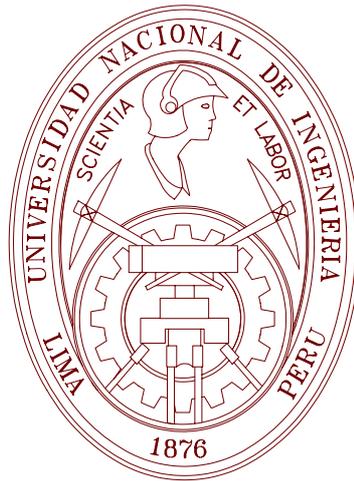


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**“DISEÑO DE UN EMBARCADERO FLOTANTE DE
5TM DE CAPACIDAD PARA LA CUENCA DEL RIO
ENE - SATIPO”**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO

DARIO ENRIQUE SALINAS ERICKSEN

PROMOCIÓN 2002-II

LIMA – PERU

2007

CONTENIDO

	<i>Pág.</i>
PROLOGO	1
CAPITULO I	4
INTRODUCCION	4
1.1 Antecedentes Generales	4
1.2 Objetivo del Proyecto	6
CAPITULO II	8
FUNDAMENTOS TECNICOS DEL EMBARCADERO	8
2.1 Diseño	9
2.1.1 Área necesaria para el embarcadero	10
2.1.1.1 Área por dimensión y peso de productos transportables	11
2.1.1.2 Área por carga vivas y pesos propios, uniformemente distribuidos	11
2.1.1.3 Área de diseño, ajustada por menor costo de materiales y mano de obra	12
2.1.1.4 Área mínima requerida por desplazamiento asumido	13
2.1.2 Cálculo de desplazamiento	13
2.1.2.1 Características de los embarcaderos	13
2.1.2.2 Principio de Arquímedes	14

2.1.2.3	Condición básica de equilibrio del embarcadero	15
2.1.2.4	Cálculo de los volúmenes del embarcadero	15
2.1.3	Pesos considerados para el embarcadero y sus módulos	17
2.1.4	Análisis de Flotación del embarcadero y sus módulos	18
2.1.4.1	Atributos de Carena del Embarcadero	20
2.1.4.2	Equilibrio del Embarcadero Adrizado	20
2.1.4.3	Estabilidad del Embarcadero Flotante	22
2.1.4.4	Consideraciones de Cálculo para el Análisis de Flotación	29
2.2	DISEÑO DE LOS MÓDULOS PROTOTIPO	44
2.2.1	Características de los módulos prototipos	45
2.3	CÁLCULO DE FORMA DE LA EMBARCACIÓN	47
2.3.1	Pasos a seguir la línea de forma del casco de la embarcación	47
2.3.2	Coeficientes de forma de la carena del embarcadero	52
2.3.3	Cálculo y Gráfico de la curva de desplazamiento	53
	CAPITULO III	60
	DISEÑO DEL EMBARCADERO	60
3.1	CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA	60
3.1.1	Material a usar	61
3.1.2	Fuerzas actuantes	61
3.1.3	Restricciones de diseño	61
3.1.4	Refuerzos estructurales longitudinales	62

3.1.5	Refuerzos estructurales transversales	65
3.2	<u>CÁLCULO DEL CASCO DEL MÓDULO</u>	67
3.2.1	Cálculo del forro del fondo del casco	67
3.2.2	Cálculo de los refuerzos del forro del fondo	69
	3.2.2.1 <i>Esfuerzos transversales del fondo (VARENGAS)</i>	70
	3.2.2.2 <i>Esfuerzos longitudinales del fondo (CARLINGAS Y</i> <i>QUILLA VERTICAL</i>	71
	3.2.2.3 <i>Esfuerzos locales</i>	74
3.3	<u>CÁLCULO DE LOS COSTADOS DEL CASCO</u>	76
3.4	<u>CÁLCULO DE LA CUBIERTA SUPERIOR DEL CASCO</u>	80
3.4.1	Refuerzos transversales de cubierta (BAOS)	81
3.4.2	Forro acanalado de cubierta superior (CUBIERTA)	82
3.5	<u>CÁLCULO DE LAS CUADERNAS DEL CASCO</u>	85
	CAPITULO IV	87
	DISEÑO DE LA RAMPA	87
4.1	<u>CÁLCULO DEL TABLERO DEL PUENTE DE ACCESO</u>	87
	4.1.1 Cálculo del maderamen de cubierta del tablero	87
4.2	<u>CÁLCULO DE LOS TRAVESAÑOS DEL TABLERO</u>	89
4.3	<u>CALCULOS DE LA SOLDADURA</u>	91
	4.3.1 Analizando la soldadura en Alfa	92
	4.3.2 Analizando soldadura T	94
	4.3.3 Analizando soldadura Omega	96
	CAPITULO V	103
	ENSAMBLAJE DEL EMBARCADERO	103

5.1	<u>DESCRIPCION Y ACCESORIOS NECESARIOS</u>	103
5.1.1	Planchas a usar	103
5.1.2	Paneles	105
5.1.3	Módulos	105
5.1.4	Puentes de acceso	105
5.1.5	Cables	107
5.1.6	Recubrimientos de protección	107
	CAPITULO VI	109
	EVALUACION ECONOMICA	109
	CONCLUSIONES	1
	BIBLIOGRAFIA	
	PLANOS	
	APENDICE	

PROLOGO

A través de la empresa Maquinarias y Servicios Industriales S.A. MASERVIN S.A. hemos tenido la oportunidad de desarrollarnos en el área de diseño, estudios y proyectos de obras civiles, metal mecánica y de maquinarias en general

El trabajo específico desarrollado ha sido el diseño, fabricación y montaje en obra de dos Embarcaderos metálicos, Flotantes, para las comunidades nativas de SHIMA y EL PORVENIR, obras encomendadas a MASERVIN S.A. por el Ministerio de la Presidencia, Instituto Nacional de Desarrollo, a través del Proyecto Especial Pichis Palcazo, con aportes de CONTRADROGAS-Donación Holanda.

La meta era instalar dos embarcaderos flotantes, cada uno con capacidad de 5 TN sobre cubierta, el cual fue concebido en 04 módulos flotadores laterales iguales, 01 módulo flotador central y 02 secciones acoplables de rampa con barandas, para el acceso del embarcadero a la escalera de concreto armado y que, al ser ensamblados en obra, constituyen en su conjunto el Embarcadero Flotante

Se decidió la construcción mediante módulos metálicos, por la imposibilidad de transportar en una sola pieza el embarcadero, debido a lo difícil y riesgoso que resulta transportar equipos pesados, medianos y de ligera envergadura, a la zona de trabajo, donde solamente existe navegación fluvial en canoas y botes.

Las cuencas de los ríos Ene y Tambo, donde se hallan las obras, son lugares muy lejanos, ubicados entre los valles de Satipo y Apurímac, de la Selva Central, son zonas convulsionadas y de extrema pobreza.

Las obras civiles como, la construcción de zapatas, cimientos, columnas, cámaras de anclaje y secciones de escalera de concreto, estuvieron a cargo del PEPP por administración directa, pero en la corrección del diseño preliminar, luego del replanteo topográfico, colaboró el área de proyectos de MASERVIN S.A. estableciéndose que los elementos metálicos deberían ser ensamblados en el mismo río.

Siendo la responsabilidad, cumplimiento, disciplina y orden, elementos importantes para lograr el buen desenvolvimiento laboral del personal, desarrollándose en el trabajo una mentalidad de entendimiento entre ingenieros, coordinadores, jefes de planta y los trabajadores.

Este trabajo está basado en los cálculos, diseño, planeamiento, fabricación, montaje, capacitación a los comuneros y puesta en servicio,

satisfactoriamente de, los 02 embarcaderos flotantes, que he construido recientemente con la firma MASERVIN S.A.

CAPÍTULO I

INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES GENERALES

La pacificación y erradicación de los cultivos de coca, amapola y marihuana, de las convulsionadas zonas de las cuencas de Ene y del Tambo en la selva central, hace imprescindible continuar con el proceso de repoblamiento y consolidación de las comunidades nativas, que fueron fuertemente afectadas por el terrorismo y el narcotráfico, quedando en estado de abandono las áreas de cultivo, viviendas y animales.

Actualmente las políticas de desarrollo del Gobierno Central recomiendan priorizar las obras de infraestructuras básicas, en las zonas mas deprimidas del país. Por esta razón el Proyecto Especial Pichis Palcazú a través del Programa Nacional de Desarrollo Alternativo, con aportes de Cooperación Internacional, luego de realizar estudios socio-económicos, geo-políticos y ambientales y; teniendo en cuenta que el único medio de transporte es por vía fluvial en botes y canoas, ha priorizado la construcción de **pequeños embarcaderos flotantes de 5TN mínimas sobre cubierta**, que permitan la intercomunicación de los 107 centros poblados existentes, entre comunidades colonas y nativas y, la

carga y descarga de sus productos agropecuarios a los centros de acopio construidos para su comercialización en los mercados de la zona.

El expediente técnico especifica que los embarcaderos a construirse deben ser flotantes debido a que el nivel de las aguas es muy variable, y dependiendo de la época del año alcanza variaciones de 10m a 12 m de altura con respecto a la época de estiaje en verano, por lo que si fuera un muelle fijo, este quedaría sumergido con las máximas avenidas. Al aumentar el caudal del río, también crece el ancho efectivo del espejo de agua, por lo que los muelles flotantes deberán poder replegarse a la orilla.

Para cubrir esta diferencia de niveles de los espejos de agua se ha considerado 04 niveles de escaleras con plataformas de concreto sobre sus respectivas columnas de anclaje, niveles en que se apoya el puente ó rampa de acceso al embarcadero ó muelle flotante, según sea la necesidad de la época.

Los botes y canoas utilizados como medios de transporte en la zona, limitan el peso y dimensión de las maquinarias, equipos, piezas y elementos metálicos a transportar debido a las turbulencias de las aguas, siendo el peso ideal 3TN, máximo 5TN y las dimensiones máximas del área de carga, 1.80m de ancho x 9.00m de largo con el fin de evitar el volteo del bote.

Debido al reducido presupuesto asignado a los embarcaderos, la carencia de madera adecuada e inexistencia de personal técnico, especializado en su diseño y construcción, mayor peso y; alto costo de éstos materiales, además, por su elevado costo de mantenimiento y corta vida útil; el PEPP, desechó el uso de la madera y optó por encomendar el diseño, fabricación y montaje a una empresa especializada en construcciones metálicas con capacidad de diseñar y fabricar adecuadamente, embarcaderos de bajo costo, que brindara calidad, garantía y una vida útil de los embarcaderos metálicos, superior a los 15 años.

1.2 OBJETIVO DEL PROYECTO

Dotar a las comunidades nativas, SHIMA y PORVENIR, ubicadas en las cuencas de los ríos, Tambo y Ene, de embarcaderos metálicos, de acero, livianos y flotantes, de una capacidad útil de carga sobre cubierta de 5TN, con poco calado y; con espacio suficiente para carga y descarga sobre cubierta, de equipos, materiales de construcción y sus productos agropecuarios; además, los embarcaderos flotantes deben ser seguros, de fácil manipuleo, que puedan ser replegados, armados y desarmados, por personal no calificado y; sobre todo, de BAJÍSIMO COSTO

Diseñar y construir dos embarcaderos metálicos con sus respectivas rampas de acceso, prototipos, lo suficientemente fuertes de

soportar el atrancamiento de los botes e impactos moderados de algunas palizadas.

La operación de desplazamiento del embarcadero debe ser segura y sencilla, tanto en el repliegue como en la incursión al cauce del río y; el mantenimiento debe ser fácil y espaciado, de manera que éste pueda ser realizado por los mismos nativos.

El diseño final y la fabricación de las partes a ser montadas deben realizarse paralelamente a la ejecución por el PEPP de las obras civiles, ciñéndose a las especificaciones técnicas alcanzadas y a los plazos programados.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TECNICOS DEL EMBARCADERO

Por las restricciones del peso, dimensionado de las piezas, e inconvenientes de manipuleo de los elementos metálicos; el diseño del embarcadero, considera secciones modulares, perfectamente selladas, que flotan independientemente y que permiten ser ensambladas fácilmente sin mayores herramientas, formando en su conjunto, el embarcadero flotante; la estructura metálica de cada uno de éstos módulos, debe ser capaz de resistir impactos moderados y cargas concentradas sobre cubierta, de hasta $1,000 \text{ kg/m}^2$, teniendo, una altura máxima de 1m, considerando que el embarcadero va a ubicarse siempre, cerca a la orilla del río, donde la profundidad, es poca.

La diferencia de cotas entre el embarcadero flotante y la sección de escalera con su plataforma fija, es compensada por la inclinación de la rampa ó puente de acceso; que tiene dos grados de libertad; en dirección paralela al cauce y en dirección vertical de nivel de aguas, para reducir a casi cero los momentos, en la conexión del sistema con los anclajes de concreto y; por seguridad se colocan dos cables de acero tipo boa, como

vientos que permiten mantener anclado el embarcadero a los pilotes de concreto.

Conforme a las prerrogativas descritas líneas arriba, diseñé la embarcación como el conjunto de varias cajas estancas metálicas, ensambladas entre sí mediante pines, donde cada caja estanca es un módulo flotador independiente, cuyo análisis de flotación, desplazamiento y cálculo estructural es independiente al del conjunto.

2.1 DISEÑO

Se diseñó preliminarmente el embarcadero como una embarcación con el casco Tipo Chata, con pantoque recto a 45° en corte diagonal, según esquema tentativo del croquis presente.

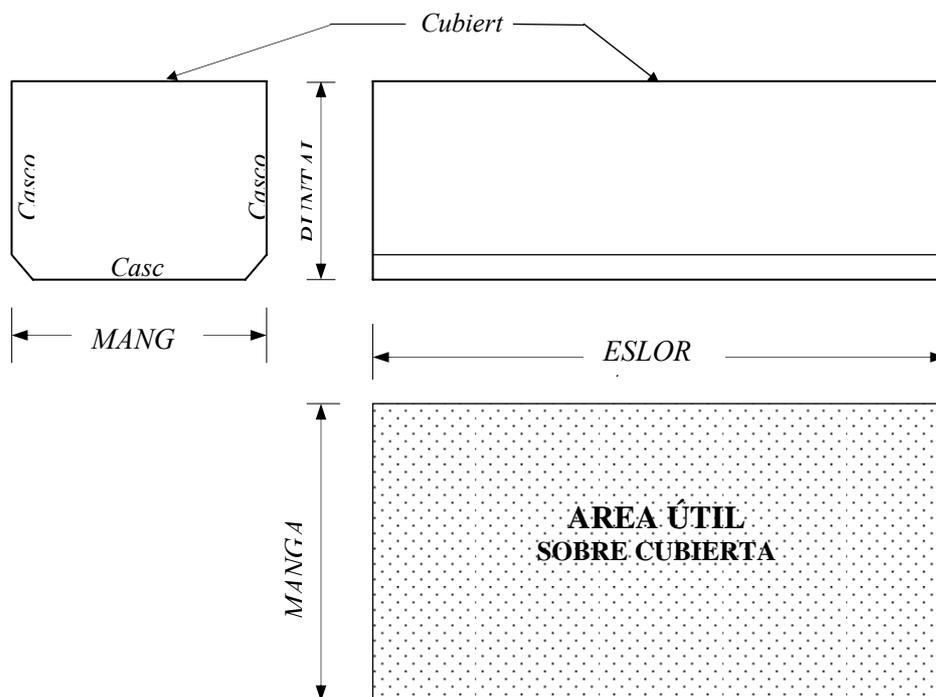


Fig. 2.1 Croquis Preliminar del Embarcadero

Consideré el embarcadero como una caja estanca, tipo chata, para obtener mayor capacidad de desplazamiento y mejor estabilidad de la embarcación, sabiendo que; a mayor superficie de flotación y menor puntal mayor será la estabilidad de flotación.

Sin embargo, como una sola caja, resulta imposible su transporte a la obra, por lo que seccionamos la caja en 05 cuerpos paralelepípedos para ser unidos (ensamblados) en la obra, específicamente en el río, ver Fig. 2.2.

2.1.1 Área necesaria para el Embarcadero

Consideramos el área en función de las dimensiones y pesos de la mercadería posible a ser transportada por las embarcaciones existentes; la que se compara con el área resultante de la aplicación de las tablas II y III de los apéndices y el artículo 3.14.1.1 de la AASHTO, donde se dan las cargas mínimas exigidas para las cargas vivas uniformemente distribuidas; luego tomamos la mayor y ajustamos el área tomando en cuenta las dimensiones comerciales de las planchas a usarse, con el fin de minimizar los desperdicios y las costuras de soldadura de empalme y; comprobamos que esta área sea mayor o igual al área mínima requerida por el desplazamiento máximo que se le quiere dar al embarcadero.

2.1.1.1 Área por dimensión y peso de productos transportables

Los productos como plátanos, naranjas yucas, café, maíz, paltas, animales de crianza, víveres, combustibles, materiales de construcción, etc., constituye carga viva que puede distribuirse uniformemente, sin embargo, fierros de construcción, maderas, tuberías, pueden tener 9m de largo y pesos superiores a las 5TN, por lo que acorde al artículo 1.15 de los antecedentes consideraremos un área de:

Artículo 1.15 de los antecedentes: $9.00\text{m} \times 1.80\text{m} = 16.20\text{m}^2$

Área adicional para manipuleo : $9.00\text{m} \times 0.60\text{m} = \underline{5.40\text{m}^2}$

Área considerada : $9.00\text{m} \times 2.50\text{m} = 21.60\text{m}^2$

2.1.1.2 Área Por Carga Vivas Y Pesos Propios, Uniformemente Distribuidos

Estimando el peso propio del puente de acceso al embarcadero en 0.5TN, 300 kg/m^2 de carga viva peatonal aplicada a los 14.40m^2 del tablero de $12.00\text{m} \times 1.20\text{m}$ y; considerando sólo el 50% de ésta suma aplicado en las conexiones del puente con el embarcadero, son 2.41TN que; sumado al peso propio del embarcadero, estimado en 3.5TN y a las 5TN requeridas de carga viva sobre cubierta, hacen un total de **10.91TN** de carga a distribuir sobre el área de flotación.

Carga según artículo 3.14.1.1 de la AASHTO : 420 kg/m²

Carga según las tablas II y III de los apéndices: 550 kg/m²

Carga promedio considerado en el cálculo : 500 kg/m²

Área considerada : 10,910 kg / 500 kg/m² = 21.82m²

2.1.1.3 Área de diseño, ajustada por menor costo de materiales y mano de obra.

Las planchas a usarse miden 2.40m x 1,20m, y el embarcadero está formado por 5 módulos:

04 módulos laterales de 1,35m x 3.36m x 0,82m

01 módulo central de 1,35m x 2,75m x 0,82m.

