas a continuación se presenta una foto tomada durante la prueba de inclinación.

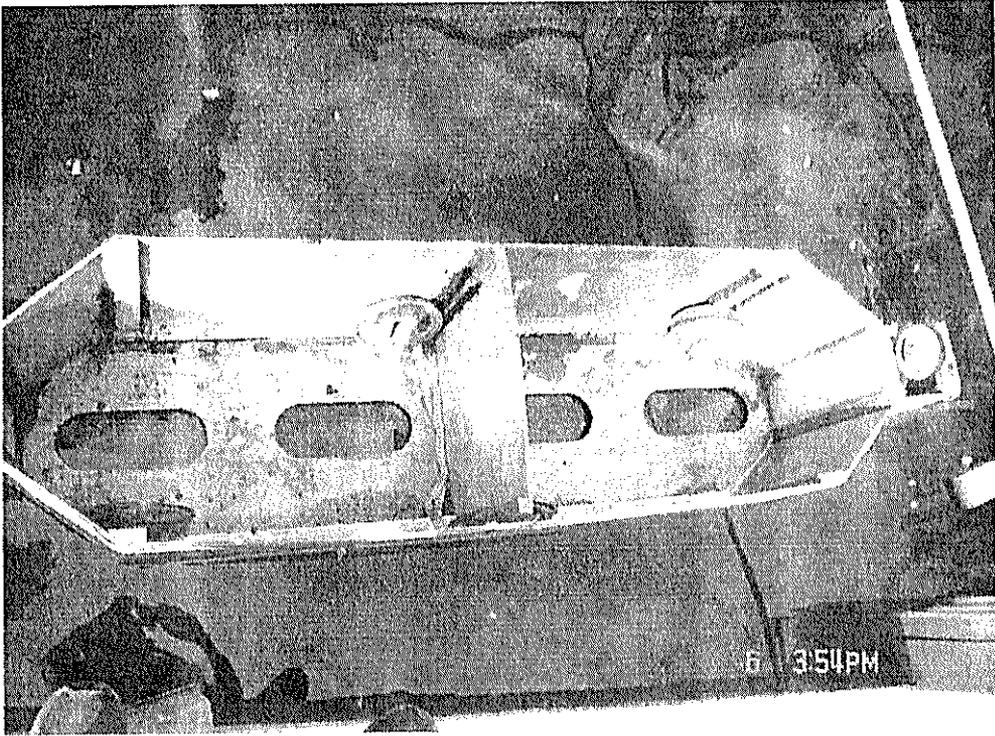


Figura No. 53 Foto de la Prueba de inclinación

En la siguiente tabla se presentan los datos del experimento realizado.

Movimiento	Peso (p) (Kg)	Distancia (d) (cm)	$pi \times di$ (Kg . cm)	Sum ( $pi \times di$ ) (Kg . cm)	Inclinación ( $\theta$ ) Grados	Tg $\theta$
1	5	40	200	200	4.30	0.07519
2	2	40	80	280	7.20	0.12633
3	2	-40	-80	200	4.20	0.07344
4	5	-40	-200	0	0.10	0.00175
5	5	-40	-200	-200	-4.20	-0.07344
6	2	-40	-80	-280	-7.10	-0.12456
7	2	40	80	-200	-4.30	-0.07519
8	5	40	200	0	-0.10	-0.00175

Tabla No. 17 Datos del experimento de inclinación

Con los datos de la tabla anterior, se grafica la sumatoria de los pesos por las distancia ( $p_i \times d_i$ ) en las abscisas y la tangente de  $\theta$  en las ordenadas. Este gráfico se presenta en la figura siguiente.

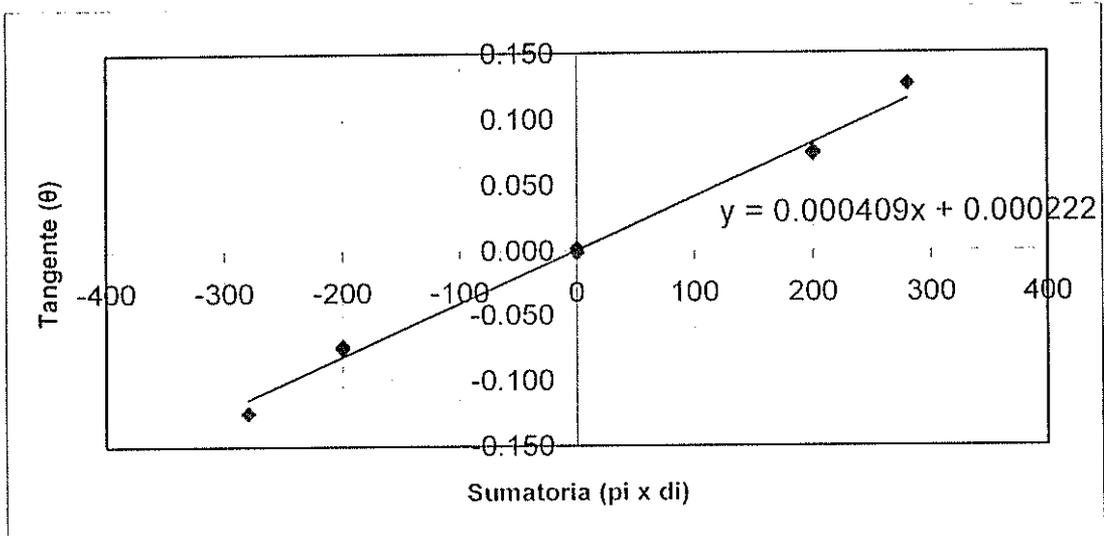


Figura No. 54 Sumatoria ( $p_i \times d_i$ ) Vs. Tangente ( $\theta$ )

En la figura anterior, se incluye la ecuación de la recta, cuya pendiente ( $m$ ) es igual a:

$$m = 0.000409 \left[ \frac{1}{\text{Kg} \cdot \text{cm}} \right]$$

El valor de la altura metacéntrica transversal ( $GM_T$ ), se lo calcula utilizando la siguiente fórmula.

$$GM_T = \frac{1}{\Delta \cdot m}$$

donde,  $m$ , es la pendiente de la recta, y,  $\Delta$ , es el desplazamiento.

Para el calado de 42.30 cm., corresponden los siguientes datos hidrostáticos:

Desplazamiento = 170.21 Kg.

Radio metacéntrico transversal ( $KM_T$ ) = 32.10 cm.

Altura metacéntrica transversal ( $GM_T$ ) = 14.36 cm.

Posición del centro de gravedad ( $KG$ ) =  $KM_T - GM_T = 17.73$  cm

Teniendo los datos hidrostáticos se procede a estimar los pesos requeridos y su posición vertical dentro del modelo, para alcanzar el  $KG$  y el calado correspondientes al prototipo. En la tabla siguiente se muestra el cálculo para la estimación mencionada.

Item	Peso <sub>i</sub> (Kg)	KG <sub>i</sub> (cm)	Peso <sub>i</sub> x KG <sub>i</sub> (Kg - cm)	Observaciones
1	170.21	17.725	3,016.99	Desplazamiento Inicial
2	-14	40	-560.00	Pesos utilizados en el experimento
3	12.3	32	393.60	Peso a ser añadido
4	12.3	32	393.60	Peso a ser añadido
5	4.5	32.5	146.25	Peso a ser añadido
6	4.5	32.5	146.25	Peso a ser añadido
Totales:	189.81		3,536.69	
		<b>Calculados</b>	<b>Esperados</b>	<b>Porcentaje de diferencia</b>
<b>Desplazamiento (Kg):</b>		189.81	189	0.43 %
<b>KG (cm):</b>		18.63	18	3.50 %

Tabla No. 18 Estimación de Pesos a colocar en el modelo

De la tabla anterior se tiene que la diferencia en porcentaje entre los valores estimados y esperados de KG y calado son despreciables, procediendo ahora a la colocación de los pesos en las posiciones establecidas en la tabla anterior, para finalmente realizar las pruebas de funcionamiento. En la figura siguiente se presenta una foto donde se ve a la compuerta con los pesos añadidos.