Las dimensiones asumidas para el embarcadero incluyendo holguras por ensambladura son:

2,75 m de manga x 8,21 m de eslora x 0,82 m de puntal

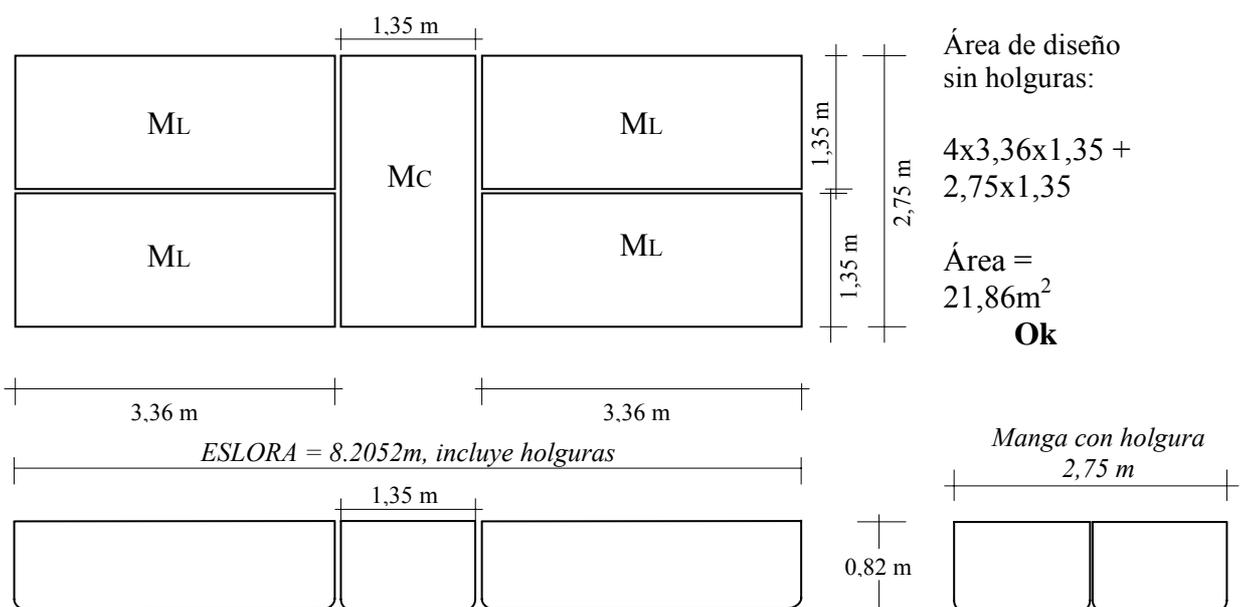


Fig. 2.2 Esquema de áreas necesarias sobre cubierta

2.1.1.4 Área mínima requerida por desplazamiento asumido.

El embarcadero va a ubicarse siempre cerca a la orilla, donde la profundidad del río es mínima, por lo que asumimos un calado de 0,52m para un desplazamiento de 10,91TN.

Área de flotación requerida:

$$\frac{\text{Peso total (Kg.)}}{\text{Calado (m) Peso específico del agua dulce (kg/m}^3\text{)}} \quad (1.1)$$

$$10,910 \text{ kg} / (0,52\text{m} \times 1000\text{kg/m}^3) =$$

$$20,98\text{m}^2 < \underline{21,86\text{m}^2} \quad \text{Ok!}$$

2.1.2 Cálculo de Desplazamiento

Los calados y puntales para embarcaciones que operan en ríos de poco caudal, deben ser considerados en poca proporción, mas aún, si esta embarcación flotante se ha de anclar cerca a la orilla del río, por lo que considerando la parte no sumergida del puntal (francobordo) en 0,30m y el calado 0,52m, el puntal debe tener 0.82m.

2.1.2.1 Características de los Embarcaderos

Según necesidades de áreas y calado considerado el embarcadero en su conjunto tendrá las siguientes características (ver Fig 2.3):

Eslora: $L = 8,21\text{m}$

Manga: $B = 2,75\text{m}$

Puntal: $H = 0,82\text{m}$

2.1.2.2 Principio de Arquímedes

El principio Arquímedes expresa que “Todo cuerpo sumergido total o parcialmente en un fluido recibe un empuje vertical hacia arriba, igual al peso del fluido desalojado por el cuerpo”.

Esto rige para cualquier fluido, siempre que la fricción interna entre sus moléculas, esto es la viscosidad sea nula o en la práctica muy pequeña; por ejemplo, con el agua y el aire, pero con sustancias tales como el asfalto.

El volumen desalojado por el cuerpo es en el caso del embarcadero, precisamente el volumen sumergido, llamado también, **volumen de la carena** V . Si el peso específico del fluido, en este caso el agua, es γ , evidentemente el principio de Arquímedes expresa que:

$$\text{Empuje} = V \cdot \gamma \quad (1.2)$$

Como el peso de agua desalojado es por definición, designado con el nombre de desplazamiento, también puede

expresarse este principio diciendo que **el empuje es igual al desplazamiento.**

$$\text{Empuje} = \text{Desplazamiento} \quad (1.3)$$

2.1.2.3 Condición básica de equilibrio del embarcadero

Para que un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido, sin contacto alguno con otros cuerpos, permanezca en equilibrio, evidentemente será indispensable, como primera condición, que el peso del cuerpo y el empuje que recibe el mismo sean fuerzas iguales y opuestas. Por lo que:

$$\text{Peso} = \text{Empuje} \quad (1.4)$$

$$\text{Peso} = \text{Desplazamiento} \quad (1.5)$$

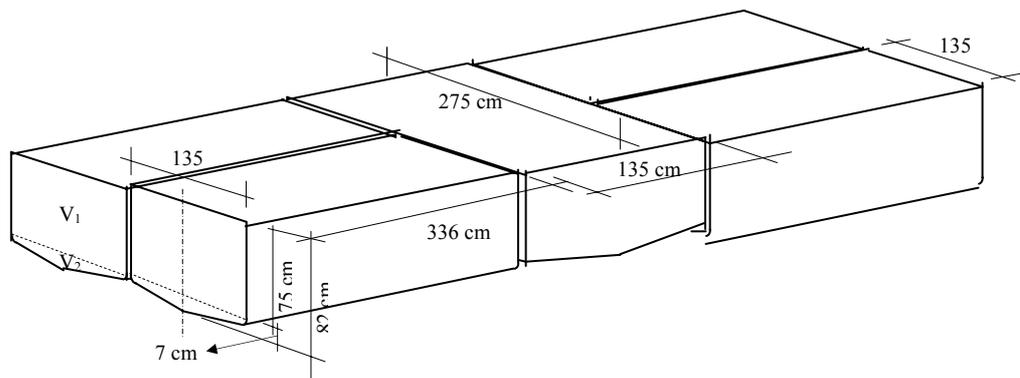


Fig. 2.3 Disposición de módulos del embarcadero

2.1.2.4 Cálculo de los Volúmenes del Embarcadero

Como el Embarcadero está formado por 04 módulos laterales iguales, mas un módulo central, el volumen total

para el cálculo del desplazamiento es la suma de los volúmenes que integran el conjunto y; del croquis podemos determinar:

Volumen de los módulos laterales

Volumen preliminar del croquis 2, sin descuentos por espesores de material, ni dobleces y refuerzos.

$$V \text{ módulo lateral} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_{n-1} + V_n \quad (1.6)$$

$$V_{ml} = 1,35 \times 3,36 \times (0,75 + 0,07/2) = 3,560 \text{ m}^3$$

Volumen final de la Fig. 2.16, considerando medidas reales, descuentos y ajustes por dobleces de refuerzo.

$$V_{ml} = \frac{(1,3335 \times 3,3275 \times 11 + 1,36 \times 3,36 \times 3,5) \times 0,82}{15} = 3,543 \text{ m}^3 \quad \text{Ok}$$

Volumen del módulo central

Volumen preliminar, sin descuentos por espesores de material, ni dobleces y refuerzos.

$$V \text{ módulo central} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_{n-1} + V_n \quad (1.7)$$

$$V_{mc} = 1,35 \times 2,75 \times (0,75 + 0,07/2) = 2,914 \text{ m}^3$$

Volumen final de la Fig. 2.17, considerando medidas reales, descuentos y ajustes por dobleces de refuerzo.

$$V_{mc} = (1,3335 \times 2,7091 \times 11 + 1,36 \times 2,74 \times 3,5) \times 0,82/15$$

$$= 2,885 \text{ m}^3 \quad \text{Ok}$$

Volumen total del conjunto

$$V_t \text{ Embarcadero} = 4V_{ml} + V_{mc} \quad (1.8)$$

$$V_t \text{ Embarcadero} = 4 \times 3,543 + 2,885 = \mathbf{17,057 \text{ m}^3}$$

Como:

$$\text{Peso} = \text{Desplazamiento} = \text{Empuje} = \text{Volumen} \cdot \gamma$$

$$\gamma = 1 \text{ TN} / \text{m}^3, \quad \rightarrow \quad \text{Desplazamiento} = 17,057 \text{ TN}$$

2.1.3 Pesos considerados para el embarcadero y sus módulos

El embarcadero es en realidad, una embarcación fija, flotante, que no lleva motores para su desplazamiento, ni bombas de agua que equilibren el peso, grupos electrógenos, ó maquinas de ninguna especie, tan solo la sobrecarga distribuida sobre cubierta y el peso propio de la estructura metálica.

Peso estimado de la estructura	:	3,500 TN
Peso de la carga sobre cubierta	:	5,000 TN
Peso debido al puente de acceso	:	0,250 TN
Peso de la carga sobre el puente	:	<u>2,160</u> TN
Peso soportado por el embarcadero	:	10,910 TN
Peso considerado para el francobordo	:	<u>6,147</u> TN
PESO TOTAL	:	17,057 TN

Se comprueba: $\text{Peso} = \text{Desplazamiento} = 17,057 \text{ TN}$

2.1.4 Análisis de Flotación del embarcadero y sus módulos

El embarcadero en su conjunto, es una caja estanca de forma básicamente rectangular, llamada casco y; la parte del casco que está sumergido, constituye la obra viva o **carena**, el resto emerge, llamándosele obra muerta.

El empuje es una fuerza vertical, hacia arriba, que pasa por el centro de carena (centro de volumen sumergido) Por su parte, el peso del embarcadero es una fuerza vertical, hacia abajo, aplicada, según enseña la física para un cuerpo cualquiera, en un punto llamado *centro de gravedad*, designado comúnmente con **G**.

Para que exista equilibrio esas fuerzas deben ser iguales pero, además evidentemente, deben estar sobre la misma vertical a fin de anularse.

Expresándose así, la segunda condición básica de equilibrio: ***el centro de gravedad G y el centro de carena B del Embarcadero deben estar sobre la misma vertical.*** Por lo expuesto tendremos la condición mostrada en la Fig. No 2.5.

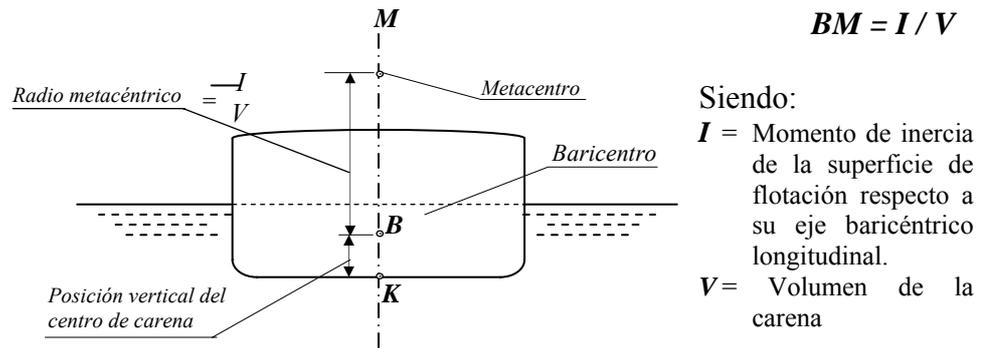


Fig. 2.4 Análisis de flotación del embarcadero

En el río, el embarcadero está sometido constantemente a una serie de fuerzas (oleaje, viento, corrientes, crecidas, etc.), que tratan de alterar su equilibrio, produciendo movimientos y oscilaciones que, se pueden analizar como rotaciones y/o inclinaciones del embarcadero; sin embargo, dicho equilibrio es restablecido en parte, por el peso y brazo de palanca de la rampa de acceso conectada al embarcadero flotante y; por la aparición de fuerzas reactivas naturales.

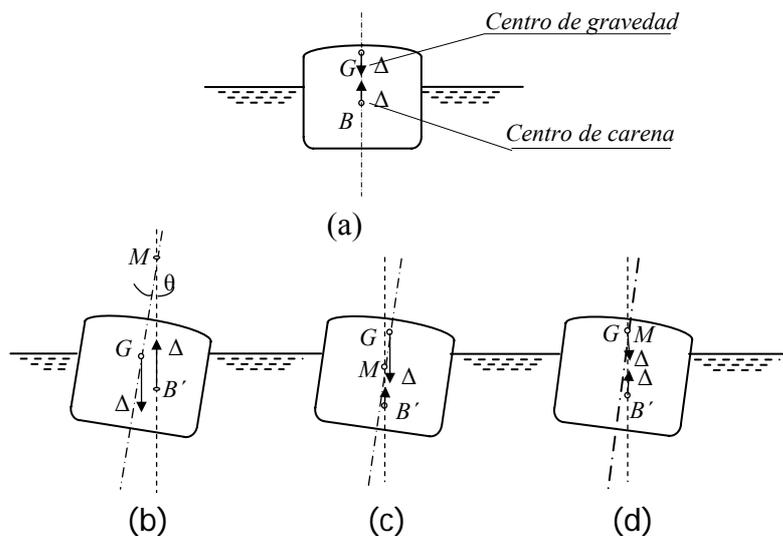


Fig. 2.5 Centro de Gravedad G y el Centro de Carena B del embarcadero

2.1.4.1 Atributos de Carena del Embarcadero

El volumen de la carena del embarcadero puede variar, en la práctica, entre dos límites:

El correspondiente al embarcadero vacío y el que corresponde a carga completa. Hay, pues, infinitas carenas posibles entre esos dos límites y a cada una corresponderán valores particulares de ciertas propiedades geométricas de la misma (por ejemplo, el área de flotación, el volumen de la carena, la posición del centro de carena, la posición del metacentro, la altura metacéntrica, etc.), designados todos ellos con el nombre de *atributos de carena*.

2.1.4.2 Equilibrio del Embarcadero Adrizado

El equilibrio, como sabemos, puede ser de tres clases distintas:

Equilibrio estable

Si al ser apartado el cuerpo ligeramente de su posición de equilibrio tiende a volver a él y; ocurre cuando el metacentro **M**, está por encima de de **G**, es decir, que $KM > KG$ ó también $GM = KM - KG > 0$

Equilibrio inestable

Si al ser apartado el cuerpo ligeramente de su posición de equilibrio tiende a seguir apartándose y; ocurre cuando el metacentro M , está por debajo de G , es decir, que $KM < KG$ ó también $GM = KM - KG < 0$

Equilibrio indiferente

Si al ser apartado el cuerpo ligeramente de su posición de equilibrio, permanece en equilibrio en la nueva posición y; se cumple cuando el metacentro M , coincide con G , es decir, que $KM > KG$ ó también $GM = KM - KG = 0$

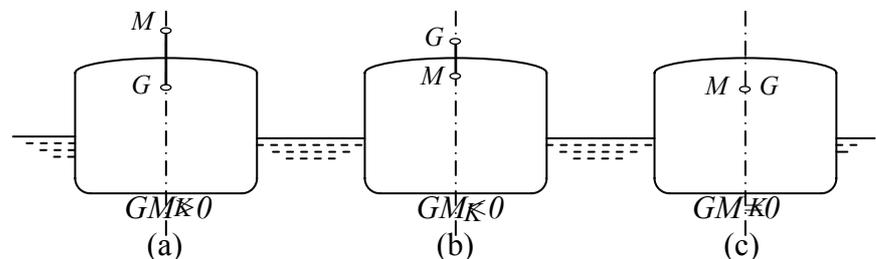


Fig. 2.6 Equilibrio del embarcadero Adrizado

El equilibrio del embarcadero adrizado puede estudiarse, en definitiva, con sólo analizar la posición relativa de dos puntos: el metacentro transversal M y el centro de gravedad G . Esta posición relativa se refleja, a su vez, en el signo de un único segmento GM ; a este segmento de capitalísima importancia

en el **estudio de la estabilidad del embarcadero adrizado o estabilidad transversal inicial**, llamamos ***altura metacéntrica*** y; su valor numérico debe ser positivo, para que el embarcadero diseñado, sea estable.

2.1.4.3 Estabilidad del Embarcadero Flotante

Como hemos descrito, en el párrafo 3º del artículo 1.3.1.4 (Análisis de Flotación del embarcadero), una embarcación, está sometida a movimientos y oscilaciones que, pueden ser analizadas, por las rotaciones o inclinaciones alrededor de sus ejes principales. Las rotaciones alrededor del eje longitudinal, las originan *las escoras*, que son inclinaciones transversales al eje longitudinal del embarcadero y; las rotaciones alrededor del eje transversal medio, las originan *los asientos*; aunque estas últimas, están restringidas en nuestro caso particular. Abordamos el estudio de la estabilidad del embarcadero en los siguientes casos:

Estabilidad Transversal

Estabilidad Inicial

La estabilidad transversal inicial puede estudiarse determinando el valor de la altura metacéntrica transversal

GM. Si $GM > 0$, el embarcadero es estable; si $GM < 0$, el embarcadero es inestable; si:

$GM = 0$, el embarcadero es indiferente.

Para determinar GM , determinamos independientemente KM y KG .

KM , altura del metacentro transversal sobre la línea de construcción, sólo depende de la carena del embarcadero y; está dado por una curva en función del calado.

KG , altura del centro de gravedad sobre la línea de construcción, sólo depende de la distribución de pesos a bordo; se determina partiendo de dicha distribución y aplicando el concepto de momento estático de un peso con respecto a un plano.

$$KM = KB + BM \quad (1.9)$$

El punto B , es el centro de carena, el segmento BM , es el radio metacéntrico transversal y; está dado por:

$$BM = I / V \quad (2.0)$$

Donde:

$I =$ Momento de inercia de la superficie de flotación con respecto a su eje baricéntrico longitudinal

$V =$ Volumen de la carena

Estabilidad a pequeños ángulos de escora

El metacentro transversal M de una embarcación es un punto prácticamente invariable para escoras pequeñas, que no pasan de 8 a 12° y; el empuje pasará por el metacentro M formando el peso y el empuje, una cupla de fuerzas, Desplazamiento (Δ) y brazo adrizante (GZ).

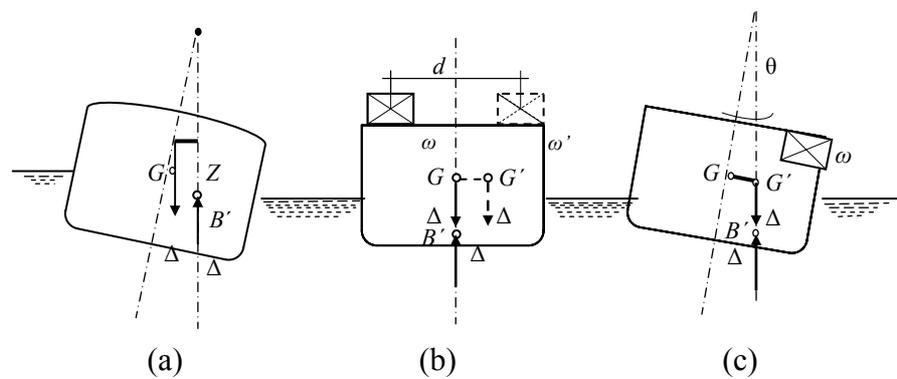


Fig. 2.7 Estabilidad a pequeños ángulos de escora

De la Fig. N° 4 se deduce que:

$$GZ = GM.\text{sen}\theta, \quad C = \Delta.GZ = \Delta.GM.\text{sen}\theta$$

Como el ángulo θ , es pequeño, reemplazamos el seno por el ángulo en radianes:

$$GZ = GM.\theta, \quad C = \Delta.GZ = \Delta.GM.\theta \quad (2.1)$$

Con la formula siguiente, podemos calcular la inclinación provocada por la traslación de un peso w .

$$\text{Tg}\theta = d . w / \Delta.GM \quad (2.2)$$

Estabilidad a grandes ángulos de escora

Nuestro embarcadero no ha de manifestar inclinaciones a grandes ángulos, debido, a ubicarse en aguas tranquilas de la orilla y contar con el brazo de palanca ofrecido por el puente o rampa de acceso, que adrizaría el embarcadero instantáneamente y; las máximas escoras serán las producidas por una ubicación asimétrica de carga plena concentrada, es decir, podemos ubicar las 5TN requeridas, en el centro y al borde de la cubierta del embarcadero y; *calcular este brazo escorante, determinar la cupla adrizante, y el ángulo de inclinación*, usando los conocimientos de física y la fórmula (2.2)

A partir de ángulos de 8 a 12° la curva de brazos adrizantes comienza a separarse de la tangente en el origen, pero, evidentemente, se mantiene cercana a ella para ángulos moderados de hasta unos 30°.

Por tanto, podemos asegurar que dentro de este límite los brazos adrizantes son un tanto mas grandes, cuanto más grande es la altura metacéntrica.

La estabilidad a ángulos moderados de escora está íntimamente ligada a la estabilidad inicial del embarcadero.

Estabilidad Longitudinal, Asiento, Variaciones de Calado.

Las rotaciones sobre el eje transversal medio, son siempre pequeñas, en razón de la magnitud de la eslora de la embarcación comparada con la de su puntal, el metacentro longitudinal ML , está siempre muy arriba del G , por lo que la *altura metacéntrica longitudinal es siempre positiva*, resultando estable longitudinalmente la embarcación; sin embargo, en nuestro caso particular, estas rotaciones están restringidas y; prácticamente no existen, debido al tipo de conexión de la rampa ó puente de acceso con el embarcadero, que tan solo tiene un grado de libertad, en sentido vertical; además, porque el embarcadero se ubica muy cerca de la orilla, donde las aguas son absolutamente tranquilas, sin escoras ni asientos, por lo que las variaciones de los calados a proa y a popa del embarcadero son casi nulas.

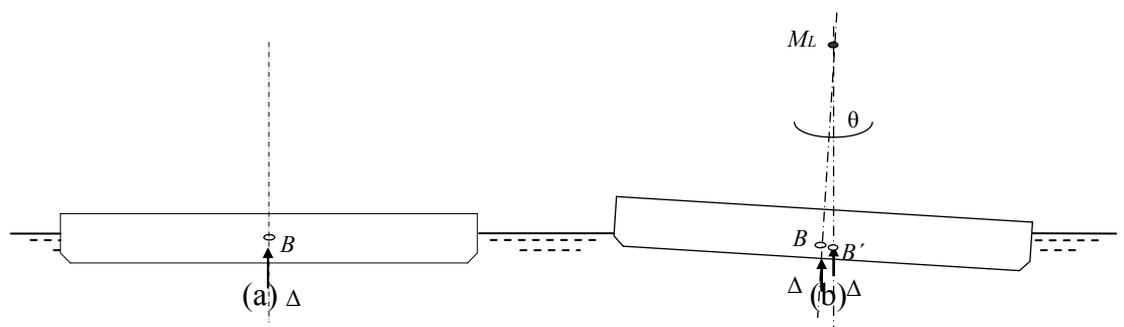


Fig. 2.8 Estabilidad longitudinal

La estabilidad longitudinal del embarcadero queda totalmente asegurada, por lo que no es necesario detenerse en el análisis de los casos posibles.

Estabilidad dinámica, equilibrio dinámico del embarcadero

El embarcadero debe ser capaz de absorber una cierta energía externa sin escorarse más allá de un cierto ángulo, esto es pues la estabilidad dinámica y puede calcularse con el trabajo total para escorarlo desde 0° , al ángulo θ_0 , límites de las integrales y; donde:

$$T = \int dT = \int C \cdot d\theta \quad (2.3)$$

Traslación de peso, embarque y desembarque de pesos, efecto en la estabilidad y calados

Efectos por carga asimétrica de pesos

En este caso se producirá momentos aplicados a los acoples de conexión

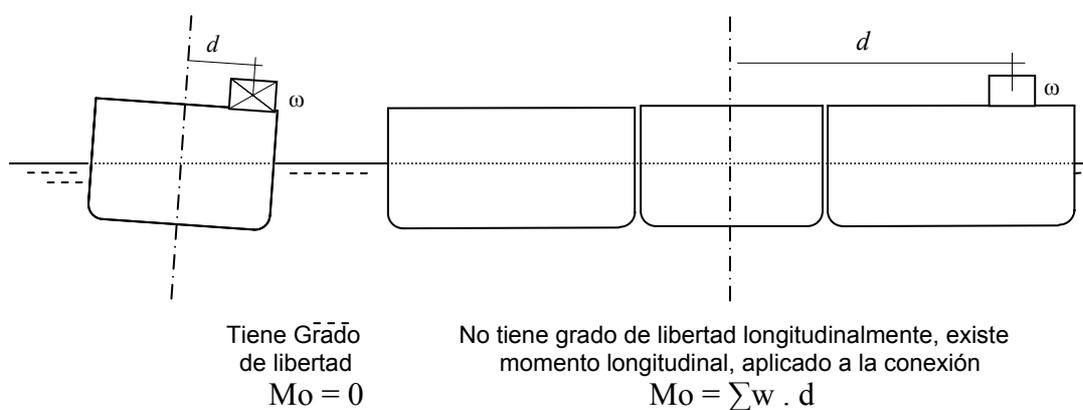


Fig. 2.9 Escora del embarcadero debido a la carga asimétrica

Traslación transversal de pesos

En este caso se producirá evidentemente, una escora del embarcadero o, si éste ya hubiera tenido una determinada escora, una variación de la misma. Si esa escora es pequeña puede calcularse con la (2.2) ó, en caso de haber traslación de varios pesos simultáneos, por:

$$G'G'' = \sum w \cdot d'' / \Delta, \quad G''G''' = \sum w \cdot d''' / \Delta \quad (2.4)$$

$$\operatorname{tg} \theta = \sum w \cdot d'' / \Delta \cdot GM \quad (2.5)$$

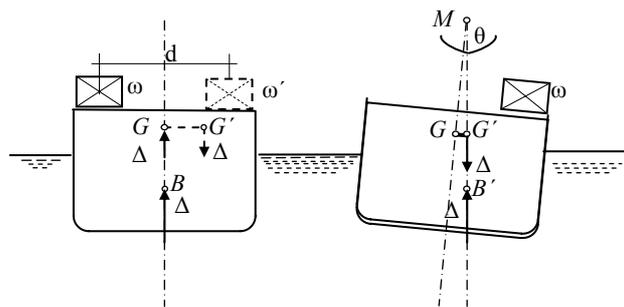


Fig. 2.9 *Traslación transversal de pesos*

Traslación longitudinal de pesos

Es claro que la traslación longitudinal de un peso ocasiona una variación en el asiento y calados del embarcadero que; en este caso hemos afirmado, anteriormente, en el párrafo 1.3.1.4.3.2, son casi nulas, sin embargo, los momentos que producen, los absorberá directamente los elementos de conexión entre la rampa y el embarcadero, éste momento calculado conforme a (2.6), es el que

usaremos para el cálculo estructural de las piezas de conexión:

$$\text{Momento de traslación} = \sum w \cdot d''' \quad (2.6)$$

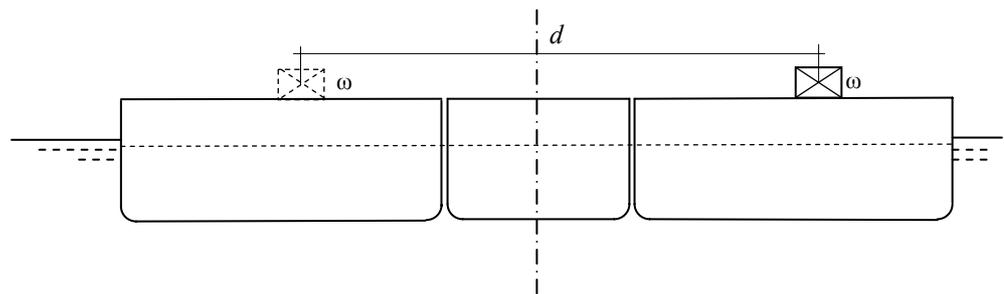


Fig. 2.10 Traslación longitudinal de pesos

La estabilidad del embarcadero, es analizada en la hoja de cálculo “ANÁLISIS DE FLOTACIÓN”, por las rotaciones alrededor del eje longitudinal, para pequeños ángulos de inclinación o escora (hasta 8 a 12°), en los que la posición del metacentro M , permanece en la práctica, invariable. Y de manera análoga se analiza la flotación de los módulos laterales y del módulo central.

2.1.4.4 Consideraciones de Cálculo para el Análisis de Flotación

De lo expuesto en la figura 2.5 y figura 2.10, y en los artículos 1.3.1.1.4, 1.3.1.2.1, 1.3.1.3, tenemos que:

A).- Peso propio.....(**W_{propio}**)

a) Para los módulos flotadores laterales:

$$\mathbf{W_{ml}} = 727.13 \text{ kg} \quad (2.7a)$$

b) Para los módulos flotadores centrales:

$$\mathbf{W_{mc}} = 591.48 \text{ kg} \quad (2.7b)$$

c) Para cada embarcadero en su conjunto es

la sumatoria de $\mathbf{W_{propio}} = 4 W_{ml} + W_{mc}$

$$\mathbf{W_{propio}} = 4 \times 727.13 + 591.48 = 3,500 \text{ kg} \quad (2.7c)$$

B).- Carga viva sobre la cubierta superior..... (**W_{carga}**)

a) Para ambos módulos:

$$\text{Carga viva} = \mathbf{W_{carga}} = 150 + 30 = 180 \text{ kg} \quad (2.8a)$$

b) Para los embarcaderos:

$$\text{Carga útil} = \mathbf{W_{carga}} = 5,000 \text{ Kg} \quad (2.8b)$$

c) Cargas concentradas en el embarcadero

(**Q_{carga}**)

C).- Puente de acceso

a) Peso propio del puente de acceso:

$$\text{Carga aplicada} = \frac{1}{2} \mathbf{W_{puente}} = \frac{1}{2} (500)$$

$$= 250 \text{ Kg.} \quad (2.8a)$$

b) Carga viva sobre el puente peatonal de 300 kg/m^2 :

$$\text{Carga viva aplicada} = \frac{1}{2} (14.40 \text{ m}^2 \times 300 \text{ kg}) = 2,160 \text{ kg}$$

$$\text{Carga concentrada total} = \mathbf{Q_{ra}} = a + b = 2,410 \text{ kg} \quad (2.9)$$

D).- Peso total del cuerpo....(**W_t**):

$$\mathbf{W_t} = \sum(W_i+Q_i) \quad (3.0)$$

a) Para el módulo flotador lateral:

$$\mathbf{W_t} = 727.13 + 180 = 907.13 \text{ Kg.} \quad (3.0a)$$

b) Para el módulo flotador central:

$$\mathbf{W_t} = 591.48 + 180 = 771.48 \text{ Kg.} \quad (3.0b)$$

c) Para cada Embarcadero es:

$$\mathbf{W_t} = 3,500 + 5,000 + 2,410 = 10,910 \text{ Kg.} \quad (3.0c)$$

E).- Centro de gravedad de la carga respecto al piso....(**H_{c.g. c}**)

Estimamos:

a) Para los módulos =1.00m (3.1a)

b) Para el Embarcadero =0.80m (3.1b)

c) Para la carga concentrada =0.70m (3.1c)

F).- Centroide.....(**d c.g.**)

Es el centro de volumen del cuerpo geométrico analizado, que siendo homogéneo, es también el centro de gravedad, obteniéndose este dato, del archivo respectivo del programa **Autocad** o, mediante los métodos conocidos de la física.

$$\mathbf{d c.g.} = \sum y \cdot W_i / \sum W_i = 0.437\text{m} \quad (3.2)$$

G).- Manga de flotación.....(**M_f**)

La manga máxima es valida en toda la sección del volumen V_2 y en la superficie de flotación máxima del volumen V_1 .

La manga media es valida en toda la sección del volumen V_3

a) Para ambos módulos:

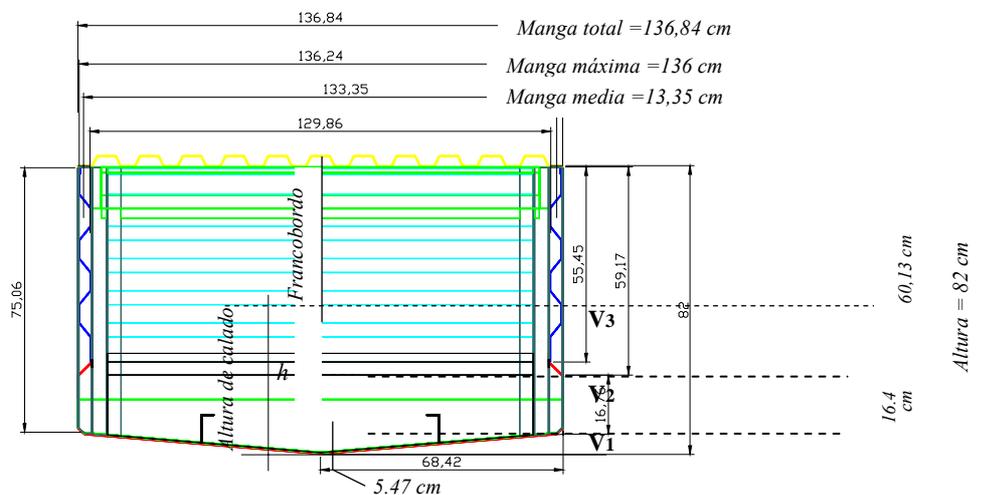


Fig. 2.11 Módulo

De la Fig.2.11, la vista A2 y la vista A3 tenemos que;

$$\text{Manga máxima} = 1.36 \text{ m} \quad (3.3a)$$

$$\text{Manga media} = 1.3335 \text{ m} \quad (3.3b)$$

b) Para el Embarcadero en conjunto:

$$\begin{aligned} (*) \text{ Manga de flotación} &= 1,3335 \times 2 \\ &= 2.667\text{m} \quad (3,3c) \end{aligned}$$

(*) Usada para el cálculo del momento de inercia.

H).- Eslora de flotación....(**Esl**)

La eslora máxima es valida en todas las secciones verticales del volumen V1 y del volumen V2.

La eslora media es valida en todas las secciones verticales del volumen V3.

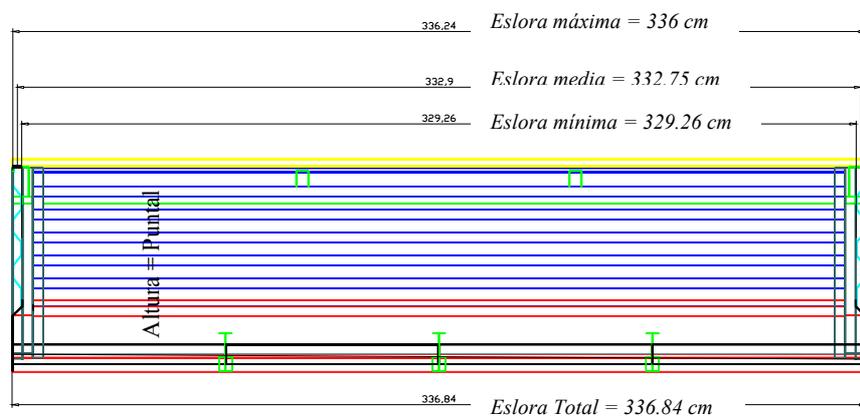


Fig. 2.12 Eslora Total

De la Fig.10, la vista A2 y la vista A3, tenemos que;

a) Para el módulo lateral:

$$\text{Eslora máxima} = 3.36 \text{ m} \quad (3.4a)$$

$$\text{Eslora media} = 3.3275 \text{ m} \quad (3.4b)$$

b) Para el módulo central:

$$\text{Eslora máxima} = 2.74 \text{ m} \quad (3.4c)$$

$$\text{Eslora media} = 2.7091 \text{ m} \quad (3.4d)$$

c) Para el Embarcadero en conjunto:

$$\text{Eslora de flotación} = 2 \times 3,3275 + 1,3335$$

$$= 7,9885 \text{ m} \quad (3.4e)$$

(*) *Eslora usada para el cálculo del momento de inercia.*

I).- Altura del embarcadero / Altura del flotador..... (**Ht**)

La altura ó puntal del embarcadero flotante es la misma que la de cada uno de los módulos flotadores:

$$\text{Altura} = \mathbf{Ht} = 0,82\text{m} \quad (3.5)$$

(**) *Altura tomada desde el plano de construcción a la cubierta superior.*

J).- Calado....(**Hc**)

Es la altura sumergida del cuerpo, de hecho variable con el desplazamiento.

De las fórmulas (1.2), (1.4) y (1.5) podemos establecer:

a) Para el módulo lateral:

$$V_1 = 3,36 \times (1,36 \times 0,0547) / 2 = 0,1249$$

$$V_2 = 3,36 \times (1,36 \times 0,1640) = 0,7494$$

$$V_3 = (h - 0,2187) \times 1,3335 \times 3,3275 = (h - 0,2187) \times 4,4372$$

$$W_t = W_1 + W_2 + W_3 = 907,13 \text{ kg}$$

$$907,13 = V_1 \cdot \gamma + V_2 \cdot \gamma + V_3 \cdot \gamma = (V_1 + V_2 + V_3) \cdot \gamma$$

$$907,13 / 1,000 - V_1 - V_2 = V_3$$

$$h-0,2187=(0,90713-0,125-$$

$$0,749)/4,4372=0,007399$$

$$h = 0,007399 + 0,2187 = 0,2261 \text{ m} \quad (3.6 \text{ a})$$

b) Para el módulo central:

$$V_1=2,74 \times (1,36 \times 0,0547)/2=0,1019$$

$$V_2=2,74 \times (1,36 \times 0,1640)=0,6111$$

$$V_3=(h-0,2187) \times 1,3335 \times 2,7091=(h-0,2187) \times 3,6126$$

$$W_t=W_1+W_2+W_3=741,48 \text{ kg}$$

$$771,48=V_1 \cdot \gamma + V_2 \cdot \gamma + V_3 \cdot \gamma = (V_1+V_2+V_3) \cdot \gamma$$

$$771,48/1,000 - V_1 - V_2 = V_3$$

$$h-0,2187=(0,77148-0,1019-$$

$$0,6111)/3,6126=0,016189$$

$$h = 0,01619 + 0,2187 = 0,2349 \text{ m} \quad (3.6b)$$

c) Para el embarcadero en conjunto:

$$V_1=(4 \times 3,36+2,74) \times (1,36 \times 0,0547)/2=0,6018$$

$$V_2=(4 \times 3,36+2,74) \times (1,36 \times 0,1640)=3,6088$$

$$V_3=(h-0,2187) \times 1,3335 \times (4 \times 3,3275+2,7091)$$

$$=(h-0,2187) \times 21,3615$$

$$W_t=W_1+W_2+W_3=10,910 \text{ kg}$$

$$10,910=V_1 \cdot \gamma + V_2 \cdot \gamma + V_3 \cdot \gamma = (V_1+V_2+V_3) \cdot \gamma$$

$$10,910/1,000 - V_1 - V_2 = V_3$$

$$h - 0,2187 = (10,91 - 0,6018 - 3,6088) / 21,3615 = 0,31362$$

$$h = 0,3136 + 0,2187 = 0,5323 \text{ m} \quad \text{OK! (3.6c)}$$

(*) *El cálculo del calado, realizado de esta forma, resulta muy sencillo en este caso particular, en razón de la **no-complejidad de las líneas de forma del casco**, que son rectas; en otras circunstancias, es preferible obtener este valor, del gráfico de Calado vs. Desplazamiento.*

K).- Francobordo....(**Hf**):

Es la altura no sumergida del cuerpo, y dependiendo de las embarcaciones, suele marcarse el francobordo mínimo (marca de **Plimsoll**).

$$Hf = Ht - Hc = [(3.3) - (3.4)] \quad (3.7)$$

a) Para el módulo flotador lateral:

$$Hf = 0.82 - 0.2261 = 0.594 \text{ m} \quad (3.7a)$$

b) Para el módulo flotador central:

$$Hf = 0.82 - 0.2349 = 0.5851 \text{ m} \quad (3.7b)$$

c) Para cada Embarcadero es:

$$Hf = 0.82 - 0.5323 = 0.2877 \text{ m} \quad (3.7c)$$

L).- Centro de gravedad del cuerpo....(**KG**)

La determinación del centro de gravedad **G**, se realiza **necesariamente** descomponiendo el embarcadero en una serie de pesos parciales conocidos, cuyos centros de gravedad son asimismo conocidos, aplicando luego el concepto de *momento estático de un peso con respecto a un plano*.