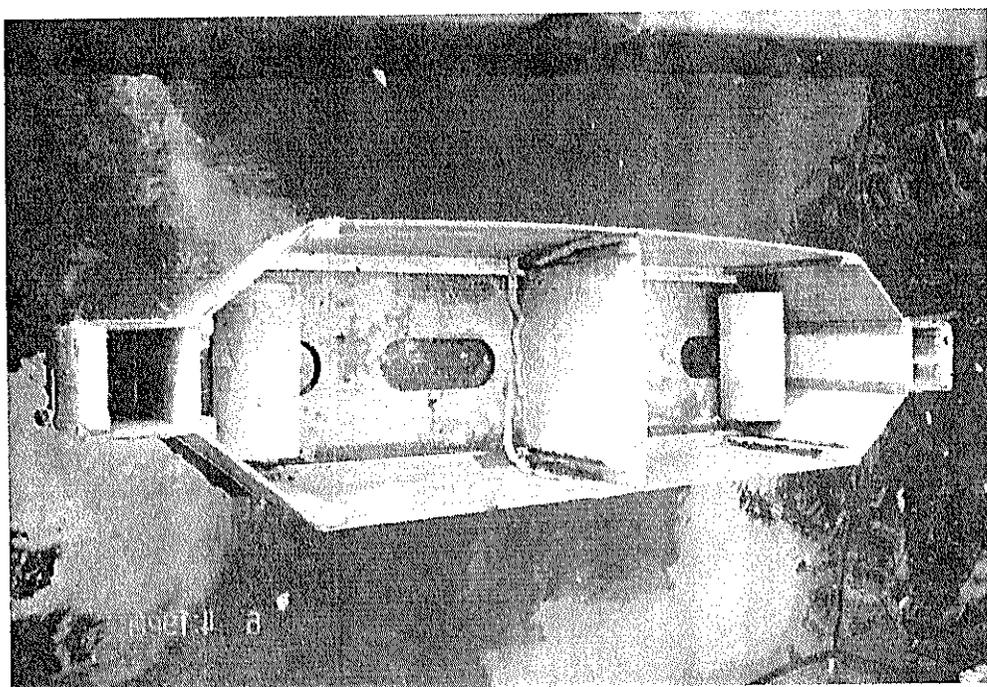


Figura No. 55 Compuerta en condición de flotación de diseño

### Prueba 1: Traslado del modelo hacia el sitio de asentamiento

La compuerta es trasladada hacia el sitio de asentamiento en la entrada del dique, para lo que se colocaron cables en los extremos, simulando la maniobra de traslado. No se encontró ningún problema en maniobrabilidad, ni estabilidad. En la figura siguiente se muestra el traslado de la compuerta.

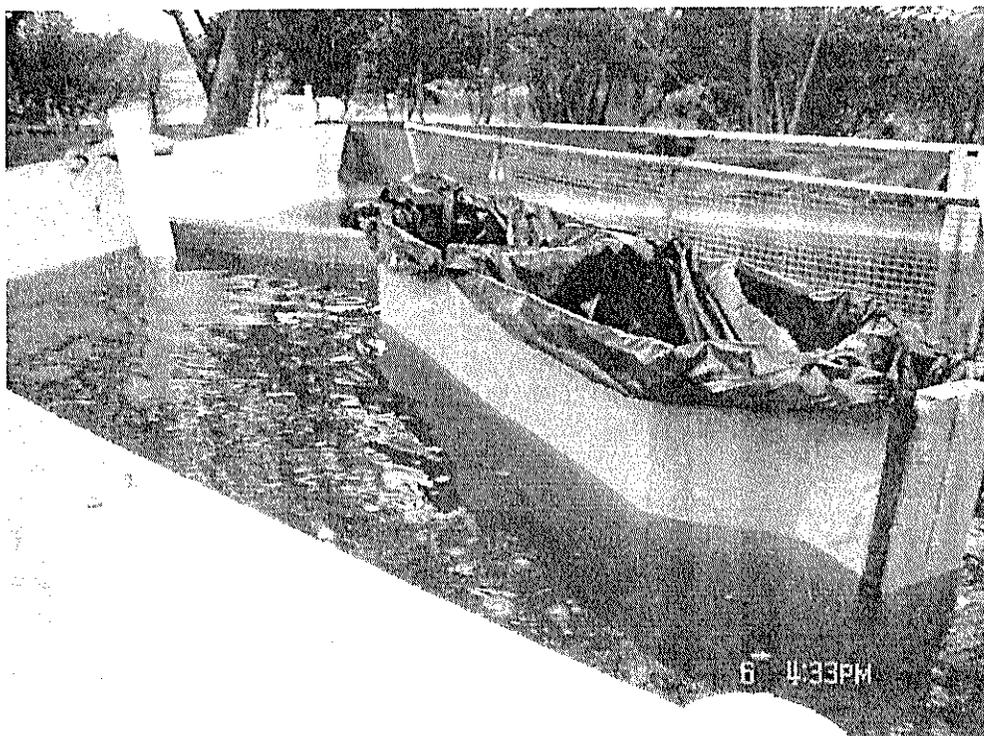


Figura No. 56 Traslado del modelo al sitio de asentamiento

**Prueba 2: Hundimiento del modelo, vaciado y sellamiento del interior del dique**

Ya en el sitio de asentamiento se procede a llenar los tanques de agua de lastre hasta alcanzar el calado del modelo igual a la profundidad del agua en la piscina. En la figura a continuación se muestra la maniobra mencionada.



Figura No. 57 Llenado de tanques de agua de lastre

Finalizado el llenado de los tanques, se procedió al vaciado del interior del dique, retirando el ducto colocado para esta labor. Esta maniobra es presentada en la figura siguiente.

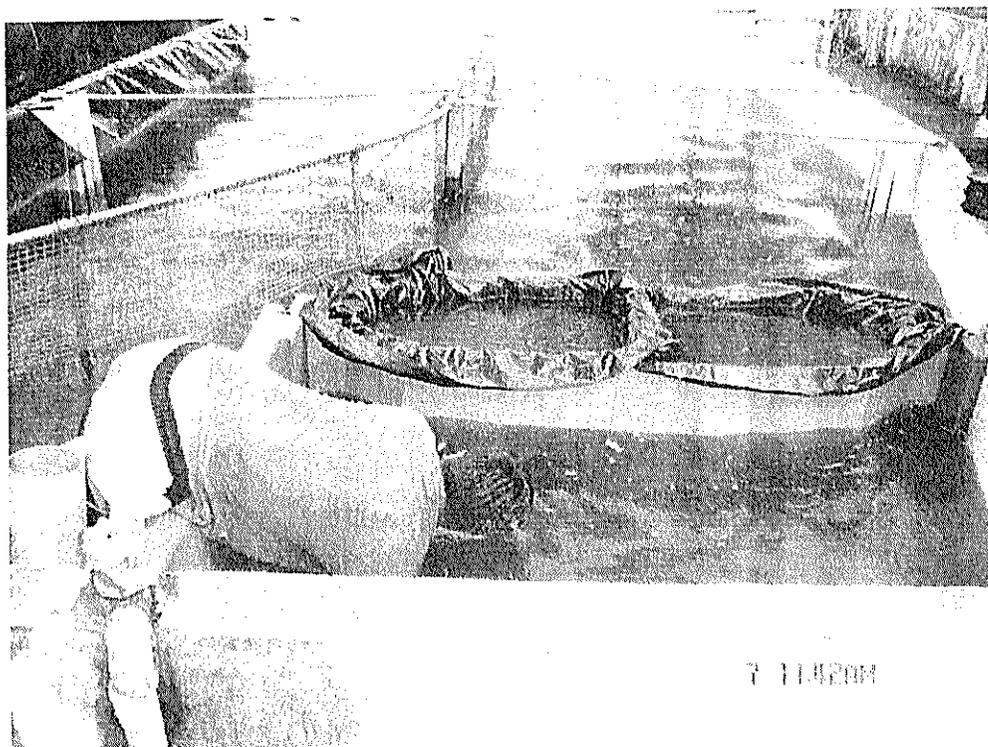


Figura No. 58 Vaciado del interior del dique

En la figura anterior se puede observar el desnivel existente entre el exterior e interior del dique producido por el vaciado en el interior. Concluido el vaciado, la acción del agua en el exterior presiona sobre los bordes en la entrada produciendo la estanqueidad hacia el interior. En la figura siguiente se ve el dique con el interior vacío.

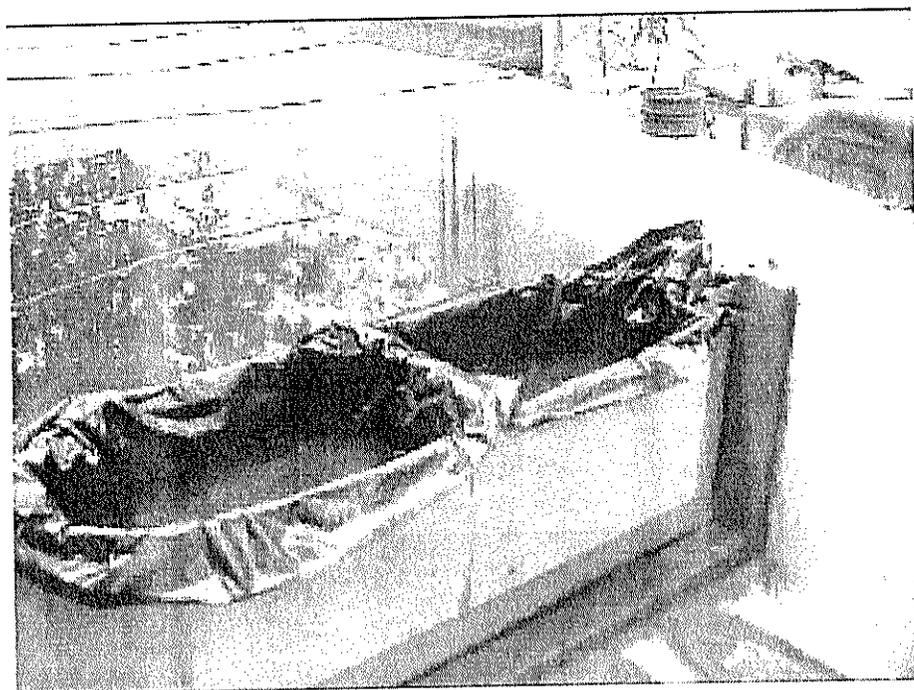


Figura No. 59 Compuerta actuando como medio de estanqueidad al interior del dique

Durante la operación de estanqueidad se produjeron filtraciones por 3 puntos del marco de asentamiento de la compuerta. Luego de la inspección se comprobó irregularidades de construcción en la superficie del modelo, lo que no permitía la correcta presión del sello de caucho sobre los bordes de cemento, originando filtraciones por esas zonas. Sin embargo la cantidad de flujo que ingresa es aceptable y puede ser fácilmente controlable en la vida real con un sistema de bombeo pequeño.