Conociéndose que:

El momento estático de un peso con respecto a un plano es el producto del peso por su distancia al plano e igual a la suma de los momentos estáticos de los pesos parciales en que aquel puede considerarse descompuesto con respecto al mismo plano

$$KG = \frac{\sum(w_i \cdot y)}{\sum w_i} \quad (3.8)$$

a) Para el módulo flotador lateral:

$$KG = [W_{ml} \cdot d_{c.g.} + W_{carga} \cdot (H_{c.g.} + H_t)] / W_t$$

$$KG = [727,13 \times 0,437 + 180 \times (1,00 + 0,82)] / 907,13$$

$$= 0,711 \text{ m (3,8 a)}$$

b) Para el módulo flotador central:

$$KG = [W_{mc} \cdot d_{c.g.} + W_{carga} \cdot (H_{c.g.} + H_t)] / W_t$$

$$KG = [591,48 \times 0,437 + 180 \times (1,00 + 0,82)] / 771,48$$

$$= 0,76 \text{ m (3,8 b)}$$

c) Para los Embarcaderos:

$$KG = [W_{propio} \cdot d_{c.g.} + W_{carga} \cdot (H_{c.g.} + H_t) + Q_t(H_{c.g.} + H_t)] / W_t$$

$$KG = [3,500 \times 0,437 + 5,000 \times (0,80 + 0,82) + 2,410 \times (0,70 + 0,82)] / 10,910$$

$$KG = 1,2184 \text{ m} \quad \text{OK!} \quad (3.8 \text{ c})$$

LL).- Distancia del centro de empuje al centro de gravedad....(**BG**)

$$BG = KG - KB \quad (3.9)$$

De la Fig. 1, Fig. 11, la consideración XII y el artículo 1.3.1.4.3.1a; **KB** es la distancia del plano de construcción al centro de carena (*centro de empuje*), valor que calculamos aplicando el concepto que;

$$KB = \Sigma(w_i \cdot y) / \Sigma w_i$$

$$KB = (V_1 \cdot y_1 + V_2 \cdot y_2 + V_3 \cdot y_3) / \Sigma V_i$$

a) Para el módulo lateral:

i	V _i	y	V _i ·y
1	0.1249 m ³	0.0365 m	0.0046 m ⁴
2	0.7494 m ³	0.1367 m	0.1024 m ⁴
3	0.0328 m ³	0.2224 m	0.0073 m ⁴
	ΣV _i	KB	ΣV _i ·y
	0.9071 m ³	0.1260 m	0.1143 m ⁴

$$BG = KG - KB = 0.711 - 0.1260 = 0.585 \text{ m} \quad (3.9a)$$

b) Para el módulo central:

i	Vi	y	Vi.y
1	0.1019 m ³	0.0365 m	0.0037 m ⁴
2	0.6111 m ³	0.1367 m	0.0835 m ⁴
3	0.0585 m ³	0.2268 m	0.0133 m ⁴
	ΣVi	KB	ΣVi.y
	0.7715 m ³	0.1303 m	0.1005 m ⁴

$$BG = KG - KB = 0.76 - 0.1303 = 0.63 \text{ m} \quad (3.9b)$$

c) Para el embarcadero en conjunto:

i	Vi	y	Vi.y
1	0.6018 m ³	0.0365 m	0.0219 m ⁴
2	3.6088 m ³	0.1367 m	0.4933 m ⁴
3	6.6994 m ³	0.3755 m	2.5157 m ⁴
	ΣVi	KB	ΣVi.y
	10.9100 m ³	0.2778 m	3.0310 m ⁴

$$BG = KG - KB = 1.2184 - 0.2778 = 0.941 \text{ m} \quad (3.9c)$$

(*) La ubicación del centro de carena en los otros dos ejes, está en la intersección de la sección media transversal con el plano de crujía.

M).- Angulo de inclinación ó escora.....(θ)

Asumimos un ángulo escora de 5°, sin embargo, el ángulo puede ser modificado a efecto de análisis y, graficar curvas de brazos adrizantes y curvas cruzadas de estabilidad.

$$\theta = 5^\circ = 5 \times 2\pi/360 \quad (4.0)$$

N).- Momento de inercia(I_{yy})

Es el momento de inercia de la superficie de flotación con respecto a su eje baricéntrico longitudinal, expresado también como:

$$I_{yy} = \text{Manga}^3 \cdot \text{Eslora} / 12$$

$$I_{yy} = Mf^3 \cdot \text{Esl} / 12 \quad (4.1)$$

a) Para el módulo flotador lateral:

$$I_{yy} = (1.3335^3 \times 3.3275) / 12 = 0.6575 \text{ m}^4 \quad (4.1a)$$

b) Para el módulo flotador central:

$$I_{yy} = (1.3335^3 \times 2.7091) / 12 = 0.5353 \text{ m}^4 \quad 4.1b)$$

c) Para el embarcadero en conjunto:

$$I_{yy} = (2.667^3 \times 7.9885) / 12 = 12.6285 \text{ m}^4 \text{ ok!} \quad (4.1c)$$

Ñ).- Momento adrizante.....(M_o)

Al escorar la embarcación un ángulo θ , el empuje pasará por el metacentro M , y el peso por el centro de gravedad; formando una *cupla* de fuerzas "C", y brazo adrizante GZ

$$M_o = C = \gamma_{(H_2O)} \cdot I_{yy} \cdot (\theta \times 2\pi / 360^\circ) \quad (4.2)$$

a) Para el módulo flotador lateral:

$$\begin{aligned} M_o &= 1000 \times 0.6575 \times 5^\circ \times 2\pi / 360^\circ \\ &= 57.38 \text{ kgf-m} \end{aligned} \quad (4.2a)$$

b) Para el módulo flotador central:

$$\begin{aligned} M_o &= 1000 \times 0.5353 \times 5^\circ \times 2\pi / 360^\circ \\ &= 46.71 \text{ kgf-m} \end{aligned} \quad (4.2b)$$

c) Para el embarcadero en conjunto:

$$\begin{aligned}
 M_o &= 1000 \times 12.6285 \times 5^\circ \times 2\pi / 360^\circ \\
 &= 1,102.05 \text{ kgf-m} \qquad \qquad \qquad \text{ok!} \qquad (4.2c)
 \end{aligned}$$

(*) *Las cupla adrizantes calculadas aquí corresponden a un ángulo de inclinación de 5 grados.*

O).- Altura metacéntrica.....(**GM**)

Elemento importantísimo del análisis, su valor debe ser positivo para que la embarcación sea estable

$$GM = BM - BG$$

$$\mathbf{GM} = \gamma \cdot I_{yy} / W_t - BG \qquad (4.3)$$

a) Para el módulo flotador lateral:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{GM} &= 1000 \times 0.6575 / 907.13 - 0.585 \\
 &= +0.1398 \text{ m} \qquad \qquad \qquad \text{OK!} \qquad (4.3a)
 \end{aligned}$$

b) Para el módulo flotador central:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{GM} &= 1000 \times 0.5353 / 771.48 - 0.63 \\
 &= +0.0638 \text{ m} \qquad \qquad \qquad \text{OK!} \qquad (4.3b)
 \end{aligned}$$

c) Para el embarcadero en conjunto:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{GM} &= 1000 \times 12.6285 / 10910 - 0.941 \\
 &= +0.2165 \text{ m} \qquad \qquad \qquad \text{OK!} \qquad (4.3c)
 \end{aligned}$$

(*) *El valor positivo de las alturas metacéntricas garantiza la estabilidad de flotación de los módulos y del embarcadero en su conjunto, para las cargas consideradas*

Con las fórmulas y consideraciones expuestas, se resumen los principales atributos de la carena en las hojas de cálculo llamadas “análisis de flotación”, así mismo en el gráfico siguiente se aprecian las principales líneas mencionadas

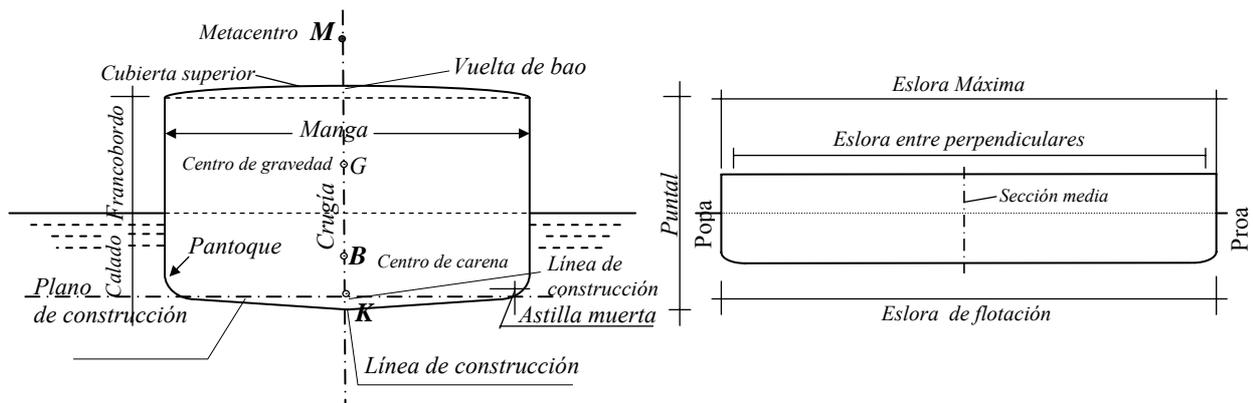


Fig.2.13 Análisis de Flotación

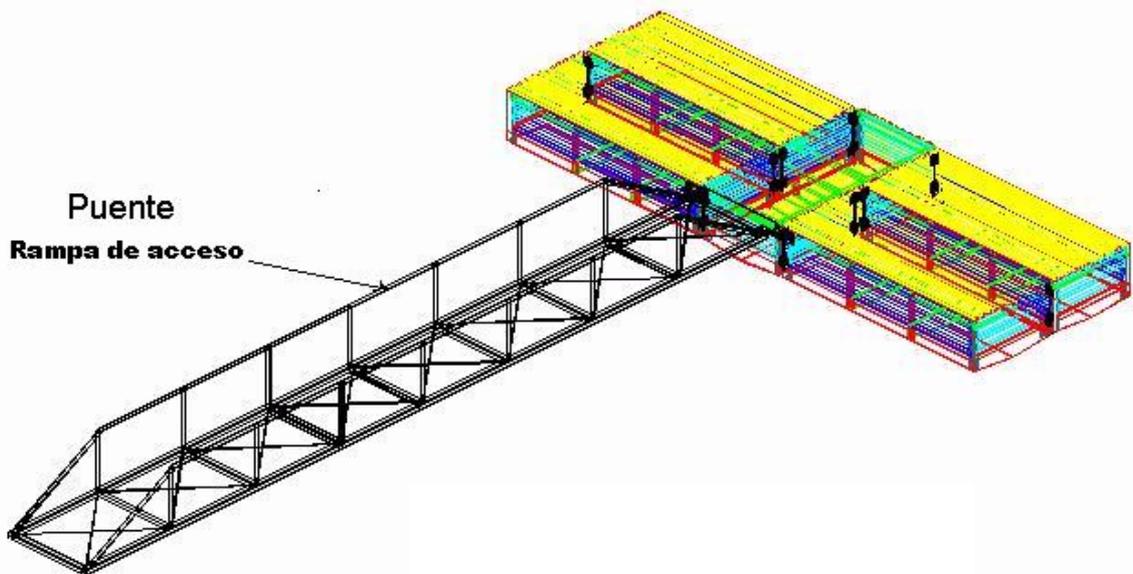


Fig. 2.14 Embarcadero Flotante

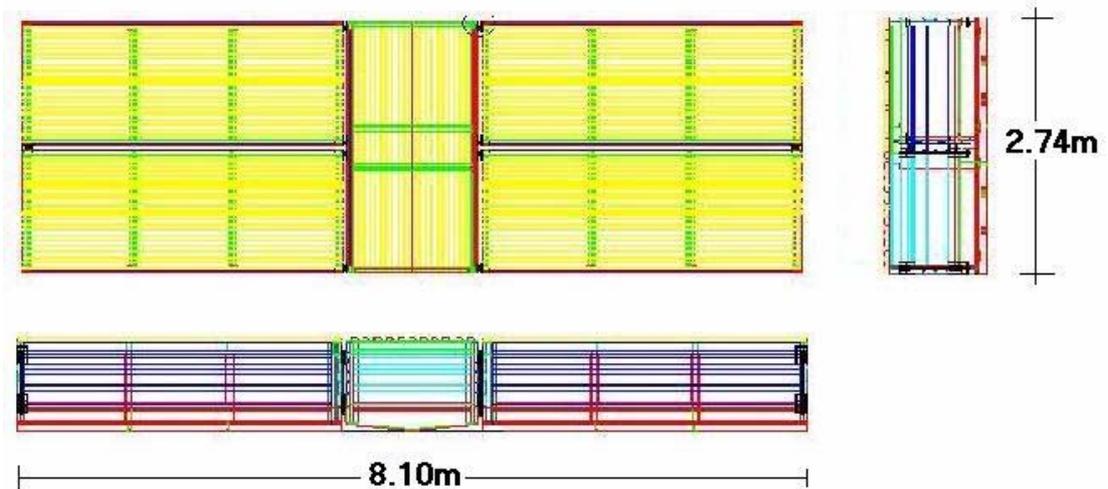


Fig. 2.15 Embarcadero en Conjunto

Podemos apreciar de las Fig. 12 y 13, que las medidas exteriores reales del embarcadero en su conjunto, son: **8,205.2mm x 2,750mm x 820mm**, mayores que las consideradas en el análisis de flotación: **7,988.5mm x 2,667mm x 820mm**.

Debido a la consideración de las holguras de montaje y; el uso de esloras y mangas promedios, por los dobleces de las planchas de acero usadas en el forro del casco, obteniéndose valores comparativamente similares a los reales obtenidos por la integración de los volúmenes de la carena en que ésta sea descompuesta.

2.2 DISEÑO DE LOS MÓDULOS PROTOTIPO

Conforme se ha mencionado anteriormente, el embarcadero, en su conjunto, consta de 04 módulos flotadores laterales e iguales, ubicados en las 4 esquinas del conjunto, más un módulo central de igual manga que los módulos laterales pero, de eslora más pequeña, e igual a dos veces la manga de los módulos flotadores, tal como se puede apreciar en las figuras. 2.2 y 2.3 y la 2.17.

Es importante haber realizado en forma individual el análisis de flotación de cada uno de estos dos tipos de módulos, teniendo en cuenta que para el ensamblaje del embarcadero, cada uno de éstos módulos es lanzado al agua llevando sobre su cubierta superior, dos operarios que manipularan y ensamblaran los módulos; estimándose el peso por persona en 75kg y; en 30kg, el de los accesorios y herramientas a cuestas.

Se consideró una altura promedio de (1,70-1,85)m para el personal técnico, estimándose tal vez con error, en 1.00m la distancia del piso sobre cubierta al centro de gravedad del personal (carga viva de los módulos) y; para que los módulos en el agua con estas condiciones, fueran estables, sus alturas metacéntricas debieran ser positivas.

Los módulos flotadores metálicos, han sido diseñados, sobre la base de laminas plegadas de acero estructural A283C de 1/8" (3,00mm) y

de 5/32" (4,00mm) de espesor, con el fin de garantizar la durabilidad y resistencia a la corrosión; así como de proporcionar gran resistencia al casco y a la estructura de la cubierta superior, por sus dobleces acanalados en el sentido longitudinal.

2.2.1 Características de los módulos prototipos

<u>MÓDULO LATERAL</u>		<u>MÓDULO CENTRAL</u>	
Manga de flotación:	1.3335m	Manga de flotación:	1.3335m
Eslora de flotación:	3.3275m	Eslora de flotación:	2.7091m
Puntal:	0.82m	Puntal:	0.82m
Peso estimado:	727.13kg	Peso estimado:	591.48kg
Carga viva:	180kg	Carga viva:	180kg
Calado:	0.2261m	Calado:	0.2349m
Momento adrizante:	57.38kgf-m	Momento adrizante:	46.71kgf-m
Altura metacéntrica:	+0.1398m	Altura metacéntrica:	+0.0638m
Estabilidad de flotación:	OK!	Estabilidad de flotación:	OK!
<u>Para calado de 0.5323m:</u>		<u>Para calado de 0.5323m:</u>	
Desplazamiento:	(-)2,265.80kg	Desplazamiento:	(-)1,845.91kg

Comprobamos que la suma de los desplazamientos aportados por cada módulo es igual al desplazamiento (empuje) del embarcadero en conjunto

$$\text{Desplazamiento del embarcadero: } 4 \times 2,265.80 + 1845.91 = 10,910 \text{kg}$$

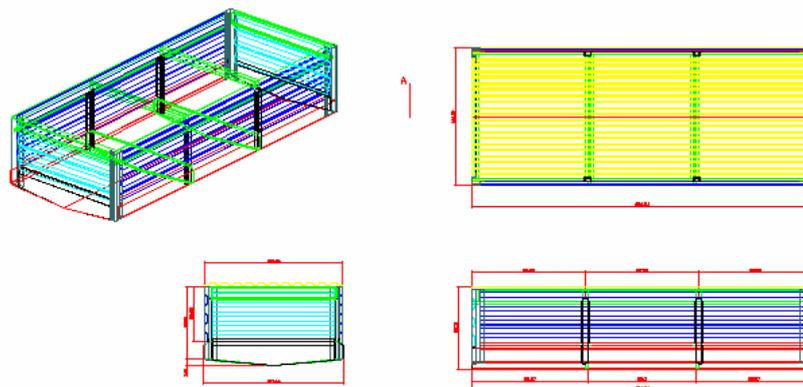


Fig. 2.16 Módulo Lateral

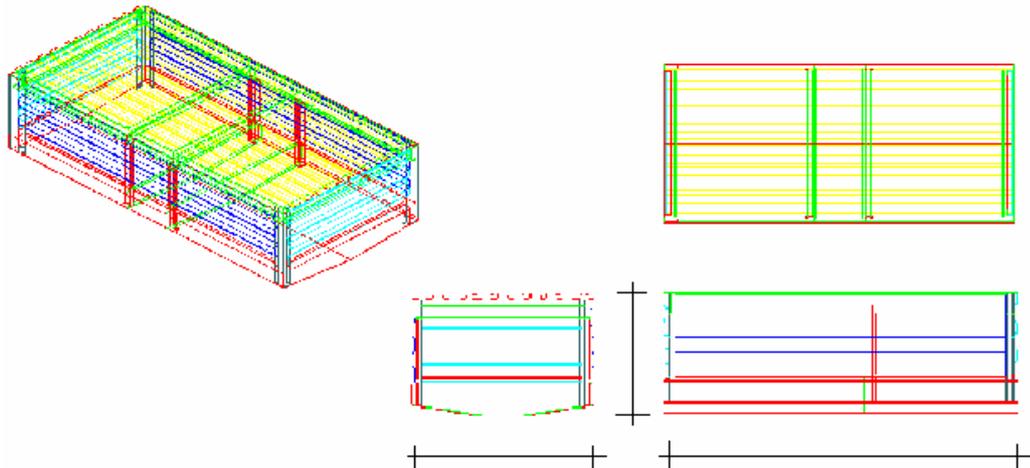


Fig. 2.17 *Módulo Central*

Ambos módulos de igual manga: 1,3684m, la eslora del módulo lateral: 3,3684m, y la eslora del módulo central: 2,75m, con pesos respectivos de: 727,13 kg, y 591,48 kg.

2.3 CALCULO DE FORMA DE LA EMBARCACIÓN

2.3.1 Pasos a seguir la línea de forma del casco

1. Se dibuja la elevación del casco de la estructura de acuerdo a la forma que desea el diseñador.
2. Se determina en forma tentativa las secciones correspondientes a las divisiones de la eslora total, como consecuencia de la intersección de planos transversales perpendiculares al plano de crujía y se numeran de popa a proa; para este caso he considerado 14 planos transversales.
3. Se divide el puntal en planos de agua a criterio del proyectista; estos planos de agua se dibujan en la vista de sección transversal, luego se pasan planos longitudinales equidistantes y paralelos al plano de crujía. Una vez efectuada ésta operación, se dibuja la vista de planta, ploteando los diferentes puntos a la altura en cada sección y las medias mangas igualmente referidas a dicha sección, siempre teniendo en cuenta que las medidas de las alturas serán referidas a la línea de base.
4. Ploteados estos puntos con las consideraciones ya mencionadas, se debe tomar en cuenta que dichas curvas, deben responder a formas hidrodinámicas; es decir, deben de ser curvas de forma suave, finas.

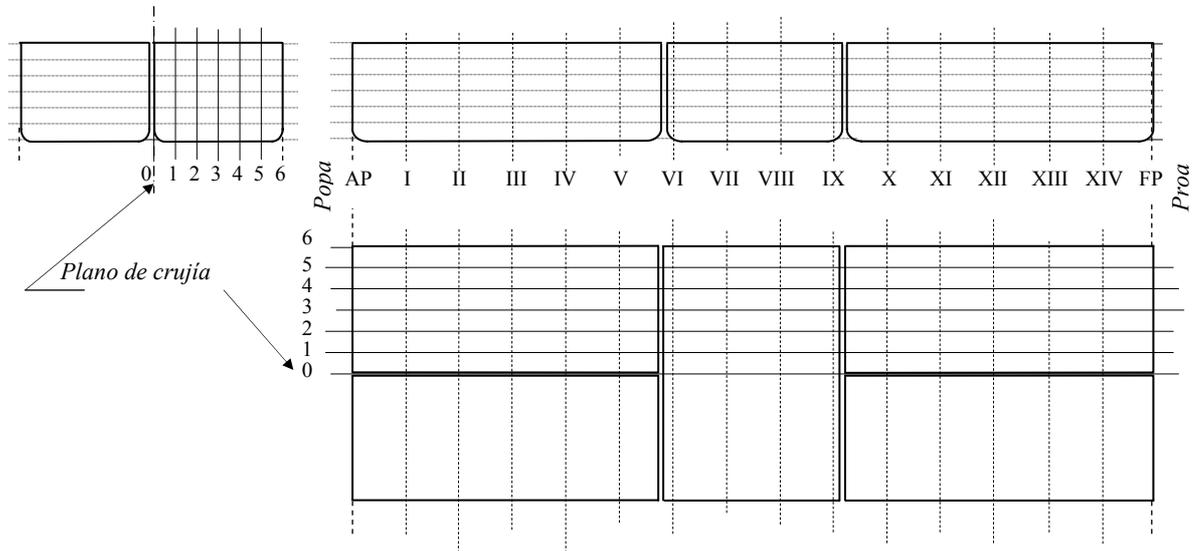


Fig.2.18 Curvas de forma del embarcadero flotante

En este caso del embarcadero, como he considerado casco rectangular, tipo chata con pantoque recto, de forma paralelepípeda; sus curvas serán rectas y simétricas hacia proa y popa, lo mismo que a babor y estribor, conforme podemos apreciar en las vistas A1, A2 y A3

EMBARCADERO FLOTANTE METÁLICO

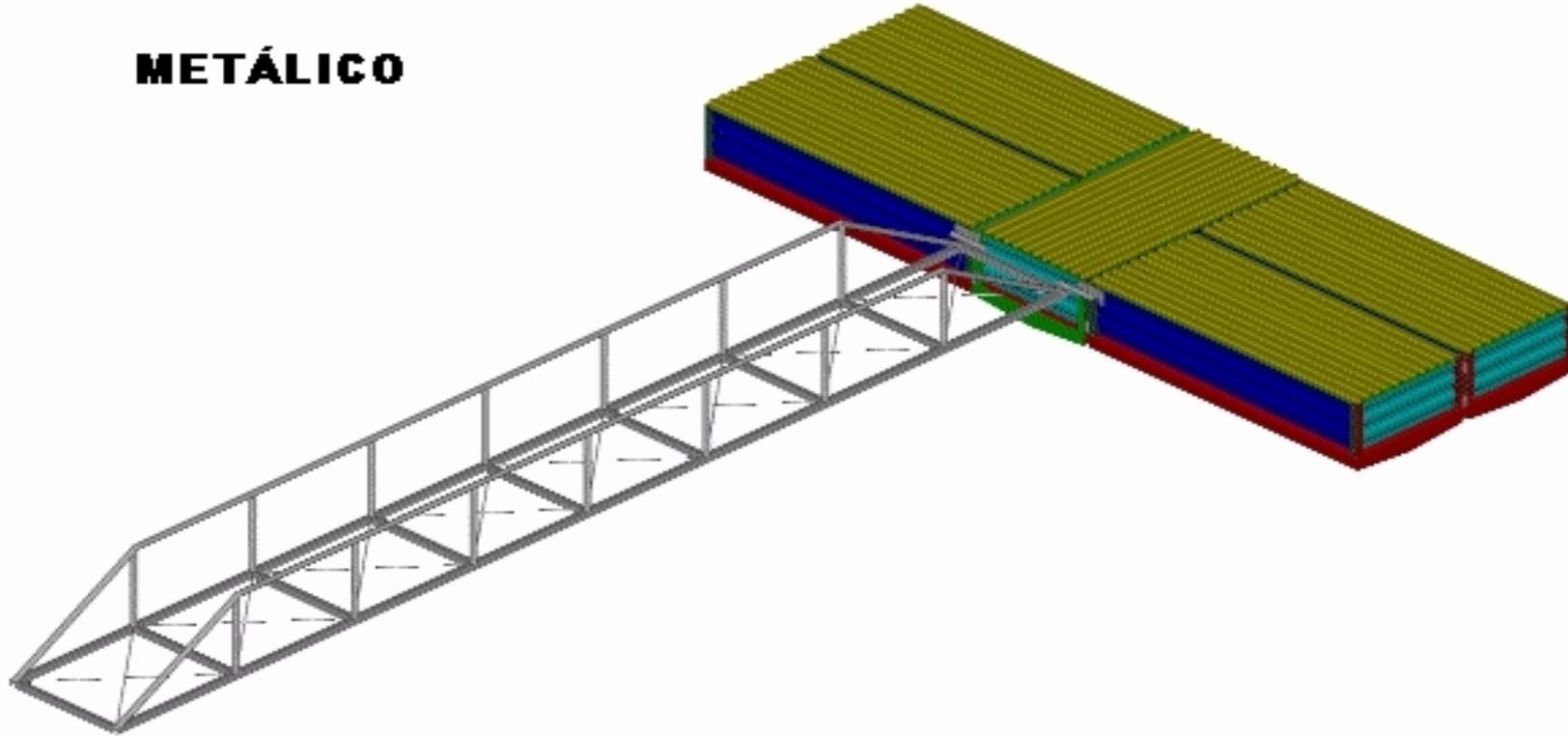
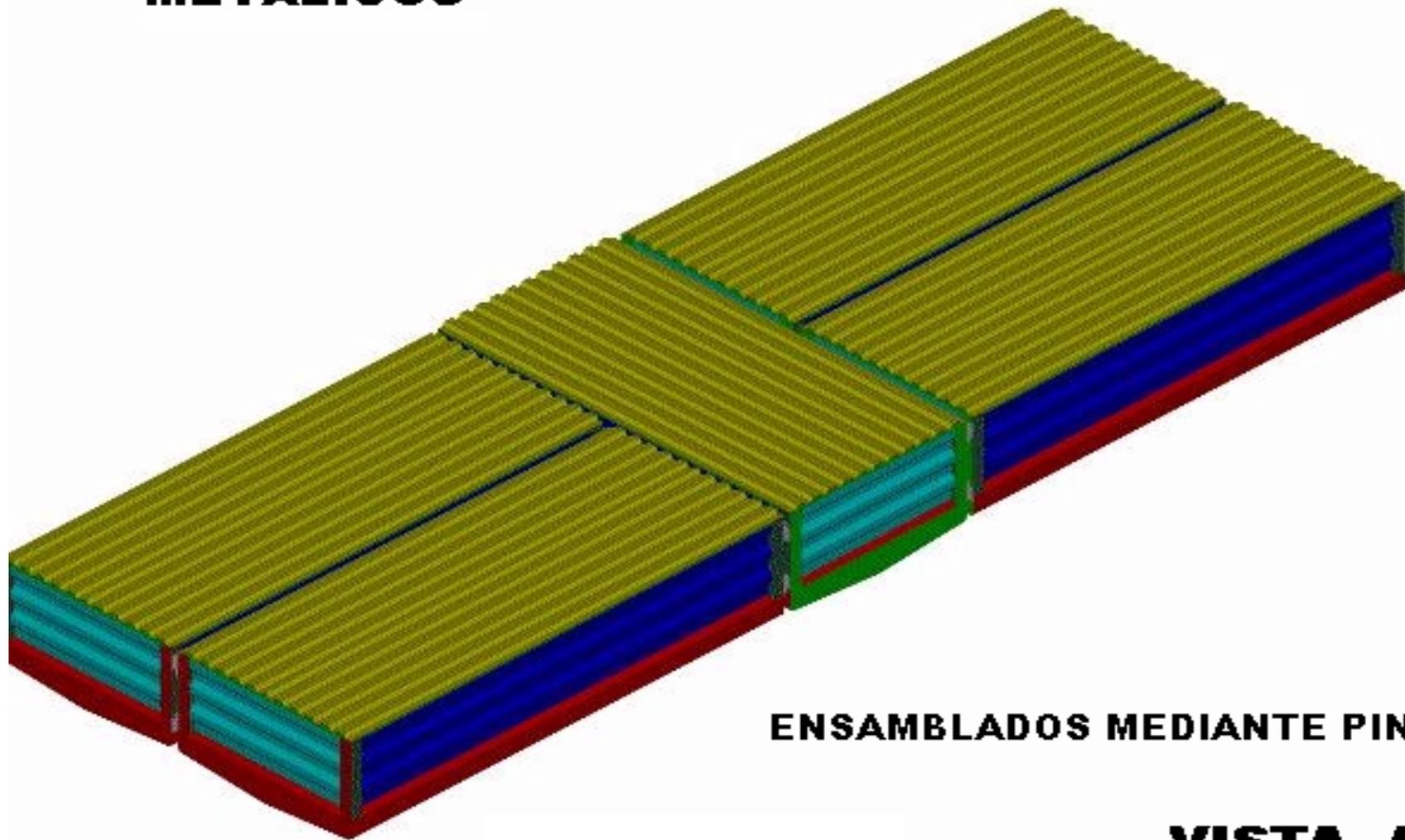


Fig. 2.19 Con Puente Peatonal Basculante

VISTA A1

CONJUNTO DE MODULOS METÁLICOS



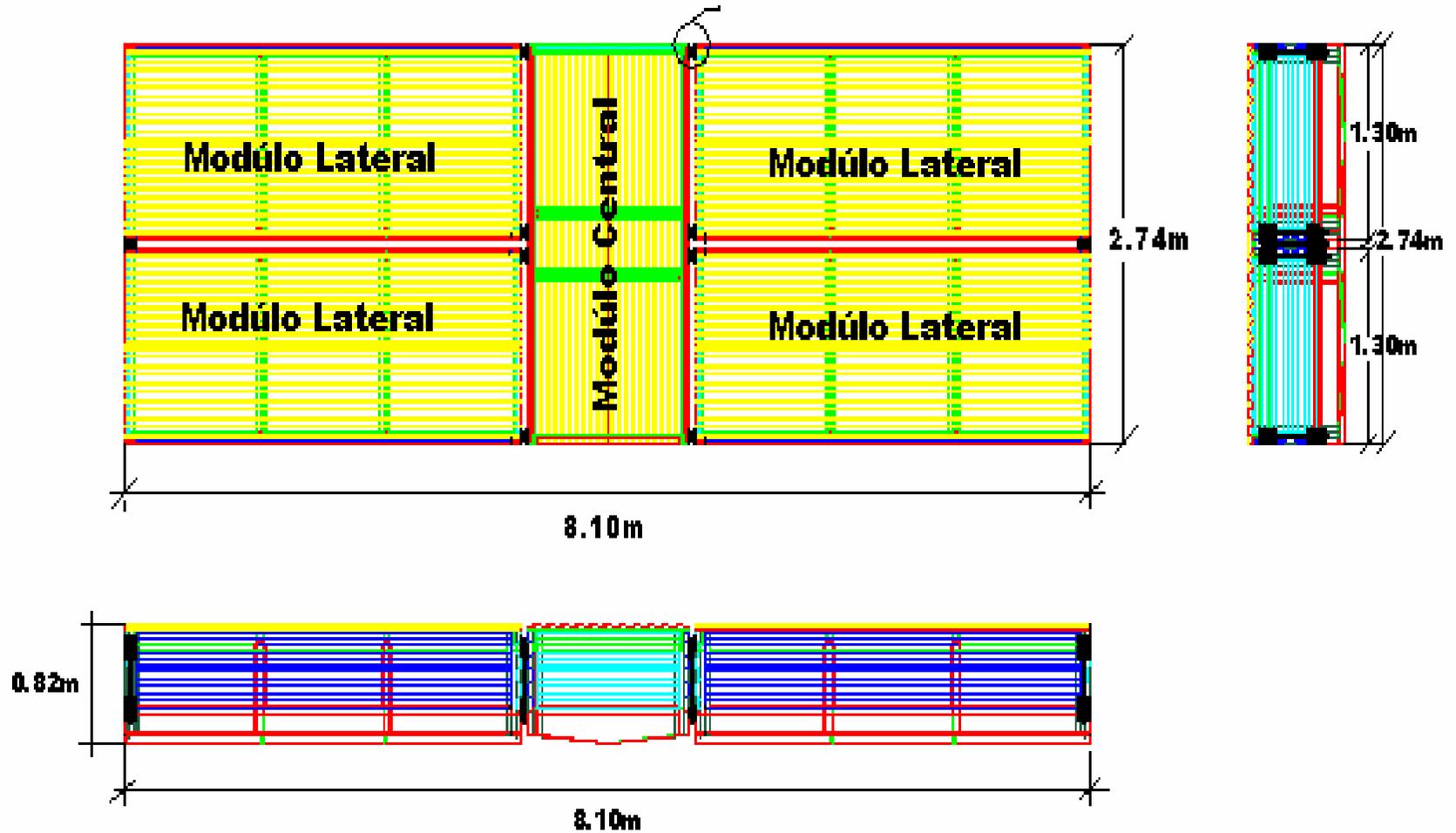
ENSAMBLADOS MEDIANTE PINES

VISTA A2

1

Fig. 2.20 Coniunto de Módulos

VISTAS DEL EMBARCADERO ENSAMBLADO



VISTA 3

Fig. 2.21 Embarcadero Ensamblado

Donde de la Fig. 2.16, Fig. 2.18 y Fig. 2.22:

AP = Perpendicular de popa

PP = Perpendicular de proa

Plano de crujía = Es el plano que corta al casco de la embarcación en dos partes iguales longitudinalmente.

Línea de base = Es la línea que forma la intersección del plano de crujía con el plano de construcción o de base.

Puntal = Calado + Francobordo

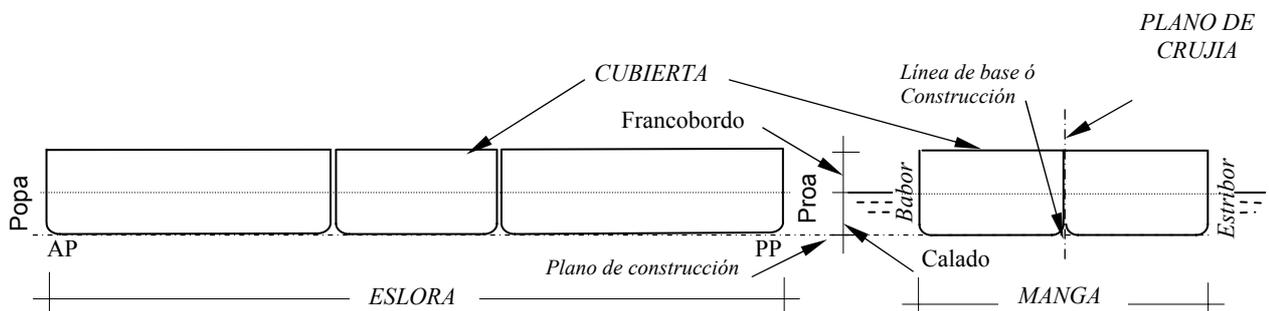


Fig. 2.22 Forma del casco del embarcadero flotante

2.3.2 Coeficientes de forma de la carena del embarcadero

Por la forma llena y homogénea adoptada por la carena, en este caso del embarcadero, no hemos considerado los coeficientes de forma de la carena, tales como el **Coeficiente total o bloque**, **coeficiente de flotación**, **coeficiente prismático o longitudinal**, **coeficiente de sección maestra**, son cuatro coeficientes

fundamentales que relacionan las medidas del paralelepípedo, con las reales.

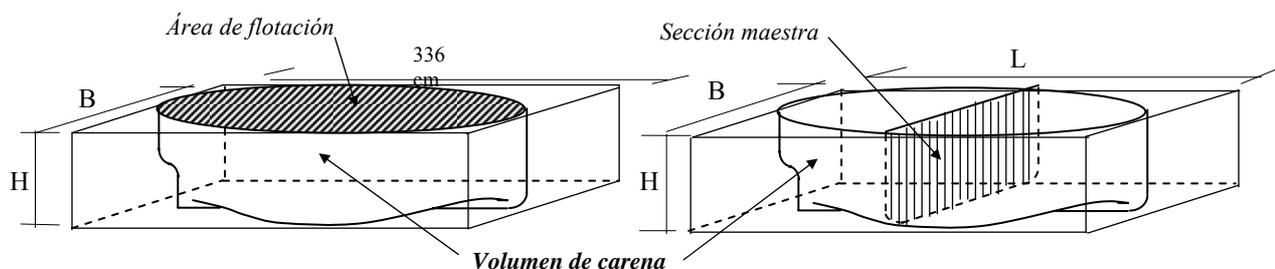


Fig.2.23 Área de flotación y sección maestra

2.3.3 Cálculo y Gráfico de la curva de desplazamiento

Para los efectos de obtener una curva de desplazamiento mas aproximada; dividiremos el puntal en “*n*” partes iguales, obteniéndose “*n*” volúmenes de desplazamiento, los cuales pueden graficarse fácilmente en función del caldo; calculando cada uno de estos volúmenes, como la sumatoria de los volúmenes parciales en que pueda ser descompuesto el volumen analizado “ V_i ”, ó utilizar un programa de computo, como puede ser el **Autocad**, que nos permite obtener directamente del dibujo en 3D los valores de superficie, volumen, inercia, entre otros

En nuestro caso del embarcadero, dividimos el puntal en 15 partes iguales, cada una de 0.82m/15, aproximadamente 5,47cm y; por comodidad de cálculo, definimos mangas de flotación medias y esloras de flotación medias, promedios, para los volúmenes en la zona acanalada del casco; correspondiendo luego, igual volumen,

para cada parte, sin tener en cuenta la diferencia de volúmenes debido a los dobleces del forro; de manera análoga, hacemos lo mismo para el caso de los módulos lateral y central, conforme apreciamos en la Fig. 2.24 Fig. 2.25.