### **Prueba 3: Llenado del interior del dique y reflote del modelo**

Finalmente, luego de probar la estanqueidad producida por la compuerta, se realizó la maniobra inversa. Dicha maniobra consiste en llenar de agua el interior del dique y vaciar los tanques de agua de lastre del modelo hasta que esta reflote para posteriormente ser retirada del sitio de entrada al dique y acoderada lejos de esta. En las figuras siguientes se muestran las maniobras mencionadas.

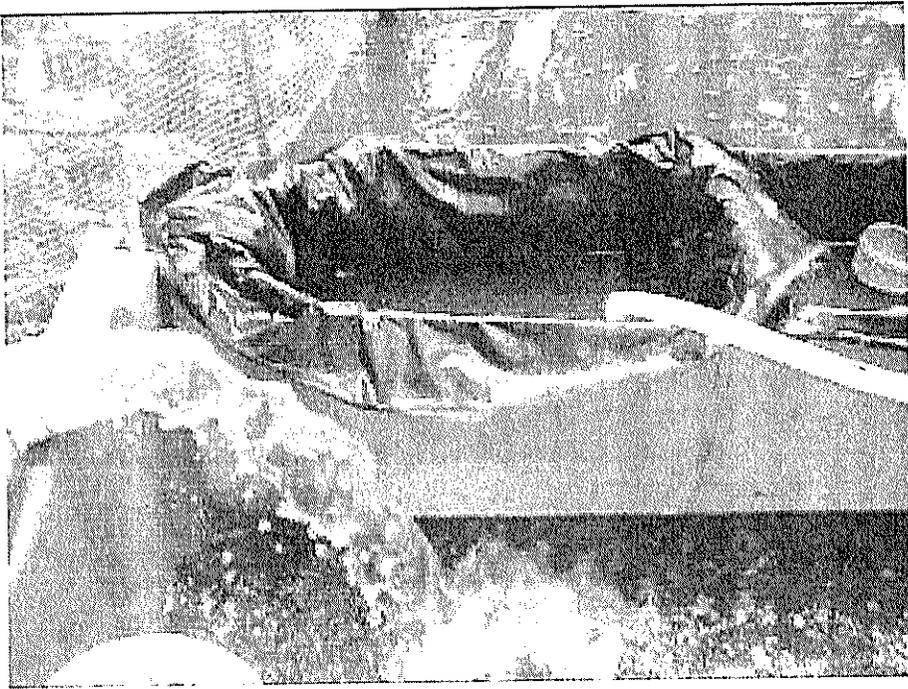


Figura No. 60 Llenado del interior del dique y vaciado de los tanques de lastre

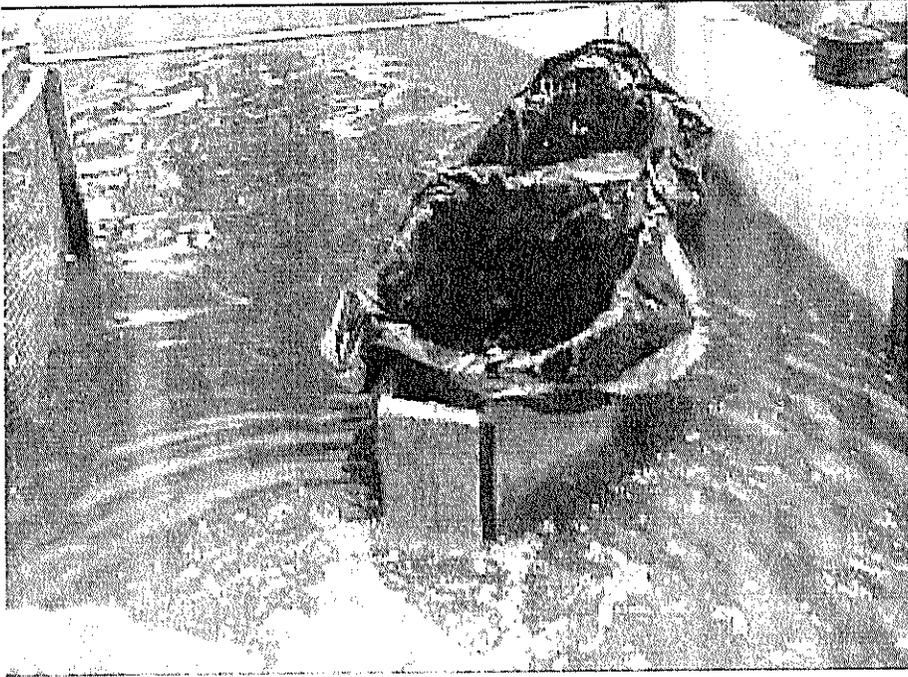


Figura No. 61 Reflote y retirada de la compuerta del sitio de entrada al dique

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

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente trabajo se ha desarrollado un procedimiento general de diseño para una compuerta flotante para un dique seco, que puede ser usado como referencia para futuros diseños de estructuras flotantes que tengan funcionamiento similar. Dado que por experiencias previas se conocía que el problema de estabilidad era de suma importancia, luego de la selección de las dimensiones principales, se diseñó a nivel preliminar la estructura para estimar su peso. El posterior análisis de estabilidad permitió establecer la cantidad de lastre fijo requerido, y conociendo este peso se desarrolló un análisis estructural detallado empleando el método de Elementos Finitos, para lo cual se utilizó el programa ALGOR; en este análisis estructural se consideraron tres condiciones de carga, de acuerdo a diferentes etapas de operación de la compuerta. Hubo oportunidad de reducir el peso de la estructura, en función de los resultados del análisis que mostraba que ciertas zonas estaban poco exigidas. Finalmente se construyó un modelo de la compuerta y se realizaron diferentes pruebas para comprobar el funcionamiento del sistema. Luego de finalizado este trabajo se tienen las siguientes conclusiones:

1. A partir de la actualización de información sobre embarcaciones nacionales, se ha establecido una alternativa para las dimensiones principales del dique seco. Esta alternativa permite poder prestar servicio a un 85 % de embarcaciones de la flota nacional, haciéndose factible su construcción.

2. El análisis de estabilidad establece que el equilibrio de fuerzas en la condición de flotación se produce a un calado de 4.50 metros, con una altura metacéntrica transversal ( $GM_T$ ) de 1.49 metros. A medida que se produce el hundimiento, originado por el llenado de los tanques de lastre móvil (agua de mar), la posición del centro de gravedad transversal ( $KG$ ) se incrementa linealmente, al igual que el radio metacéntrico transversal ( $KM_T$ ). Se determinó que una cantidad de 139 toneladas de lastre fijo, producen una estabilidad positiva y el comportamiento estable de la compuerta flotante en todas las condiciones de operación.
  
3. Estructuralmente hablando la situación de carga extrema a la que va estar sometida la estructura de la compuerta, se produce en la operación de cerramiento del dique. La zona crítica, determinada empleando el método de Elementos Finitos, se encuentra situada en la división de los tanques de lastre fijo con los de agua de lastre, en donde se genera un esfuerzo máximo de  $1290 \text{ Kg/cm}^2$ , con un factor de seguridad de 1.86, respecto del esfuerzo de fluencia. En los costados y los mamparos del cuarto de bombas, se generan deformaciones máximas, de hasta 7.4 mm., valores por debajo del límite recomendado por la IACS, para embarcaciones. Sin embargo se debe considerar que la compuerta no presta el servicio ni estará sometida a las condiciones de carga de una embarcación, pero se considera que es una

manera razonable de comparación. La utilización de escuadras en las conexiones entre refuerzos estructurales primarios, produjo una reducción de esfuerzos de hasta el 48%, confirmando así la importancia de utilizar estos elementos para reducir concentración de esfuerzos. De lo expuesto anteriormente se garantiza la integridad de la estructura, aún en la condición extrema de carga a la cual va estar sometida.

4. Finalmente, 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 el agua; esto se debió 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 aceptable y puede ser fácilmente controlable en la vida real con un sistema de bombeo pequeño. De lo expuesto anteriormente se confirma la funcionalidad del sistema, que llevaría a su posible implementación de manera real.