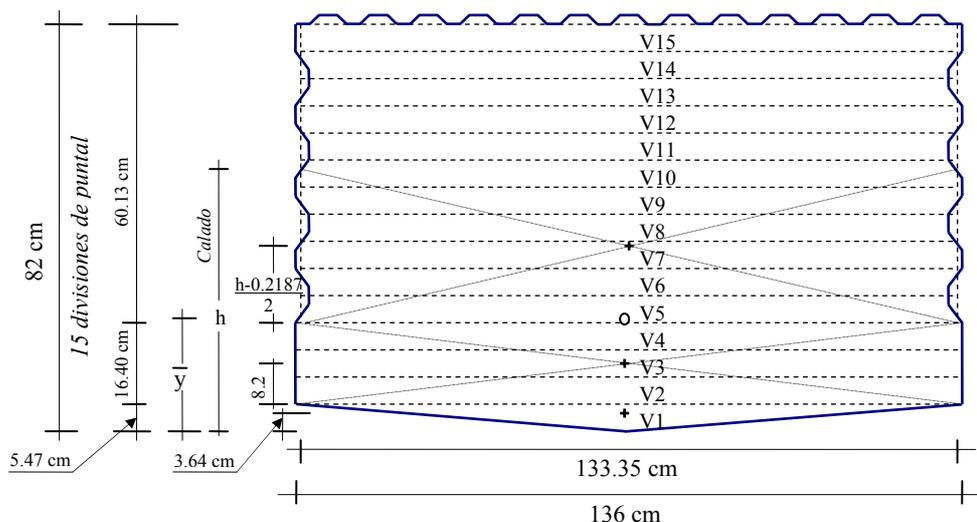


Fig. 2.24 Sección transversal de módulo flotador

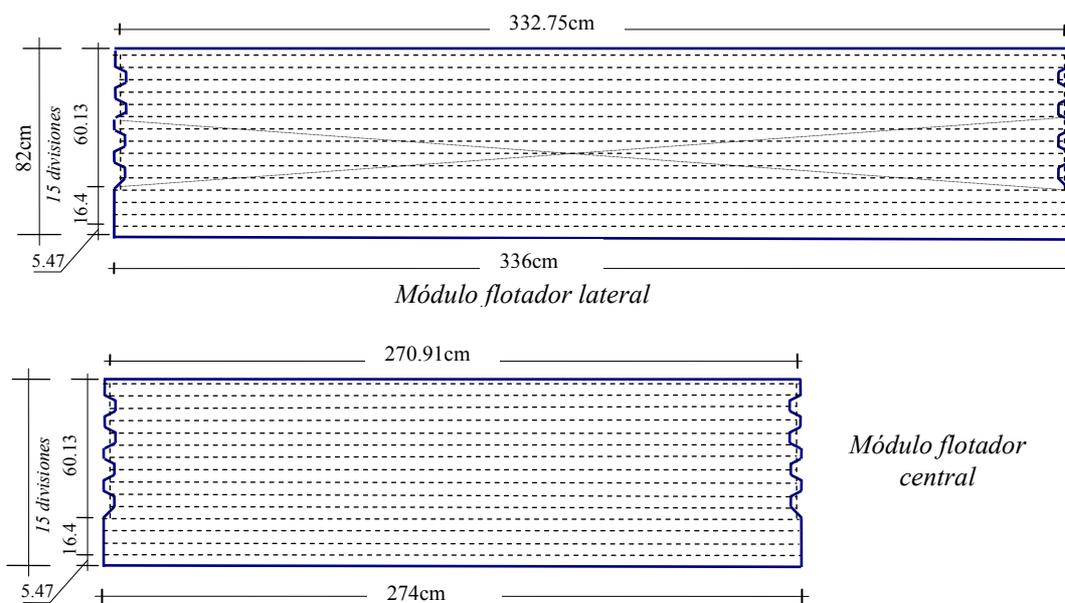


Fig. 2.25 Sección vertical de módulos flotadores, lateral y central

El volumen total, así como el de la carena del embarcadero, están constituidos por la sumatoria de todos los volúmenes que integran el conjunto en cuestión, como lo muestra la Fig. 2.26 cuatro módulos laterales más uno central; así mismo, observamos de las figuras 2.24 y 2.25, que no hemos considerado en ninguno de los casos, los volúmenes producidos por los dobleces del acanalado de la cubierta superior.

Manga media de flotación = $133.75 \times 2 = 266.70 \text{ cm}$

Manga máxima de flotación = 274 cm

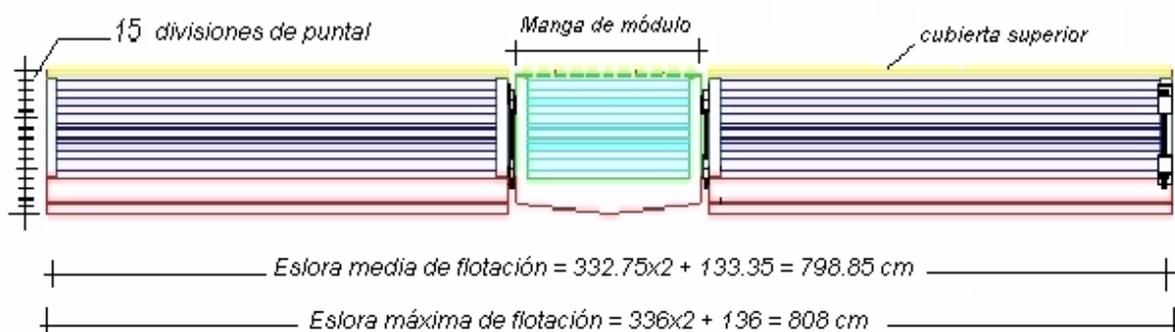


Fig. 2.26 Conjunto de módulos flotadores

Siguiendo el procedimiento descrito, calculamos el desplazamiento correspondiente para cada marca de calado fragmentado, es así que;

Tabla 1: Calados y desplazamiento, para el módulo lateral

FRAG	ALTURA (cm)	ESLORA (cm)	MANGA (cm)	VOLUMEN (m ³)	PESO (kg)	CALADO (cm)	DESPLAZ. (kg)
1	5.47	336	136	0.12490	124.90	5.47	124.90
2	5.47	336	136	0.24980	249.80	10.93	374.71
3	5.47	336	136	0.24980	249.80	16.40	624.51
4	5.47	336	136	0.24980	249.80	21.87	874.32
5	5.47	332.75	133.35	0.24257	242.57	27.33	1,116.88
6	5.47	332.75	133.35	0.24257	242.57	32.80	1,359.45
7	5.47	332.75	133.35	0.24257	242.57	38.27	1,602.02
8	5.47	332.75	133.35	0.24257	242.57	43.73	1,844.59
9	5.47	332.75	133.35	0.24257	242.57	49.20	2,087.16
10	5.47	332.75	133.35	0.24257	242.57	54.67	2,329.73
11	5.47	332.75	133.35	0.24257	242.57	60.13	2,572.29
12	5.47	332.75	133.35	0.24257	242.57	65.60	2,814.86
13	5.47	332.75	133.35	0.24257	242.57	71.07	3,057.43
14	5.47	332.75	133.35	0.24257	242.57	76.53	3,300.00
15	5.47	332.75	133.35	0.24257	242.57	82.00	3,542.57

(*) Para hallar el desplazamiento correspondiente a una marca ubicada entre dos fragmentos usamos el método de interpolación.

Tabla 2: Calados y desplazamiento, para el módulo central

FRAG	ALTURA (cm)	ESLORA (cm)	MANGA (cm)	VOLUMEN (m ³)	PESO (kg)	CALADO (cm)	DESPLAZ. (kg)
1	5.47	274	136	0.10185	101.85	5.47	101.85
2	5.47	274	136	0.20371	203.71	10.93	305.56
3	5.47	274	136	0.20371	203.71	16.40	509.27
4	5.47	274	136	0.20371	203.71	21.87	712.98
5	5.47	270.91	133.35	0.19749	197.49	27.33	910.47
6	5.47	270.91	133.35	0.19749	197.49	32.80	1,107.96
7	5.47	270.91	133.35	0.19749	197.49	38.27	1,305.45
8	5.47	270.91	133.35	0.19749	197.49	43.73	1,502.94
9	5.47	270.91	133.35	0.19749	197.49	49.20	1,700.42
10	5.47	270.91	133.35	0.19749	197.49	54.67	1,897.91
11	5.47	270.91	133.35	0.19749	197.49	60.13	2,095.40
12	5.47	270.91	133.35	0.19749	197.49	65.60	2,292.89
13	5.47	270.91	133.35	0.19749	197.49	71.07	2,490.38
14	5.47	270.91	133.35	0.19749	197.49	76.53	2,687.86
15	5.47	270.91	133.35	0.19749	197.49	82.00	2,885.35

Calculamos el peso del fragmento de puntal del embarcadero como: cuatro veces el peso del fragmento del módulo lateral correspondiente, más una vez el peso del fragmento del módulo central.

Tabla 3: Calados y desplazamiento, para el conjunto

FRAG	ALTURA (cm)	PESO MÓD. LATERAL	PESO MÓD. CENTRAL	PESO TOT (kg)	CALADO (cm)	DESPLAZAMIENTO (kg)
1	5.47	124.90	101.85	601.46	5.47	601.46
2	5.47	249.80	203.71	1202.93	10.93	1,804.39
3	5.47	249.80	203.71	1202.93	16.40	3,007.32
4	5.47	249.80	203.71	1202.93	21.87	4,210.25
5	5.47	242.57	197.49	1167.76	27.33	5,378.01
6	5.47	242.57	197.49	1167.76	32.80	6,545.77
7	5.47	242.57	197.49	1167.76	38.27	7,713.53
8	5.47	242.57	197.49	1167.76	43.73	8,881.29
9	5.47	242.57	197.49	1167.76	49.20	10,049.05
10	5.47	242.57	197.49	1167.76	54.67	11,216.81
11	5.47	242.57	197.49	1167.76	60.13	12,384.57
12	5.47	242.57	197.49	1167.76	65.60	13,552.33
13	5.47	242.57	197.49	1167.76	71.07	14,720.09
14	5.47	242.57	197.49	1167.76	76.53	15,887.86
15	5.47	242.57	197.49	1167.76	82.00	17,055.62

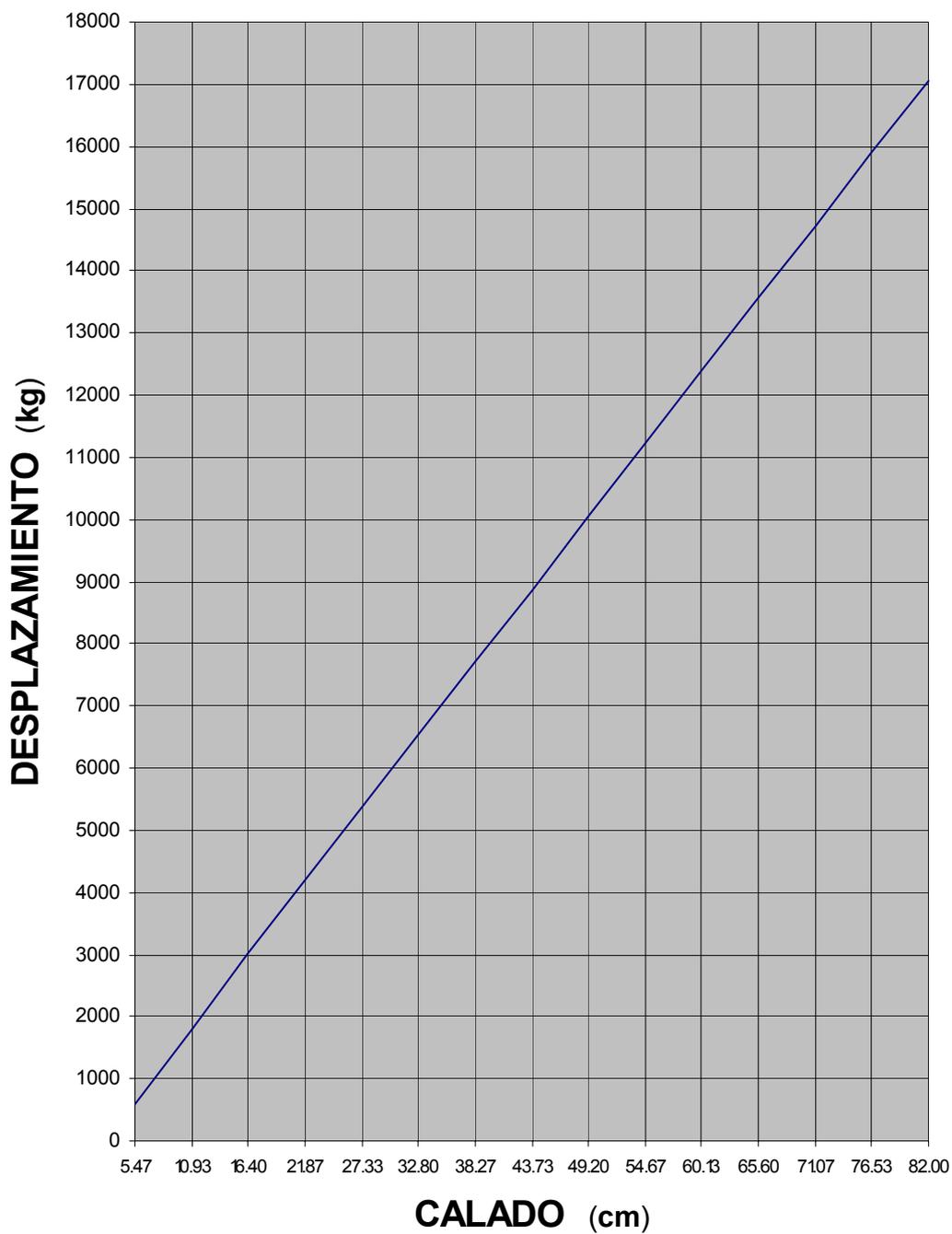
A un desplazamiento de 10,910kg corresponderá, interpolando, un calado de:

$$\text{Calado} = 49,2 + (10,910 - 10,049.05) \times 5,47 / (11,216.81 - 10,049.05)$$

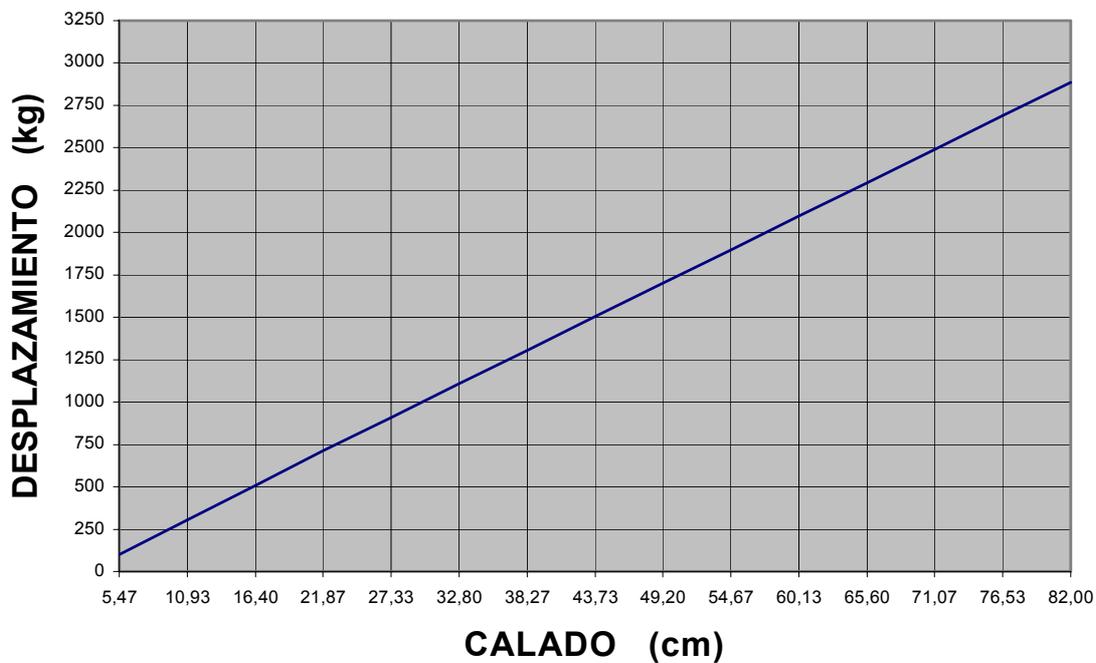
$$= 53,23 \text{ cm} \qquad \text{OK} \qquad (5.0)$$

Para la elaboración del gráfico Desplazamiento vs. Calado, agruparemos en la ordenada, los desplazamientos obtenidos y en la absisa, cada una de las divisiones del puntal; similarmente haremos para el caso de cada módulo.

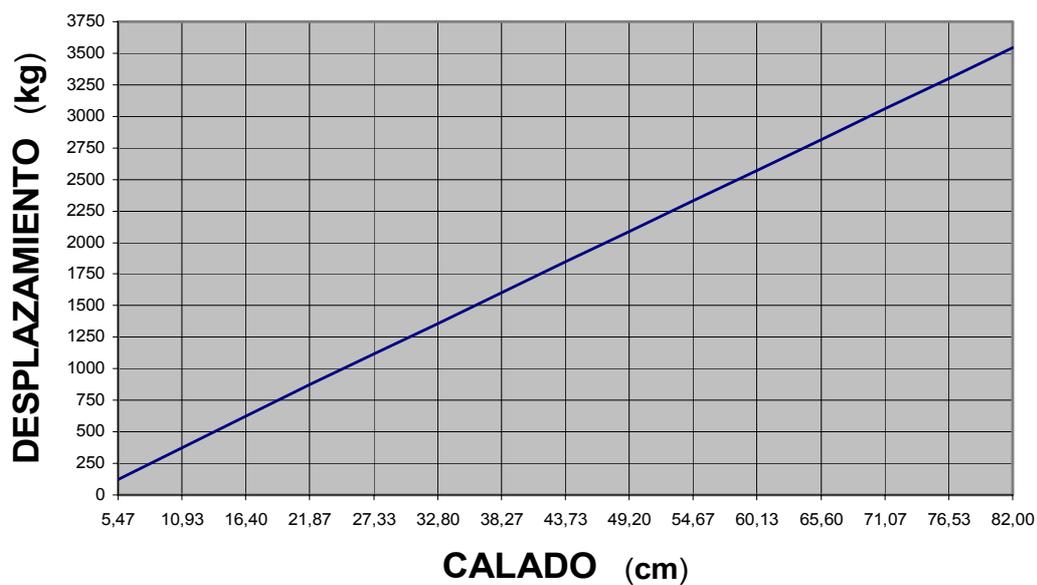
CURVA DE DESPLAZAMIENTO DEL EMBARCADERO



CURVA DE DESPLAZAMIENTO DEL MÓDULO CENTRAL



CURVA DE DESPLAZAMIENTO DEL MÓDULO LATERAL



CAPÍTULO III

DISEÑO DEL EMBARCADERO

3.1 CALCULO DE LA ESTRUCTURA

El embarcadero, en el río, está sometido a ciertos *esfuerzos* originados por la acción de causas externas o internas debiendo, por ello, ser capaz de soportar esos esfuerzos con razonable margen de seguridad.

Los esfuerzos analizados en el embarcadero son:

- a) Esfuerzos del embarcadero como estructura integral o *esfuerzos estructurales*
- b) Esfuerzos sobre partes determinadas del embarcadero o *esfuerzos locales*.

Las secciones de los perfiles y chapas del forro externo o casco y de la cubierta superior, han sido diseñadas tomando en consideración lo siguiente:

3.1.1 Material a usar:

Acero estructural A-283C

COMPOSICIÓN QUÍMICA EN LÁ COLADA:

GRADO	RESISTENCIA A LA TRACCION MÍNIMO		LIMITE DE FLUENCIA MÍNIMO (Fy)		ALARGAMIENTO MÍNIMO en 200 mm - %
	Kgs/mm ²	kg/mm ²	Lbs/pulg ²	kg/mm ²	
A	45000-55000.....	31.6-38.7	24000	16.9	27
B	50000-60000	35.2-42.2	27000	19.0	25
C	55000-65000	38.7-45.7	30000	21.1	22
D	60000-72000	42.2-50.6	33000	23.2	20

FÓSFORO	Máx.	0.04 %
AZUFRE	Máx.	0.05 %

PROPIEDADES MECÁNICAS

3.1.2 Fuerzas Actuantes:

- Peso propio
- Peso de la cargas vivas distribuidas
- Cargas concentradas (puente de acceso en las conexiones al embarcadero)
- Empuje

Costo: Depende básicamente de la geometría del elemento.

3.1.3 Restricciones de Diseño:

- **Esfuerzo admisible:** $0,60F_y$

- **Flecha ó pandeo admisible:** Generalmente, L/400, según sea el caso
- **Factor de corrosión:** Espesor mínimo 1/8" (3,00mm)
- **Factor de seguridad:** 1,4

Como la embarcación es fija, ubicada convenientemente a orillas, no surca el río y no está sometida generalmente a impactos de palizada, además de ser una embarcación particularmente pequeña, de poquísimo calado y poco desplazamiento (5 TN, *carga útil*), no se hizo necesario ahondar los cálculos por factores de impacto, ni hidrodinámicos.

3.1.4 Esfuerzos estructurales longitudinales

El embarcadero, para el estudio de su resistencia, ha sido concebido como una viga tubular continua flotante, soportada en toda su extensión por el agua. Dividiendo hipotéticamente el embarcadero en secciones de proa a popa, obtenemos resultantes de las fuerzas actuantes (peso propio, carga, empuje, etc.) en cada sección, dirigidas hacia arriba o hacia abajo que, a su vez, originan tensiones internas perfectamente determinables por los métodos de resistencia de materiales; existiendo *momentos flectores* y *esfuerzos* cortantes a lo largo del embarcadero, alcanzando el momento flector su máximo valor en el centro del embarcadero y el

esfuerzo de corte será máximo en puntos ubicados a $\frac{1}{4}$ de la eslora desde los extremos.

Se supuso como hipótesis de disposición de las cargas actuantes, 02 alternativas:

- a) Que la carga viva total se distribuya uniformemente a lo largo del embarcadero
- b) Que la carga viva total se distribuya uniformemente solo en el módulo central del embarcadero, causando así un mayor esfuerzo en la zona central.

Aplicándose en ambos casos, la carga concentrada del peso del puente de acceso, en las conexiones, incluyendo una supuesta carga viva de tránsito peatonal de 300kg/m. Concluimos que la segunda alternativa, se ajusta a lo real y ofrece los mayores esfuerzos:

Donde:

$$\omega = 5,000/1,3684 \text{ kg/m}$$

$$Q = 2,410 \text{ kg}$$

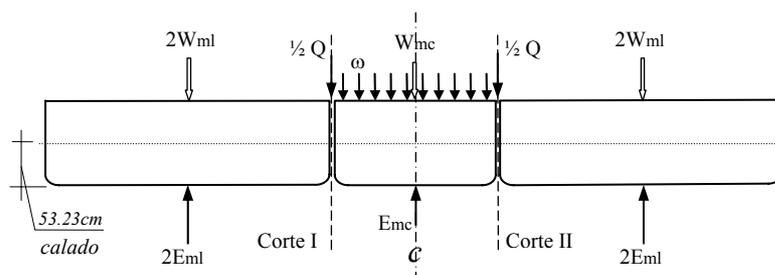


Fig. 3.1 Fuerzas actuantes

Para el calado de 53,23cm, se interpolaron los desplazamientos de las tablas I y II:

$$\begin{aligned} \text{Empuje } m_l &= 2\,087,16 + (53,23 - 49,20)(2\,329,73 - 2\,087,16) / 5,47 \\ &= 2\,265,87\text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Empuje } m_c &= 1\,700,42 + (53,23 - 49,20)(1\,897,91 - 1\,700,42) \\ & / 5,47 = 1\,846\text{kg} \end{aligned}$$

Resultantes de fuerzas actuantes en las secciones 1, 2, 3 y; concentradas en conexiones:

	PESO PROPIO	CARGA VIVA	EMPUJE	RESULTANTE	CONCENTRADA
SECCION 1	-1454.26kg	0.00kg	4531.74kg	3077.48kg	-1205.00kg
SECCION 2	-591.48kg	-5000.00kg	1846.00kg	-3745.48kg	
SECCION 3	-1454.26kg	0.00kg	4531.74kg	3077.48kg	-1205.00kg

Hallamos el momento flector y la flecha al centro, con la disposición mostrada en la Fig. 3.2:

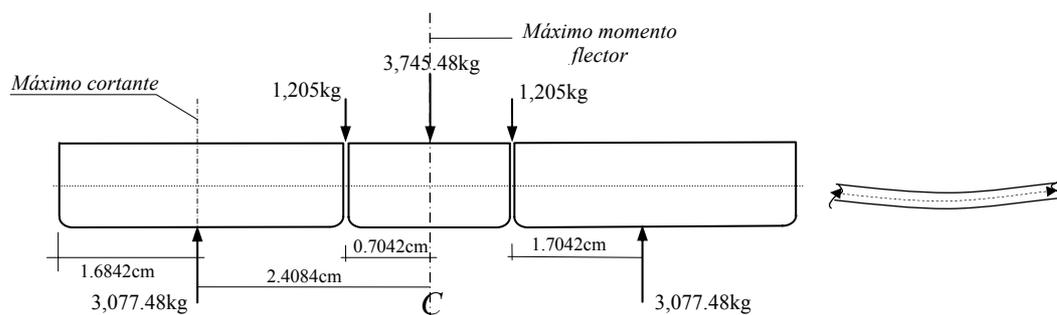


Fig. 3.2 Momento flector y flecha

Los cálculos del momento flector máximo “fl máx (centro)”, módulo resistente “s req”, flecha al centro “fl máx (centro)”; Momento

de inercia (I_{xx}), módulo capaz resistente (s_{bott} , s_{top}) obtenidos de la geometría de la viga-embarcadero, se exhiben en la hoja de cálculo como cuadro N°1; de los resultados, queda claro, que la estructura está sobre dimensionada.

s tot, req. x =	518.69 cm ³	como es < que	6141.64 cm ³	Es OK!
Flecha limite x =	2.05 cm	como es > que	0.06 cm	Es OK!

Por los resultados, apreciamos que la viga-embarcadero, como viga hueca, sí bien es apta para resistir esfuerzos longitudinales considerables, sería altamente deformable en el sentido transversal dado que su espesor es muy pequeño con respecto a sus dimensiones, por lo que debe ser reforzada por elementos transversales y longitudinales que formen un esqueleto, sobre el cual fijar el forro.

3.1.5 Esfuerzos estructurales Transversales

Estos esfuerzos se deben principalmente a la presión del agua y a la deformación transversal por esfuerzo de inercia; *el primero*, absorbido por el casco, forro externo del fondo y de los costados, que tienden a ser hundidos por la presión hidrostática que actúa sobre la obra viva, distribuyéndose conforme muestra la Fig. 3.3; por tanto, son calculados de modo que en conjunto con los elementos que lo sostienen (cuadernas, longitudinales del fondo,

varengas, quilla, etc.), resistan dicha presión y; *el último*, absorbido por los marcos estructurales y sus conexiones

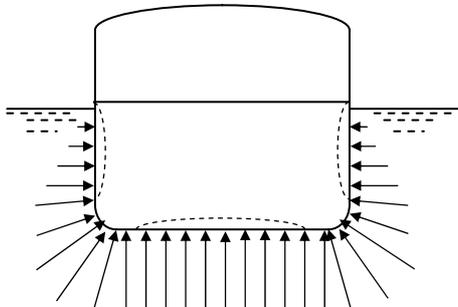


Fig. 3.3 Esfuerzos estructurales transversales

Para ocasionar mayor esfuerzo en el forro del fondo, supuse el **embarcadero totalmente sumergido**, debido a la mayor presión hidrostática y; para calcular el esfuerzo, apliqué las fórmulas de la tabla 3-1 de esfuerzos y flechas para placas planas de R.J. Roark, sobre la mayor superficie libre.

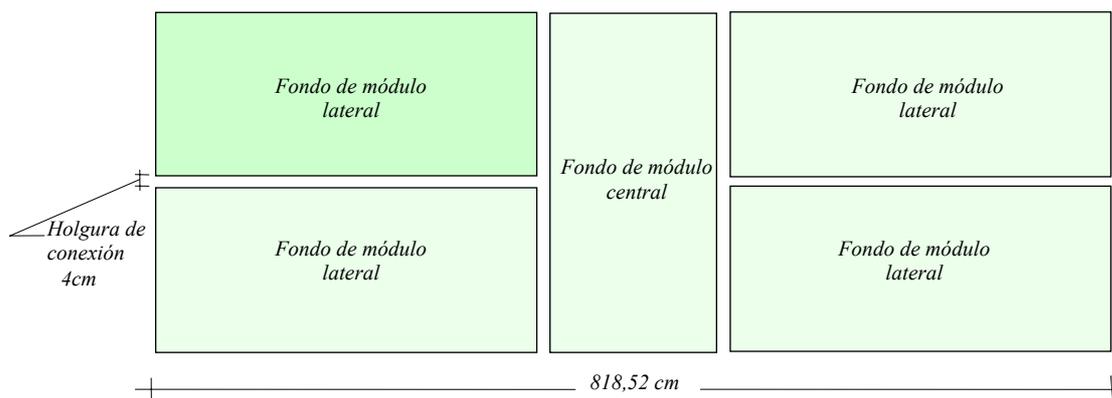


Fig. 3.4 Embarcadero totalmente sumergido

En el esquema mostrado en la Fig. 3.4, apreciamos, que la mayor superficie libre corresponde al módulo lateral, por lo que luego de algunos sucesivos tanteos aplicando la fórmula de esfuerzos y flechas, para placas planas, rectangulares, uniformemente cargadas con todos los bordes apoyados; dividimos ésta área, en secciones rectangulares de menor dimensión, según la Fig. 3.5, de modo que las líneas divisorias, nos representan, los perfiles de apoyo de refuerzo interior del forro del fondo del módulo.

3.2 CÁLCULO DEL CASCO DEL MÓDULO

3.2.1 Cálculo del Forro del Fondo del Casco

Sobredimensionamos el forro del fondo con un espesor de 4.00mm para garantizar la durabilidad del mismo, teniendo en cuenta que en muchas ocasiones, sobre todo en épocas de estiaje, el embarcadero, puede quedar varado y; al ponerlo nuevamente en operación, el efecto de raspado debido al rozamiento con la arena y el ambiente agresivo, aumentan la posibilidad de corrosión sobre el fondo, además, el mayor espesor, refuerza la parte baja de los costados del casco, que es continuación del forro del fondo; soportando mejor la presión hidrostática e impactos, reduciendo, cordones de soldadura y el peralte del panel acanalado de espesor 3.00mm, colocado como continuación del forro en los cos costados del casco.

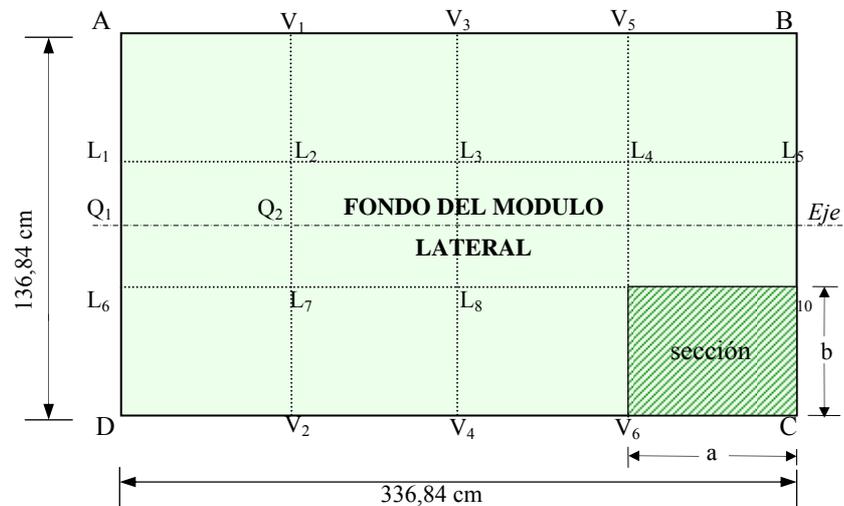


Fig. 3.5 Fondo del módulo lateral

De la Fig.3.5 tenemos que;

- Varengas son:** $V_1V_2=V_3V_4=V_5V_6$
- Carlingas son:** $L_1L_2=L_2L_3=L_3L_4=...=L_9L_{10}$
- Quilla vertical es:** $Q_1Q_5=Q_1Q_2+ Q_2Q_3+ Q_3Q_4+ Q_4Q_5$
- $a = 336,84/4 = 84,21 \text{ cm}$
- $b = 136,84/3 = 45,61 \text{ cm}$

Si el módulo lateral está totalmente sumergido, el calado es 82cm y de la tabla I, el desplazamiento sería 3 542,57kg, donde, la carga repartida ω en psi (lb/plg^2) es:

$$\omega = 3,542.57\text{kg} / \text{Área} = 3\ 542,57\text{kg} / (84,21 \times 45,61)\text{cm}^2 \times$$

$$2,54^2 / 0,4536 = 1\ 093\text{psi}$$

Cálculo del esfuerzo considerando 12 secciones, para un espesor $t = 4\text{mm}$:

PLACAS PLANAS RECTANGULARES		
$\mu = 0.3$	$t = 4.00\text{mm}$	$E = 29000000 \text{ lb/plg}^2$
ω	Peso / Área (lb/plg ²)	1.09 lb/plg ²
a	lado mayor (plg)	33.15 plg
b	lado menor (plg)	17.96 plg
α	b / a	0.54
σ	$0.75\omega b^2 / t^2(1+1.61\alpha^3)$	8,489.03 lb/plg ²
y máx	$0.1422\omega b^4 / Et^3(1+0.21\alpha^3)$	0.13813 plg

El esfuerzo y flecha al centro resultan óptimos para el espesor elegido de 4mm.

$$\sigma_{adm} = 60\% 30\,000\text{psi}$$

$$\sigma_{adm} = 18\,000\text{psi}$$

$8\,489.03\text{psi} < 18\,000\text{psi}$ **OK!**

Los elementos de refuerzo del casco y de la cubierta han sido dimensionados en cada caso, con adecuado margen de seguridad y de acuerdo con lo enseñado por la resistencia de materiales, la teoría de la elasticidad, etc., sobre la base de distintas hipótesis simplificativas.

3.2.2 Cálculo de los refuerzos del forro del fondo

Considerando, que los esfuerzos locales producidos por cargas concentradas internas, externas y de impacto, afectan zonas limitadas del embarcadero, se hizo necesario sobredimensionar los refuerzos del fondo, con el fin de dar apoyo holgado a los marcos formados por las esloras de cubierta y las cuadernas tipo puntal de las esquinas del casco; para ello se estableció hipotéticamente, que la carga total sea soportada estructuralmente por un solo módulo (*e/lateral*); teniéndose, como área de influencia del total de la carga del

embarcadero, un área equivalente al área de la superficie de cubierta del módulo, tal como lo muestra la Fig. N° 3.6.

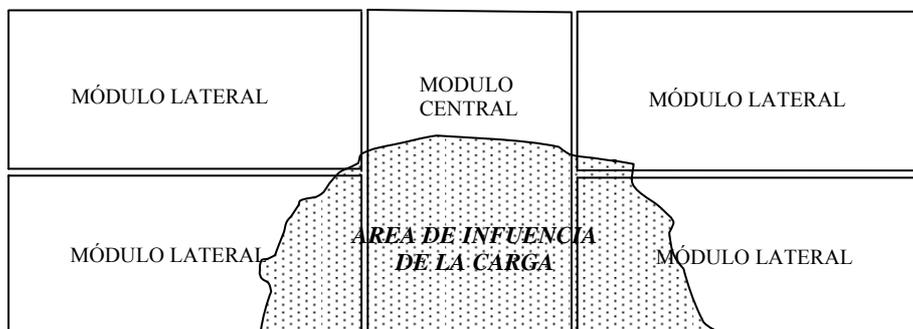


Fig. 3.6 Localización Hipotética de Carga

3.2.2.1 Esfuerzos transversales del fondo (Varengas)

De la Fig. 3.6, transversalmente, el módulo puede considerarse dividido en 04 secciones, donde, cada varenga soporta la mitad de la carga de las secciones adyacentes al perfil; siendo, la longitud efectiva del perfil, la luz libre, es decir; descontado en ambos extremos, el espesor de la plancha del forro del casco.

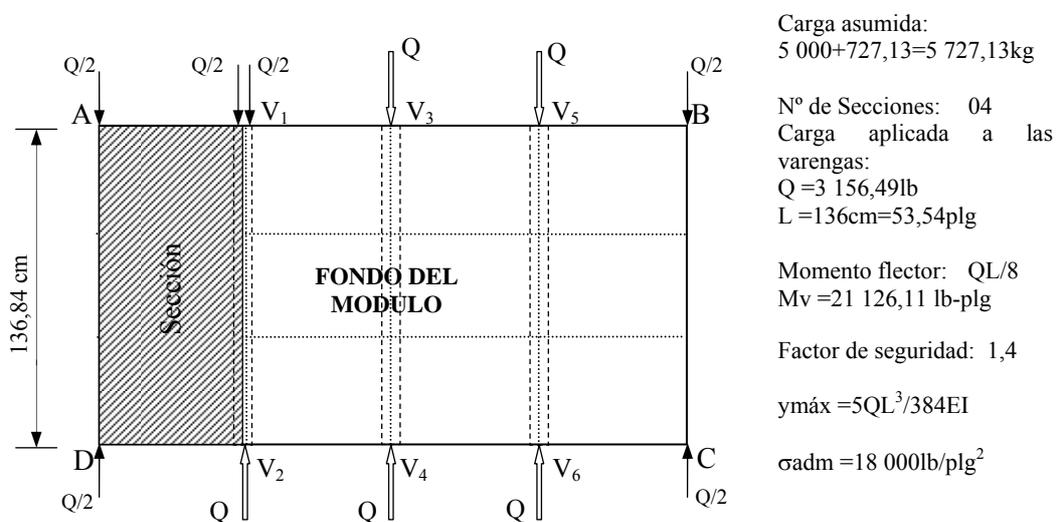


Fig. 3.7 Fondo del módulo (sección)

Flecha máxima admisible: $(fladm) = L/400 = 53,54 / 400$

$$= 0,134\text{plg}$$

Módulo resistente requerido: $(sreq) = 21\ 126,11 \times 1,4 / 18\ 000$

$$= 1\ 643\ \text{plg}^3.$$

Inercia mínima requerida: (Ixx)

$$= 5 \times 3\ 156,49 \times 53,54^3 / (384 \times 29 \times 10^6 \times 0,134) = 1\ 623\ \text{plg}^4$$

3.2.2.2 Refuerzos longitudinales del fondo (Carlingas y quilla vertical)

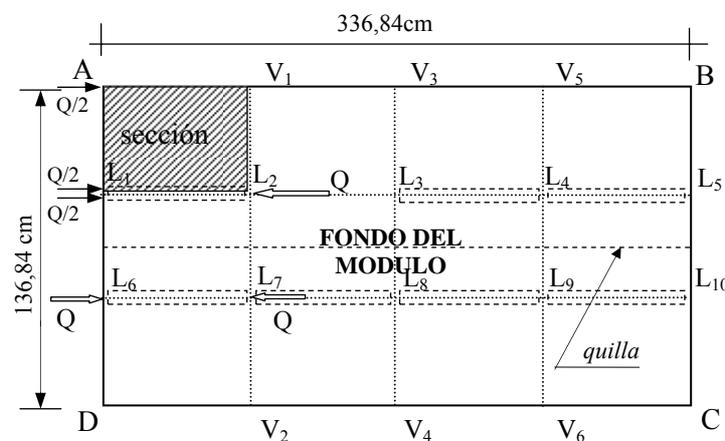


Fig. 3.8 Fondo del módulo (Sección)

Nº de Secciones: 12 Factor de seguridad: 1,4

Carga aplicada a las carlingas:

$$Q = 12\ 625,95\text{lb} / 12 = 1\ 052,16\text{lb} \quad y_{\text{máx}} = 5QL^3 / 384EI$$

$$L = 336\text{cm} / 4 = 33,07\text{plg}$$

$$\text{Momento flector: } QL/8 \quad \sigma_{\text{adm}} = 18\ 000\text{lb/plg}^2$$

$$ML = 4\ 349,49\text{lb-plg}$$

$$\begin{aligned} \text{Flecha máxima admisible: (fladm)} &= L/400 = 53.54 / 400 \\ &= 0.0827\text{plg} \end{aligned}$$

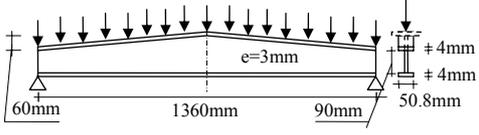
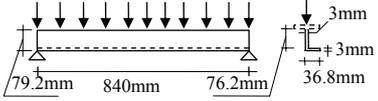
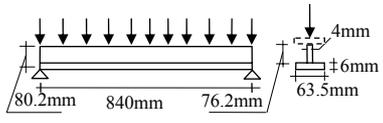
$$\begin{aligned} \text{Módulo resistente requerido: (sreq)} &= 4,349.49 \times 1.4 / 18,000 \\ &= 0.338 \text{ plg}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inercia mínima requerida: (Ixx)} &= 5 \times 1,052.61 \times 33.07^3 / \\ &= (384 \times 29 \times 10^6 \times 0.0827) = 0,207 \text{ plg}^4 \end{aligned}$$

Para el cálculo del perfil requerido para la quilla vertical, como refuerzo, ante *esfuerzos locales* por varadura, asumimos el total de la carga, es decir 5 727,13 kg = 12 625,95lb, distribuidas a las 04 secciones de quilla, limitando la flecha en el centro de cada perfil, a $L/400 = 0,0827$ plg. y; con éste valor obtenemos la Inercia mínima requerida.