**Recomendaciones:**

1. Para establecer el dimensionamiento definitivo de un dique seco, se recomienda un estudio más profundo de mercado, que permita establecer la viabilidad económica para la ejecución de tan grande proyecto. En este trabajo, el objetivo se concentraba en la compuerta más no en el dique, y por ello la determinación de las dimensiones principales del dique no fue lo profundamente requerido pensando en la magnitud de la inversión requerida.
2. Para el diseño definitivo de la compuerta flotante, se recomienda establecer las reales condiciones a las que va estar expuesta, esto es su ubicación geográfica, condiciones climáticas, cambios de marea, sedimentación, etc. Esto permitirá desarrollar un diseño, que logre un correcto funcionamiento del sistema. Por ejemplo, se podría aprovechar el cambio de marea, para el llenado y vaciado de los tanques de agua de lastre, lo que permitiría el ahorro de energía al no utilizar el sistema de bombeo para esta operación.
3. También se debe controlar el alineamiento entre la compuerta y los bordes de entrada en el dique seco, lo que permitirá que el sello de caucho sea presionado uniformemente sobre la pared de entrada, garantizando una adecuada permeabilidad del interior del dique seco. En cualquier caso, en situaciones reales, se acepta un pequeño flujo de agua hacia el interior del

dique, que puede ser manejado con un pozo de recolección y una pequeña bomba.

4. El vaciado del dique dependerá del tiempo necesario para el correcto varamiento de la embarcación, sin embargo en caso de existir alguna falla en las bombas o sistema de vaciado, se recomienda la colocación de ductos y válvulas que conecten el interior con el exterior del dique. Estos pueden ser colocados en la compuerta o en las instalaciones del dique y garantizarían que cuando se produzca el cambio de marea el nivel de agua sea similar en ambos lados, en caso de producirse la situación mencionada.

## ANEXO I

## LISTADO DE LA FLOTA MERCANTE NACIONAL

El listado de la flota mercante nacional con esloras mayores a 45 metros, preparado por la Dirección General de la Marina Mercante y del Litoral es presentado en la tabla a continuación.

ITEM	NOMBRE DE LA NAVE	CLASIFICACION	T.R.B.	ESLORA (metros)	MANGA (metros)	CALADO (metros)
1	ADRIAN	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	395.00	53.05	9.76	4.40
2	ANDES I	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	695.00	60.70	9.50	4.06
3	ANDES II	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	821.00	70.00	11.00	4.35
4	ANDES III	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	1,593.00	91.10	13.20	6.03
5	BONITO	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	2,814.00	101.80	13.00	6.66
6	CABO PASADO	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	2,955.53	96.65	15.07	6.96
7	CABO SAN LORENZO	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	2,404.65	103.35	12.10	6.29
8	CAUTIVO	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	2,659.00	107.38	14.00	5.19
9	DON IGNACIO	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	2,736.99	102.62	16.03	4.83
10	DORIS I	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	737.00	64.75	9.80	4.80
11	ESMERALDAS	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	2,890.62	106.35	16.46	4.87
12	ESMERALDAS	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	2,890.62	106.35	16.46	4.87
13	HOBI MARU	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	1,934.00	85.70	13.40	5.42
14	JUPITER	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	639.63	53.05	9.76	4.18
15	LETICIA DEL MAR	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	590.97	53.00	9.76	4.12
16	LIBERTAD I	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	1,534.34	87.57	12.84	4.89
17	LIBERTAD II	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	1,098.00	72.19	11.20	4.73
18	MARIA DEL CARMEN	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	1,823.92	81.20	12.80	5.25
19	MARIA DEL CARMEN II	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	1,962.00	106.00	16.00	4.80
20	MARIA DEL CARMEN II	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	1,962.00	106.00	16.00	4.80
21	RIO GUAYAS	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	992.34	66.56	10.67	4.26
22	SAIL PETER	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	3,878.00	102.85	16.40	4.70
23	SALANGO	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	1,619.00	75.74	13.20	4.83
24	SANTIAGO	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	27,607.00	183.07	32.20	10.95
25	SPECIAL T	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	386.70	59.87	10.19	1.99
26	TATIANA V	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	1,016.24	73.08	12.00	4.88
27	TAURUS	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	802.21	53.05	10.97	4.49

28	WARRIOR	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	1,598.21	88.80	12.60	5.74
29	ZAMORA	BUQUE TRANSP. DERIV./PETROLEO	27,607.00	183.07	32.20	10.95
30	CHIMBORAZO	BUQUE TRANSP. DE PETROLEO CRUDO	35,770.00	228.00	32.20	12.93
31	COTOPAXI	BUQUE TRANSP. DE PETROLEO CRUDO	35,770.00	228.17	32.20	13.20
32	ALESSIA	BUQUE PESQUERO ATUNERO	619.00	56.90	8.90	3.35
33	ALIZE	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	810.00	51.50	10.70	4.89
34	ALTAR 18	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	524.00	50.15	8.50	3.14
35	ALTAR 21	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	460.87	52.60	8.60	3.16
36	ALTAR 68	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	594.52	50.60	8.36	3.30
37	ALTAR 7	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	509.18	49.95	8.60	3.21
38	AQUARIUS NO. 1	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	501.48	49.25	8.20	3.21
39	AURORA	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	796.60	45.70	10.00	4.50
40	BETTY C	BUQUE PESQUERO ATUNERO	761.00	55.60	11.00	4.02
41	CANOPUS NO.606	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	563.89	55.16	8.60	3.53
42	CAP. BERNY B.	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	1,514.00	65.10	11.60	5.50
43	CARMEN D	BUQUE PESQUERO ATUNERO	488.06	47.00	10.60	3.50
44	CHARO	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	2,384.00	86.79	12.85	5.79
45	CIUDAD DE PORTOVIEJO	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	632.75	47.90	10.25	4.70
46	DAIKI MARU	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	423.05	48.23	8.20	3.16
47	DON BARTOLO	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	585.00	50.04	9.56	4.02
48	DON MARIO	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	649.91	50.43	10.40	5.87
49	DON SANTIAGO	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	1,937.57	77.30	13.60	6.35
50	DONA ROGE	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	721.10	45.70	10.48	3.85
51	DRENNEC	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	1,848.75	79.82	13.00	5.70
52	ELIZABETH CINCO	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	1,492.00	72.10	12.95	7.88
53	ELIZABETH F.	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	754.17	51.52	10.67	5.37
54	GLORIA A	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	640.04	50.60	10.40	4.88
55	GRACE NO.3	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	575.89	50.15	8.50	3.08
56	HALCYON NO. 1	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	441.36	45.06	7.82	2.83
57	ILE AUX MOINES	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	883.32	56.80	11.00	5.25
58	ISLANDER	CATAMARAN PASAJEROS DE CRUCERO	1,021.66	49.90	13.40	2.36
59	JULIA D	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	1,148.75	62.20	12.00	5.55
60	LIZI	BUQUE PESQUERO ATUNERO	1,153.56	67.29	12.07	4.90
61	LUCIA T	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	754.17	52.52	10.70	7.25
62	MALULA	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	1,000.24	55.17	11.00	4.82
63	MANDY	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	1,000.38	55.16	11.00	7.22
64	MANUEL IGNACIO F.	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	758.54	51.65	10.70	5.19
65	MARIA JOSE	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	1,193.00	60.04	11.88	7.40
66	MARIELLA	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	1,226.08	69.66	12.90	5.55
67	MEDJUGORJE	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	998.58	60.28	11.10	4.90

68	MILAGROS A	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	1,449.00	76.12	12.70	5.87
69	MIRY ANN D	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	585.17	50.04	9.56	4.02
70	MONTENEME	BUQUE PESQUERO ATUNERO	980.00	51.40	11.11	4.80
71	PATRICIA	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	1,132.90	62.75	11.50	5.00
72	RIBADESELLA	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	520.43	47.00	10.65	4.52
73	ROBERTO M	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	1,375.37	66.46	12.20	5.68
74	ROCIO	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	1,583.00	71.50	12.60	5.87
75	RODOLFO X	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	779.23	51.65	10.70	5.19
76	ROSA F.	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	779.23	51.65	10.70	5.19
77	ROSSANA L	BUQUE PESQUERO ATUNERO	1,001.00	55.17	11.00	7.18
78	SAJAMBRE	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	817.57	47.55	10.60	4.89
79	SAN ANDRES	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	2,193.00	78.00	14.00	8.38
80	SAN MATEO	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	1,110.00	53.96	10.91	3.96
81	SANSUN RANGER	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	1,576.70	65.14	11.00	4.78
82	SASANO MARU NO. 7	BUQUE PESQUERO CAMARONERO	537.75	52.95	8.25	3.37
83	TAE WOONG NO. 502	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	519.67	47.65	8.20	3.20
84	TATSUMI	BUQUE PESQUERO CAMARONERO	612.77	51.30	8.60	3.16
85	TRANSOCEANICO I	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	607.49	51.50	8.60	3.16
86	TRANSOCEANICO II	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	608.19	51.50	8.60	3.16
87	TROPIC SUN	BUQUE PASAJEROS DE CRUCERO	790.00	51.76	10.06	3.02
88	UGAVI	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	1,997.00	81.00	12.80	5.54
89	UGAVI DOS	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	2,165.00	77.44	13.70	6.35
90	VIA SIMOUN	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	1,559.79	69.00	12.80	8.33
91	YELISAVA	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	606.00	50.40	10.37	4.65
92	YOLANDA L	BUQUE PESQUERO PESCA BLANCA	1,375.37	66.46	12.20	5.68
93	CAIMAN	MOTONAVE PASAJEROS DE CRUCERO	2,890.00	82.20	14.30	4.50
94	ECLIPSE	BUQUE PASAJEROS DE CRUCERO	1,610.00	63.87	12.50	3.24
95	EVOLUTION	MOTONAVE PASAJEROS DE CRUCERO	654.94	57.20	8.60	3.20
96	GALAPAGOS EXPLORER II	BUQUE PASAJEROS DE CRUCERO	4,077.00	88.16	15.30	3.99
97	GALAPAGOS LEGEND	MOTONAVE PASAJEROS DE CRUCERO	2,890.00	91.50	14.30	4.24
98	ISABELA II	MOTONAVE PASAJEROS DE CRUCERO	1,025.00	55.94	11.58	3.36
99	POLARIS	BUQUE PASAJEROS DE CRUCERO	2,138.00	72.00	13.00	4.47
100	REVELATION	YATE PASAJEROS DE CRUCERO	518.00	54.30	8.53	3.30
101	SANTA CRUZ	MOTONAVE PASAJEROS DE CRUCERO	1,675.00	69.50	11.85	3.41
102	XPEDITION	MOTONAVE PASAJEROS DE CRUCERO	2,842.00	88.50	14.00	3.90

Tabla No. 1a Listado de Flota Nacional con esloras mayores a 45 metros

## ANEXO 2

## FORMULACIONES UTILIZADAS PARA EL CÁLCULO DE ESFUERZOS

## Esfuerzos terciarios

Para el cálculo de los esfuerzos terciarios se considera un panel con sus lados empotrados. A continuación se presenta un gráfico, tomado de Hughes, [6], que permite el cálculo de los esfuerzos terciarios.

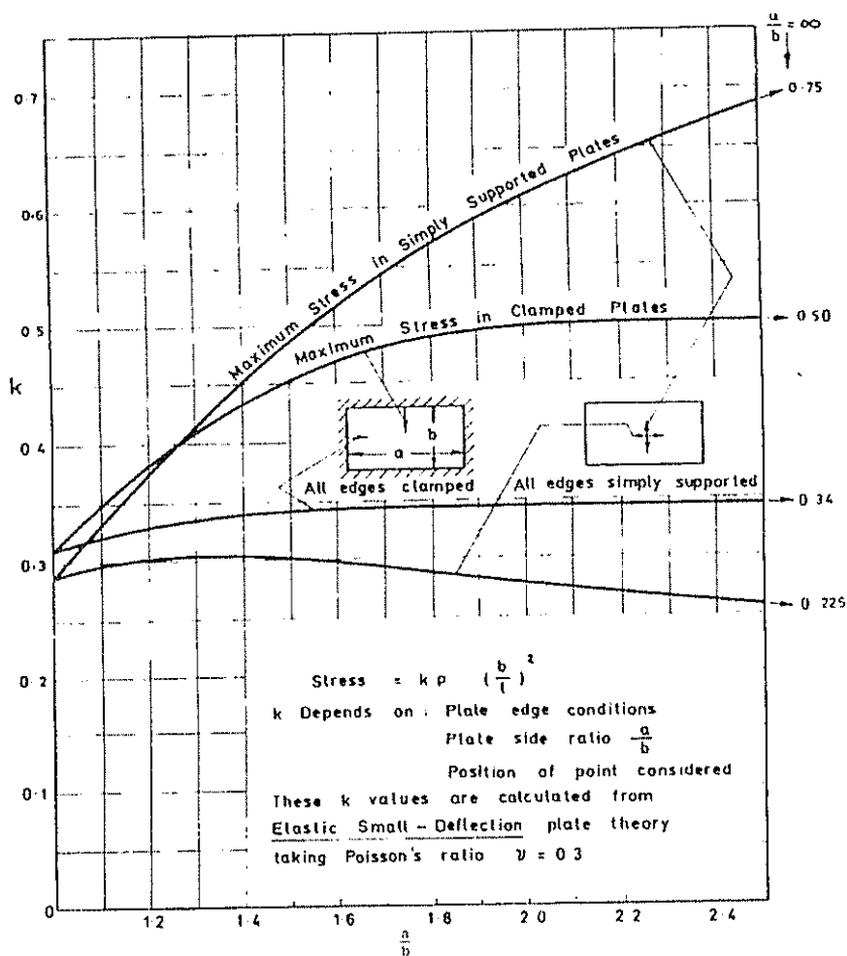


Figura No. 2a Esfuerzos en planchas

Del gráfico se tiene que a partir de la relación de lados  $a/b$ , siendo  $b$  el lado más corto, se obtienen valores de la constante  $k$ , que permite el cálculo del esfuerzos considerando la carga uniformemente aplicada  $P$ , aplicando la siguiente fórmula:

$$\sigma = kP \left( \frac{b}{t} \right)^2$$

### Esfuerzos secundarios

En el caso de los esfuerzos secundarios para definir dimensiones de las cuadernas y refuerzos, se calcula el momento flector utilizando las fórmulas siguientes:

$$MF(x) = \frac{Pl^2}{2} \left( \frac{1}{6} - \frac{x}{l} + \frac{x^2}{l^2} \right); \text{ para bordes empotrados}$$

$$MF(x) = \frac{Px}{2}(l-x); \text{ para bordes simplemente soportados}$$

Donde  $P$  es la carga por unidad de longitud,  $l$  la longitud del estructural y  $x$  la distancia donde se calcula el momento flector. Los estructurales mayores que soportan miembros menores son considerados como con bordes empotrados, mientras que los refuerzos menores como simplemente soportados. La inercia considerada en el cálculo del esfuerzo es la obtenida del estructural más el efecto del ancho efectivo de la plancha.

En este trabajo, para los esfuerzos primarios se considera un 5% del esfuerzo de fluencia del acero, debido a que la relación del largo con el ancho es baja, lo que hace que la influencia de estos esfuerzos hacia la estructura sea reducida.

## ANEXO 3

## RESUMEN DE CÁLCULOS DE ESFUERZOS

El resumen de los cálculos de esfuerzos, para el dimensionamiento estructural, son presentados en las tablas siguientes.

Puntos	Variables para cálculo de Planchas	Variables para cálculo de estructurales	ESFUERZOS
1	Espesor de pl (mm): 9.53 a (cm): 80.00 b (cm): 75.00 a/b: 1.07 K1: 0.34 Altura de agua (m): 7.00 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.718	Escantillón: Platina 3 1/2"x3/8" Long. No Soportada (cm): 80.00 Espaciamiento (cm): 75.00 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.72 Carga/Long (Kg/cm): 53.81 Ancho efectivo (cm): 75.00 Momento Flector (Kg . Cm): 43050.00 Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> ): 27.65	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 1492.07 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 1557.23 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120.00 Total: 3169.30 Factor de Seguridad: 0.76
2	K2: 0.32	Escantillón: Angulo 3 1/2"x3 1/2"x3/8" Long. No Soportada 2(cm) 150.00 Espaciamiento (cm) 80.00 Posición X (cm) 37.50 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ) 0.72 Carga/Long (Kg/cm) 57.40 Ancho efectivo (cm) 19.00 Momento Flector (Kg . Cm): -13453.13 Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> ) 86.79	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 1412.13 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 155.01 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120.00 Total: 1687.14 Factor de Seguridad: 1.42
3		Escantillón: Angulo 3 1/2"x3 1/2"x3/8" Posición x (cm) 75.00 Momento Flector (Kg . Cm): -53812.50 Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> ) 86.79	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.00 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 620.05 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120.00 Total: 740.05 Factor de Seguridad: 3.24
4	Espesor de pl. (mm): 7.94 a (cm): 100.00 b (cm): 80.00 a/b: 1.25 K1: 0.39 Altura de agua (m): 6.75 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.692	Escantillón: Angulo 3 1/2"x3 1/2"x5/16" Long. No Soportada 1(cm) 100.00 Espaciamiento (cm) 80.00 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ) 0.69 Carga/Long (Kg/cm) 55.35 Ancho efectlivo (cm) 80.00 Momento Flector (Kg . Cm): 69187.50 Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> ) 79.01	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 2768.02 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 875.72 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120.00 Total: 3763.74 Factor de Seguridad: 0.64
		Escantillón: T 8"x4"x3/8"	

5	K2	0.33	Long. No Soportada 2(cm)	480.00	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	2319.30
			Espaciamiento (cm)	100.00	Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	2049.23
			Posición X (cm)	200.00	Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	120.00
			Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.69	Total:	<b>4488.54</b>
			Carga/Long (Kg/cm)	69.19	Factor de Seguridad:	<b>0.53</b>
			Ancho efectivo (cm)	65.00		
			Momento Flector (Kg . Cm):	608850.00		
			Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> )	297.11		
6			Escantillón: Angulo 3 1/2"x3 1/2"x5/16"			
	Espesor de pl. (mm):	7.94	Long. No Soportada 1(cm)	100.00	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	2357.94
	a (cm):	100.00	Espaciamiento (cm)	80.00	Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	745.99
	b (cm):	80.00	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.59	Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	120.00
	a/b:	1.25	Carga/Long (Kg/cm)	47.15	Total:	<b>3223.93</b>
	K1:	0.39	Ancho efectivo (cm)	80.00	Factor de Seguridad:	<b>0.74</b>
	Altura de agua (m):	5.75	Momento Flector (Kg . Cm):	58937.50		
	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ):	0.589	Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> )	79.01		
7	K2	0.33	Escantillón: T 8"x4"x3/8"			
			Long. No Soportada 2(cm)	480.00	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	1975.70
			Espaciamiento (cm)	100.00	Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	1745.64
			Posición X (cm)	200.00	Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	120.00
			Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.59	Total:	<b>3841.34</b>
			Carga/Long (Kg/cm)	58.94	Factor de Seguridad:	<b>0.62</b>
			Ancho efectivo (cm)	65.00		
			Momento Flector (Kg . Cm):	518650.00		
			Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> )	297.11		
8			Escantillón: Angulo 3 1/2"x3 1/2"x5/16"			
	Espesor de pl. (mm):	7.94	Long. No Soportada 1(cm)	100.00	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	1947.87
	a (cm):	100.00	Espaciamiento (cm)	80.00	Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	616.25
	b (cm):	80.00	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.49	Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	120.00
	a/b:	1.25	Carga/Long (Kg/cm)	38.95	Total:	<b>2684.12</b>
	K1:	0.39	Ancho efectivo (cm)	80.00	Factor de Seguridad:	<b>0.89</b>
	Altura de agua (m):	4.75	Momento Flector (Kg . Cm):	48687.50		
	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ):	0.487	Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> )	79.01		
9			Escantillón: Angulo 3"x3"x5/16"			
	Espesor de pl. (mm):	7.94	Long. No Soportada 1(cm)	150.00	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	1640.31
	a (cm):	100.00	Espaciamiento (cm)	80.00	Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	1590.06
	b (cm):	80.00	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.41	Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	120.00
	a/b:	1.25	Carga/Long (Kg/cm)	32.80	Total:	<b>3350.36</b>
	K1:	0.39	Ancho efectivo (cm)	80.00	Factor de Seguridad:	<b>0.72</b>
	Altura de agua (m):	4.00	Momento Flector (Kg . Cm):	92250.00		

	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ):	0.410	Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> )	58.02	
10	K2	0.33			Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 1374.40 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.00 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120.00 Total: 1494.40 Factor de Seguridad: 1.61

Tabla No. 3a Resumen de cálculo de esfuerzos para la primera alternativa

Puntos	Variables para cálculo de Planchas		Variables para cálculo de estructurales		ESFUERZOS
1	Espesor de pl. (mm): 11.11 a (cm): 80.00 b (cm): 75.00 a/b: 1.07 K1: 0.34 Altura de agua (m): 7.00 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.718		Escantillón: Angulo 3 1/2"x3 1/2"x3/8" Long. No Soportada (cm): 80.00 Espaciamiento (cm): 75.00 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.72 Carga/Long (Kg/cm): 53.81 Ancho efectivo (cm): 75.00 Momento Flector (Kg . Cm): 43050.00 Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> ) 95.73		Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 1096.22 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 449.71 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120.00 Total: 1665.92 Factor de Seguridad: 1.44
2	K2:	0.32	Escantillón: Angulo 4"x4"x3/8" Long. No Soportada 2(cm) 150.00 Espaciamiento (cm) 80.00 Posición X (cm) 37.50 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ) 0.72 Carga/Long (Kg/cm) 57.40 Ancho efectivo (cm) 19.00 Momento Flector (Kg . Cm): -13453.13 Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> ) 115.60		Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 1037.48 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 116.38 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120.00 Total: 1273.86 Factor de Seguridad: 1.88
3			Escantillón: Angulo 4"x4"x3/8" Posición x (cm) 75.00 Momento Flector (Kg . Cm): -53812.50 Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> ) 115.60		Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.00 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 465.52 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120.00 Total: 585.52 Factor de Seguridad: 4.10
4	Espesor de pl. (mm): 7.94 a (cm): 100.00 b (cm): 80.00 a/b: 1.25		Escantillón: Angulo 4"x4"x5/16" Long. No Soportada 1(cm) 100.00 Espaciamiento (cm) 80.00 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ) 0.69 Carga/Long (Kg/cm) 55.35		Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 2768.02 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 659.47 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120.00 Total: 3547.49

	K1: 0.39 Altura de agua (m): 6.75 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.692	Ancho efectivo (cm) 80.00 Momento Flector (Kg . Cm): 69187.50 Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> ) 104.91	Factor de Seguridad: 0.68
5	K2 0.33	Escantillón: T 10"x4"x3/8" Long. No Soportada 2(cm) 480.00 Espaciamiento (cm) 100.00 Posición X (cm) 200.00 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ) 0.69 Carga/Long (Kg/cm) 69.19 Ancho efectivo (cm) 65.00 Momento Flector (Kg . Cm): 608850.00 Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> ) 409.39	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 2319.30 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 1487.20 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120.00 Total: 3926.51 Factor de Seguridad: 0.61
6	Espesor de pl. (mm): 7.94 a (cm): 100.00 b (cm): 80.00 a/b: 1.25 K1: 0.39 Altura de agua (m): 5.75 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.589	Angulo 4"x4"x5/16" Long. No Soportada 1(cm) 100.00 Espaciamiento (cm) 80.00 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ) 0.59 Carga/Long (Kg/cm) 47.15 Ancho efectivo (cm) 80.00 Momento Flector (Kg . Cm): 58937.50 Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> ) 104.91	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 2357.94 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 561.77 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120.00 Total: 3039.71 Factor de Seguridad: 0.79
7	K2 0.33	Escantillón: T 10"x4"x3/8" Long. No Soportada 2(cm) 480.00 Espaciamiento (cm) 100.00 Posición X (cm) 200.00 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ) 0.59 Carga/Long (Kg/cm) 58.94 Ancho efectivo (cm) 65.00 Momento Flector (Kg . Cm): 518650.00 Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> ) 409.39	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 1975.70 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 1266.88 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120.00 Total: 3362.58 Factor de Seguridad: 0.71
8	Espesor de pl. (mm): 7.94 a (cm): 100.00 b (cm): 80.00 a/b: 1.25 K1: 0.39 Altura de agua (m): 4.75 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.487	Angulo 4"x4"x5/16" Long. No Soportada 1(cm) 100.00 Espaciamiento (cm) 80.00 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ) 0.49 Carga/Long (Kg/cm) 38.95 Ancho efectivo (cm) 80.00 Momento Flector (Kg . Cm): 48687.50 Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> ) 104.91	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 1947.87 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 464.07 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120.00 Total: 2531.94 Factor de Seguridad: 0.95
9	Espesor de pl. (mm): 7.94 a (cm): 100.00 b (cm): 80.00 a/b: 1.25 K1: 0.39	Angulo 3"x3"x5/16" Long. No Soportada 1(cm) 150.00 Espaciamiento (cm) 80.00 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ) 0.41 Carga/Long (Kg/cm) 32.80 Ancho efectivo (cm) 80.00	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 1640.31 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 1556.56 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120.00 Total: 3316.86 Factor de Seguridad: 0.72

	Altura de agua (m): 4.00 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.410	Momento Flector (Kg . Cm): 92250.00 Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> ): 59.27	
10	K2 0.33		Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 1374.40 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.00 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120.00 Total: 1494.40 Factor de Seguridad: 1.61

Tabla No. 3b Resumen de cálculo de esfuerzos para la segunda alternativa

Puntos	Variables para cálculo de Planchas	Variables para cálculo de estructurales	ESFUERZOS
1	Espesor de pl (mm): 9.53 a (cm): 75.00 b (cm): 60.00 a/b: 1.25 K1: 0.39 Altura de agua (m): 7.00 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.718	Escantillón: L 3 1/2"x3 1/2"x1/4" Long. No Soportada 2(cm) 150.00 Espaciamento (cm) 60.00 Posición y (cm) 37.50 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ) 0.72 Carga/Long (Kg/cm) 43.05 Ancho efectivo (cm) 28.20 Momento Flector (Kg . Cm): -10089.84 Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> ) 47.85	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 1121.30 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 210.88 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120 Total: 1452.18 Factor de Seguridad: 1.65
2	K2 0.33	Escantillón: Pl. 3 1/2"x3/8" Long. No Soportada 1(cm) 60.00 Espaciamento (cm) 75.00 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ) 0.72 Carga/Long (Kg/cm) 53.81 Ancho efectivo (cm) 75.00 Momento Flector (Kg . Cm): 24215.63 Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> ) 27.65	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 939.53 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 875.94 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120 Total: 1935.48 Factor de Seguridad: 1.24
3		Escantillón: L 3 1/2"x3 1/2"x1/4" Posición x (cm) 75.00 Momento Flector (Kg . Cm): 269.06 Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> ) 47.85	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.00 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 5.62 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120 Total: 125.62 Factor de Seguridad: 19.10
4	Espesor de pl (mm): 9.53 a (cm): 100.00 b (cm): 60.00 a/b: 1.67 K1: 0.47	Escantillón: L 3 1/2"x3 1/2"x5/16" Long. No Soportada 1(cm) 100.00 Espaciamento (cm) 60.00 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ) 0.69	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 1303.35 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 650.78 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120

	Altura de agua (m): 6.75 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.692	Carga/Long (Kg/cm): 41.51 Ancho efectivo (cm): 60.00 Momento Flector (Kg . Cm): 51890.63 Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> ): 79.74	Total: 2074.13 Factor de Seguridad: 1.16
5	K2 0.34	Escantillón: T amada 10"x3/8"+4"x7/16" Long. No Soportada 2(cm): 420.00 Espaciamiento (cm): 100.00 Posición X (cm): 210.00 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.69 Carga/Long (Kg/cm): 69.19 Ancho efectivo (cm): 94.50 Momento Flector (Kg . Cm): 508528.13 Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> ): 469.49	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 930.31 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 1083.14 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120 Total: 2133.46 Factor de Seguridad: 1.12
6	Espesor de pl (mm): 9.53 a (cm): 100.00 b (cm): 60.00 a/b: 1.67 K1: 0.47 Altura de agua (m): 5.75 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.589	Escantillón: L 3 1/2"x3 1/2"x5/16" Long. No Soportada 1(cm): 100.00 Espaciamiento (cm): 60.00 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.59 Carga/Long (Kg/cm): 35.36 Ancho efectivo (cm): 60.00 Momento Flector (Kg . Cm): 44203.13 Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> ): 79.74	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 1110.26 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 554.37 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120 Total: 1784.63 Factor de Seguridad: 1.34
7	K2 0.34	Escantillón: T amada 10"x3/8"+4"x7/16" Long. No Soportada 2(cm): 420.00 Espaciamiento (cm): 100.00 Posición X (cm): 210.00 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.59 Carga/Long (Kg/cm): 58.94 Ancho efectivo (cm): 94.50 Momento Flector (Kg . Cm): 433190.63 Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> ): 469.49	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 792.49 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 922.68 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120 Total: 1835.17 Factor de Seguridad: 1.31
8	Espesor de pl (mm): 9.53 a (cm): 100.00 b (cm): 60.00 a/b: 1.67 K1: 0.47 Altura de agua (m): 4.75 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.487	Escantillón: L 3 1/2"x3 1/2"x5/16" Long. No Soportada 1(cm): 100.00 Espaciamiento (cm): 60.00 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.49 Carga/Long (Kg/cm): 29.21 Ancho efectivo (cm): 60.00 Momento Flector (Kg . Cm): 36515.63 Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> ): 79.74	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 917.17 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 457.96 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120 Total: 1495.13 Factor de Seguridad: 1.64
9	Espesor (mm): 7.94 a (cm): 100.00 b (cm): 60.00	Escantillón: L 3"x3"x5/16" Long. No Soportada 1(cm): 150.00 Espaciamiento (cm): 60.00 Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.41	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 1112.19 Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 401.28 Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ): 120

	a/b:	1.67	Carga/Long (Kg/cm)	24.60	Total:	1633.48
	K1:	0.47	Ancho efectivo (cm)	60.00	Factor de Seguridad:	1.47
	Altura de agua (m):	4.00	Momento Flector (Kg . Cm):	23062.50		
	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ):	0.410	Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> )	57.47		
10	K2	0.34			Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	793.87
					Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	0.00
					Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	120
					Total:	913.87
					Factor de Seguridad:	2.63
			Escantillón:			
			L 7"x4"x3/8"			
	Espesor (mm):	9.53	Long. No Soportada (cm)	100.00		
	a (cm):	100.00	Espaciamiento (cm)	75.00		
	b (cm):	75.00	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.68	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	1761.84
	a/b:	1.33	Carga/Long (Kg/cm)	51.28	Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	260.73
11	K1:	0.42	Ancho efectivo (cm)	75.00	Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	120
	Altura de agua (m):	6.67	Momento Flector (Kg . Cm):	64094.53	Total:	2142.57
	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ):	0.684	Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> )	245.83	Factor de Seguridad:	1.12
			Escantillón:			
			T armada 10"x3/8"+4"x7/16"			
			Long. No Soportada (cm)	150.00	Terciario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	1413.20
			Espaciamiento (cm)	100.00	Secundario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	37.21
12	K2	0.33	Posición X (cm)	112.50	Primario (Kg/cm <sup>2</sup> ):	120
			Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.68	Total:	1570.41
			Carga/Long (Kg/cm)	68.37	Factor de Seguridad:	1.53
			Ancho efectivo (cm)	31.00		
			Momento Flector (Kg . Cm):	-16023.63		
			Modulo Seccional (Cm <sup>4</sup> )	430.60		

Tabla No. 3c Resumen de cálculo de esfuerzos para la tercera aproximación

## ANEXO 4

## CÁLCULO DE PESOS

El resumen del cálculo de pesos es presentado en la tabla siguiente.

N	Elementos Estructurales	Dimensiones	Cantidad	Peso (kg)	z (m)	Mz (kg-m)
<b>COMPARTIMENTOS DE LASTRE FIJO</b>						
<b>PLANCHAJE</b>		Espesor				
1	Fondo	7/16"	1.00	2,460.21	0.005	11.69
2	Costado frontal	7/16"	2.00	9,840.82	1.500	14,761.23
3	Laterales	7/16"	2.00	785.17	1.500	1,177.76
4	Mamparos Transversales	5/16"	4.00	1,121.30	1.500	1,681.95
	Escuadras cuad Fondo-costado	8"x8"x5/16"	54.00	134.56	0.100	13.46
	Escuadras cuad costado - 1ª chta	8"x8"x5/16"	54.00	134.56	2.900	390.21
<b>ESTRUCTURALES</b>		Escantillón				
5	Cuadernas de fondo Longitudinales de Fondo (en LC)	L 3 1/2"x3 1/2"x5/16"	27.00	431.57	0.055	23.65
6		Pt 3 1/2"x7/16"	1.00	144.85	0.038	5.52
7	Cuadernas de costado Longitudinales de Costado (a 1 m de LB)	L 3 1/2"x3 1/2"x3/8"	27.00	1,018.98	1.500	1,528.47
8	Longitudinales de Costado (a 2 m de LB)	T armada 10"x7/16"+4"x1/2"	2.00	1,210.16	1.000	1,210.16
9	Longitudinales de Costado (a 2 m de LB)	T armada 10"x7/16"+4"x1/2"	2.00	1,210.16	2.000	2,420.31
10	Refuerzo horizontal en costado lateral (a 1 m de LB)	T armada 10"x7/16"+4"x1/2"	2.00	94.62	1.000	94.62
11	Refuerzo horizontal en costado lateral (a 2 m de LB)	T armada 10"x7/16"+4"x1/2"	2.00	94.62	2.000	189.25
12	Refuerzo vertical en costado lateral	L 7"x4"x7/16"	2.00	140.30	1.500	210.46
13	Refuerzos horizontales en Mamparos (a 1 m de LB)	L 3 1/2"x3 1/2"x1/4"	4.00	50.47	1.000	50.47
14	Refuerzos horizontales en Mamparos (a 2 m de LB)	L 3 1/2"x3 1/2"x1/4"	4.00	50.47	2.000	100.95
15	Refuerzos verticales en Mamparos	Platina 3 1/2"x1/4"	4.00	52.84	1.500	79.25
<b>COMPARTIMENTO DE TANQUES DE AGUA</b>						
<b>PLANCHAJE</b>		Espesor				
16	Fondo	3/8"	1.00	5,205.54	3.000	15,616.62
17	Costado frontal	5/16"	2.00	9,917.26	5.000	49,586.28



	Otros Elementos	porcentajes	Peso (kg)	z (m)	Mz (kg-m)
41	SOLDADURA	2.50%	1326.134715	3.584	4,753.12
42	EQUIPOS ACCESORIOS	1.00%	530.45	3.000	1,591.36
<b>SUB TOTALES</b>			<b>1,856.59</b>		<b>6,344.48</b>
<p>Z es medido a partir de la Línea Base, en el fondo de la compuerta</p> <p>Nota: <b>PESO TOTAL: 54,901.98 Kg.</b></p> <p><b>CENTRO DE GRAVEDAD VERTICAL: 3.58 m.</b></p>					

Tabla No. 4a Resumen del Cálculo de Pesos y KG de la compuerta flotante

ANEXO 5

CATÁLOGOS DE SELLOS DE CAUCHO

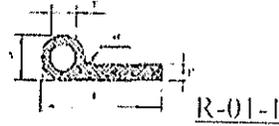
El catálogo de sellos de caucho de la empresa Rubberrart, donde se presenta diferentes alternativas, se presenta a continuación. Para obtener el catálogo completo se puede acceder a la pagina web de la referencia, [18].

Sellos desde R-01 a R-07

[R-01-R-07] [R-08-R-012] [R-13-R-23] [R-26-R-34] [R-36-R-44]  
 [R-47-R-59] [R-60-R-67] [R-68-R-76] [R-77-R-84] [R-85-R-90]



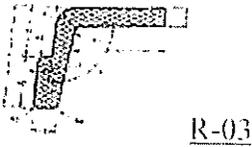
R-01



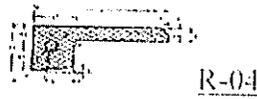
R-01-1



R-02



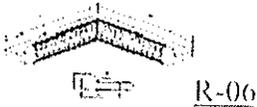
R-03



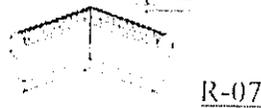
R-04



R-05



R-06



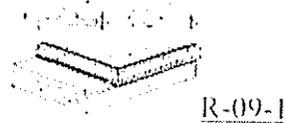
R-07

Sellos desde R-08 a R-12

[R-01-R-07] [R-08-R-012] [R-13-R-23] [R-26-R-34] [R-36-R-44]  
 [R-47-R-59] [R-60-R-67] [R-68-R-76] [R-77-R-84] [R-85-R-90]



R-08



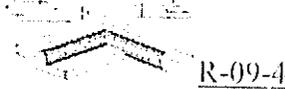
R-09-1



R-09-2



R-09-3



R-09-4



R-10



R-11



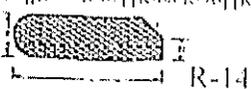
R-12

**Sellos desde R-13 a R-23**

[R-01 R-07] [R-08 R-012] [R-13 R-23] [R-26 R-34] [R-36 R-44]  
 [R-47 R-59] [R-60 R-67] [R-68 R-76] [R-77 R-84] [R-85 R-90]



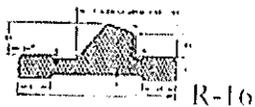
R-13



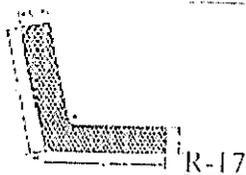
R-14



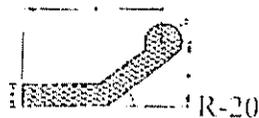
R-15



R-16



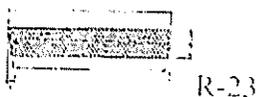
R-17



R-20



R-22



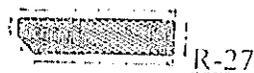
R-23

**Sellos desde R-26 a R-34**

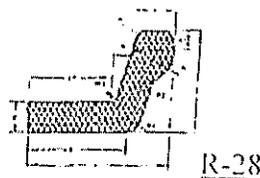
[R-01 R-07] [R-08 R-012] [R-13 R-23] [R-26 R-34] [R-36 R-44]  
 [R-47 R-59] [R-60 R-67] [R-68 R-76] [R-77 R-84] [R-85 R-90]



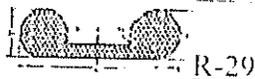
R-26



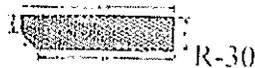
R-27



R-28



R-29



R-30



R-32



R-33



R-34

**Sellos desde R-68 a R-76**

[R-01 R-07] [R-08 R-012] [R-13 R-23] [R-26 R-34] [R-36 R-44]  
 [R-47 R-59] [R-60 R-67] [R-68 R-76] [R-77 R-84] [R-85 R-90]



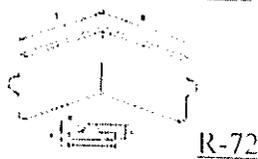
R-68



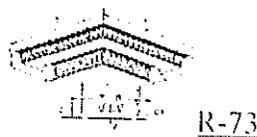
R-70



R-71



R-72



R-73



R-74



R-75



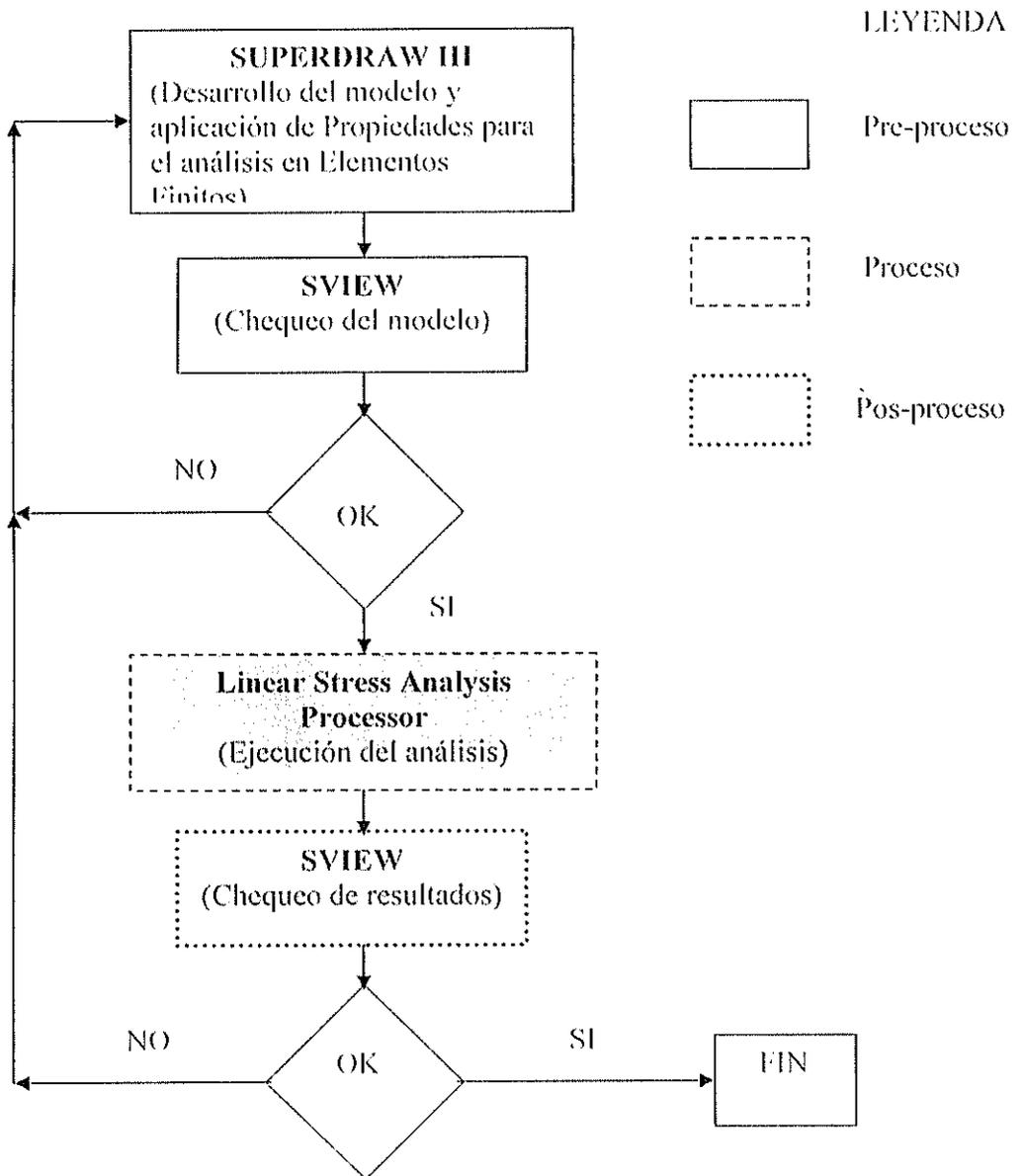
R-76

Figura No. 5a Catálogo de sellos de caucho para compuertas

## ANEXO 6

## DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON ALGOR

En el presente anexo se presenta el diagrama de flujo, de los pasos a seguir y módulos a utilizar, para realizar el análisis estructural con ALGOR.



## **BIBLIOGRAFÍA**

- [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, Fishing Boats of the World: 3, Fishing News (Books) Limited, London, EC4, England 1967

## **SOFTWARE**

[13] ALGOR, Design and Finite Element Analysis (FEA) system, Docutech, Febrero 1999

[14] ALGOR (R) SUPERDRAW III INTERFACE, Algor inc, version 12.04 WIN, 15 de Septiembre 1999

[15] SUPERVIEW INTERFACE, Algor Inc, version 12.04 WIN, 01 de Julio 1999

## **DIRECCIONES WEB**

[16] [www.algor.com](http://www.algor.com)

[17] [www.expindus.cl/Productos/5/catarube/specs.htm](http://www.expindus.cl/Productos/5/catarube/specs.htm)

[18] [www.expindus.cl/Productos/5/5.htm#sellos](http://www.expindus.cl/Productos/5/5.htm#sellos)

[19] [www.marmus.ca/marmus/mmuseum.html/Drawing of new gate by A\\_ M\\_ Grant Engineering Consultants Ltd.htm](http://www.marmus.ca/marmus/mmuseum.html/Drawing%20of%20new%20gate%20by%20A_M_Grant%20Engineering%20Consultants%20Ltd.htm)