Q=	3,156.49lb,	MQ=QL/8=	13,048.13lb-plg,	SQ req=	1.015plg ³
L=	33.07plg,	Flecha máx=	0.0827plg,	Ixx req=	0.62plg ⁴

Perfiles de acero A-283C, usados para los refuerzos del fondo del casco:

PERFIL	FORMA GEOMETRICA	\bar{y} (plg)	INERCIA I_{xx} (plg ⁴)	Módulo resistente S_{bott} (plg ³)
VARENGA		2.687	7.356	2.738
CARLINGA		1.11	0.546	0.492
QUILLA		0.837	1.044	1.247

Como en la práctica, los perfiles están asociados a la plancha del forro de 4,0mm; ésta, colabora aportando una franja de la zona conectada, como si fuese un súper-patín superior de los perfiles, que para efecto de cálculos más conservadores, no hemos tomado en cuenta.

Es decir, los refuerzos, conectados a la plancha del forro del casco mediante cordones de soldadura, son más resistentes, por la inercia adicional que aporta la franja de patín asociada al perfil en cuestión; comportándose en conjunto, como una sección compuesta.

Los cálculos de las varengas, de sección variable, están referidos a la sección central de la misma. Así mismo; en los cálculos precedentes, los perfiles seleccionados para

reforzar el forro del fondo del casco, resultaron satisfactorios, como se puede comprobar:

Refuerzo	Momento de inercia I_{xx} (plg^4)				Módulo resistente S_{xx} (plg^3)			
VARENGA	7 356 plg^4	>	1 623 plg^4	OK!	2 738 plg^3	>	1 643 plg^3	OK!
CARLINGA	0,546 plg^4	>	0,207 plg^4	OK!	0,492 plg^3	>	0,338 plg^3	OK!
QUILLA V.	1 044 plg^4	>	0,62 plg^4	OK!	1 247 plg^3	>	1 015 plg^3	OK!

(*) Chequeamos el esfuerzo en el forro del fondo del casco, para el espesor asumido de 4,0mm y la acción de la carga total de 5 727,13kg, comprobandose satisfactoriamente, que el esfuerzo de 13 723,88psi obtenido, es menor, que el admisible de 18 000psi.

3.2.2.3 Esfuerzos Locales

Los módulos flotadores, son bodegas cerradas, tipo bóvedas independientes, donde las cargas vivas, concentradas, distribuidas y/o combinadas; reposan temporalmente, **sobre** la plataforma de la cubierta superior.

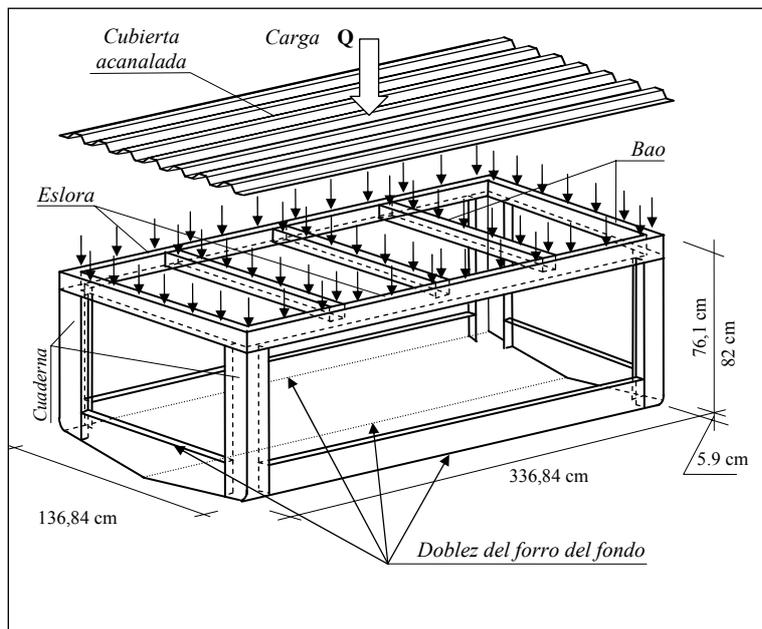


Fig. 3.9 Vista isométrica del módulo

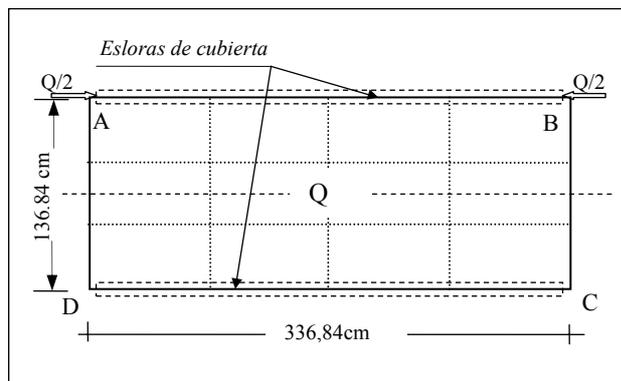
Si la carga viva, es soportada por la plataforma de *cubierta* y; ésta, a su vez, por las paredes de los costados del casco que la sostiene, hipotéticamente, podemos idealizar con holgura, que esta carga, en los costados sea soportada por los forros de los mismos (alma), unidos a las *Esloras de cubierta* (ala superior), considerando el conjunto, como vigas longitudinales; atiesadas verticalmente por las *Cuadernas* y longitudinalmente por el fondo del casco, como si fuesen paneles que, riostrados con los *Baos* (vigas transversales), constituyen, el esqueleto del módulo.

Ésta hipótesis, considera que los costados de estribor y de babor, soportan la carga, y que los costados de proa y de popa, dan apoyo lateral conjuntamente con los baos de

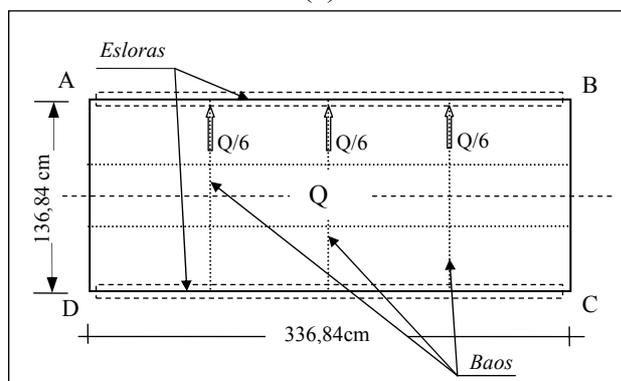
riostre, sin embargo; el mismo análisis, es realizado en sentido inverso, para comprobar, la capacidad de resistir la carga, en los paneles de proa y de popa.

3.3 CÁLCULO DE LOS COSTADOS DEL CASCO

Asumiendo que los costados soportan el total de la carga y; con el fin de dimensionar, con margen de seguridad, los elementos que conforman los paneles de los costados del casco del módulo, hicimos las siguientes hipótesis simplificativas a y b, mostradas en la Fig. 3.10, para la carga de 5 727,13kg:

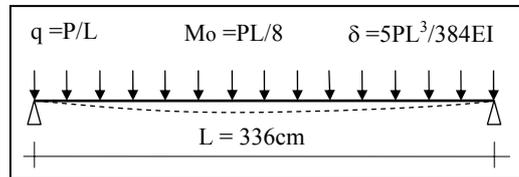


(a)



(b)

Fig. 3.10 Los costados del casco

Caso a:

$$P = Q/2 = 5\,727,13/2 = 2\,863,57\text{kg} = 6\,312,97\text{lb}$$

$$L = 336\text{cm} = 132,28\text{plg}$$

$$M_o \text{ flector} = 6\,312,97 \times 132,28/8 = 104\,384,96\text{b-plg}$$

Factor de seguridad: 1,4

$$\sigma_{\text{adm}} = 18\,000\text{lb/plg}^2$$

$$\text{Flecha máxima admisible: } (f_{\text{adm}}) = L/500 = 132,28/500 = 0,265\text{plg}$$

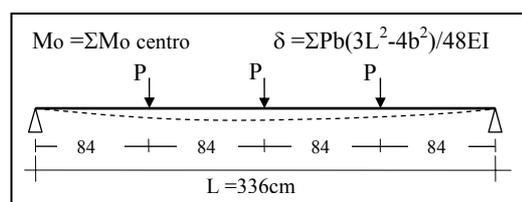
Módulo resistente requerido: (S_{req})

$$= 104\,384,96 \times 1,4 / 18\,000 = 8,119\text{plg}^3$$

Inercia mínima requerida: (I_{xx})

$$= 5 \times 6\,312,97 \times 132,28^3 / (384 \times 29 \times 10^6 \times 0,265)$$

$$= 24,758\text{plg}^4$$

Caso b:

$$P = Q/6 = 5\,727,13/6 = 954,52\text{kg} = 2\,104,33\text{lb}$$

$$L = 336\text{cm} = 132,28\text{plg}$$

$$M_o \text{ flector} = \Sigma M_o \text{ centro} = 139\,183,68 \text{ lb-pulg}$$

Factor de seguridad: 1,4

$$\sigma_{adm} = 18\,000 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\text{Flecha máxima admisible: } (f_{adm}) = L/500 = 132,28/500 = 0,265 \text{ pulg}$$

$$\begin{aligned} \text{Módulo resistente requerido: } (s_{req}) &= 139\,183,68 \times 1,4 / 18\,000 \\ &= 10\,825 \text{ pulg}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inercia mínima requerida: } (I_{xx}) &= 8\,790 + 12\,786 + 8\,790 \\ &= 30\,367 \text{ pulg}^4 \end{aligned}$$

Con el fin de obviar las serretas (refuerzos longitudinales del forro) y las cuadernas intermedias (refuerzos verticales del forro), se optó por reforzar el forro, acanalando longitudinalmente las planchas de acero estructural A283C y 3mm de espesor; basándonos, en que la embarcación, al ser fija, no requiere líneas suaves y continuas en su forma y; que el acanalado proveído al forro, sustituye con creces, a los refuerzos convencionales.

En vista que, la hipótesis planteada en el caso b, exige mayores requerimientos, consideramos los de ésta, como mínimos a satisfacer por la sección geométrica de los costados del casco; obviando por facilidad de cálculo en la inercia, el acanalado del forro.

Propiedades de la sección del forro en los costados del casco:

PANEL	FORMA GEOMETRICA	y^- (plg)	INERCIA I_{xx} (plg ⁴)	Módulo resistente S_{bott} (plg ³)
LATERAL caso (b)		18,71	435,954	23,305

Como las propiedades de la sección geométrica analizada, son mayores que las requeridas por las cargas a las que es sometida, finalizamos que la sección dispuesta para los paneles de los costados laterales del casco, es satisfactoria y; que su hipotética flecha en el centro, de 0.05mm se reduce a casi cero, por la asociación de la sección, con la cubierta superior y el fondo del casco, actuando una porción de éstos, como súper patines de la sección.

Obviamos el análisis en los paneles de los costados de proa y de popa, por que al ser éstos, de menor longitud, similar sección geométrica y mayor peralte que los paneles de los costados laterales; para la misma carga, ubicada en el centro, los momentos flectores son menores y los requerimientos también; por consiguiente, los paneles de estos costados, así diseñados, son con holgura, satisfactorios.

El esfuerzo cortante en el forro del casco, producido por la compresión de la carga sobre el área de la sección; que en este caso, es homogénea en toda la longitud de la eslora, es:

$$\text{Esfuerzo cortante} = 2\,863,57\text{kg}/\text{Área de la sección vertical del forro}$$

$$\begin{aligned}\text{Esfuerzo cortante} &= 2\,863,57\text{kg}/(32,438)\text{cm}^2 = 88,28\text{kg}/\text{cm}^2 \\ &= 1\,255,58\text{psi}\end{aligned}$$

Como $1\,255,58\text{ lb/plg}^2 < 12\,000\text{lb/plg}^2$ **OK!!**,

Donde: $12\,000\text{psi} = 0,40\%F_y$

(*) La plancha acero A-283C de 3mm, es óptima como forro de los costados del casco.

3.4 CÁLCULO DE LA CUBIERTA SUPERIOR DEL CASCO

De los esquemas mostrados en la Fig.3.9; la cubierta superior, está empotrada en las esloras y en los baos de los costados del casco y; a su vez, soportada por los baos intermedios del módulo, por lo que diseñamos éstos refuerzos, asociándolos a la plancha de cubierta, sin considerar en ésta, los dobleces del acanalado (sólo lisa); debiendo la sección compuesta, ser capaz de resistir la carga transmitida por la cubierta del casco. La Fig. 3.11 muestra el esquema de cargas aplicadas a los baos intermedios y de los costados del casco.

3.4.1 Refuerzos transversales de cubierta (Baos)

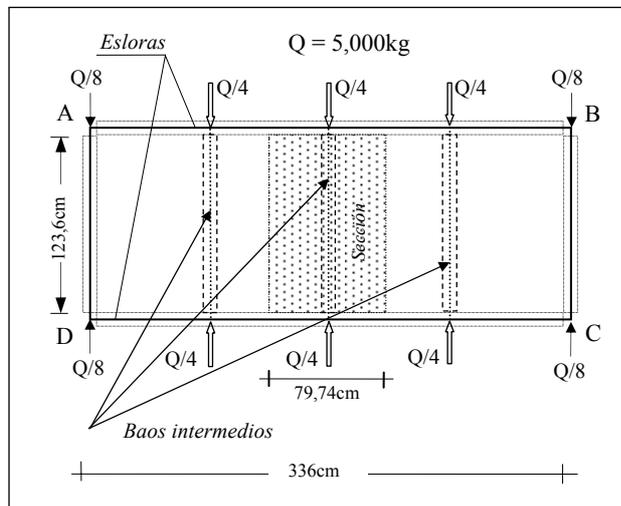


Fig. 3.11 Cargas sobre Baos

Nº de Secciones: 04

Carga aplicada a los Baos intermedios:

$$P = Q/4 = 11\,022,93 \text{ lb} / 4 = 2\,755,73 \text{ lb}$$

$$L = 123,6 \text{ cm} = 48,66 \text{ plg}$$

Momento flector: $-PL/8 - WL/12$

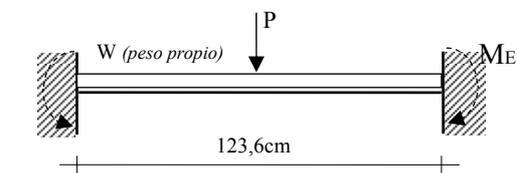
$$M_E = -16\,762,23 - 273,41 = -17\,035,64 \text{ lb-plg}$$

Factor de seguridad: 1,4

$$\sigma_{\text{adm}} = 18\,000 \text{ lb/plg}^2$$

$$f_{l \text{ adm}} = L/500 = 2,5 \text{ mm} = 0,097 \text{ plg} \checkmark$$

Por lo tanto los requerimientos son:



$$I_{xx \text{ req}} = 0,5664 + 0,0069 = 0,573 \text{ plg}^4 \checkmark$$

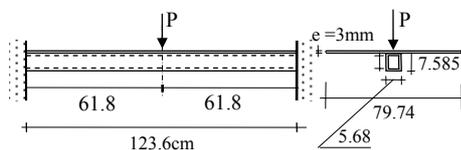
$$S_{\text{req}} = M_E / \sigma_{\text{adm}}, \quad I_{xx \text{ req}} = \Sigma I_{xx \text{ req}}$$

$$S_{\text{req}} = 17\,35,64 \times 1,4 / 18\,000 = 0,946 \text{ plg}^3 \checkmark$$

Propiedades de la sección del refuerzo de la cubierta del casco:

PERFIL FORMA GEOMETRICA

BAOS

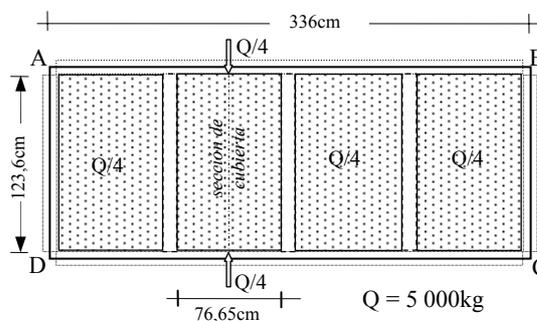


y (plg)	INERCIA I _{xx} (plg ⁴)	Módulo resistente S _{bott} (plg ³)
2.655	3.843	1.447

Verificamos el perfil diseñado como refuerzo, con resultado satisfactorio:

refuerzo	Momento de inercia I _{xx} (plg ⁴)			Módulo resistente S _{xx} (plg ³)				
BAOS	3 843plg ⁴	>	0,573plg ⁴	OK!	1 447plg ³	>	0,946plg ³	OK!

3.4.2 Forro acanalado de cubierta superior (Cubierta)



La cubierta puede suponerse dividida en 4 secciones iguales, cada una de ellas empotrada en los bordes y; cargada por la cuarta parte de la carga útil más su peso propio, aplicados directamente, a la superficie no apoyada (área limitada al interior de los baos y las esloras).

Ensayamos usar para el forro de cubierta, una plancha lisa de acero estructural A-283C y 3mm de espesor y; aplicando las fórmulas de esfuerzos para placa plana, rectangular, uniformemente cargada y con todos los bordes empotrados, el resultado no fue satisfactorio, por lo que decidimos acanalar la plancha longitudinalmente, para no reforzar en este sentido, con perfiles soldados al forro de cubierta; lográndose además, superar el problema del deslizamiento de la carga sobre una superficie totalmente lisa.

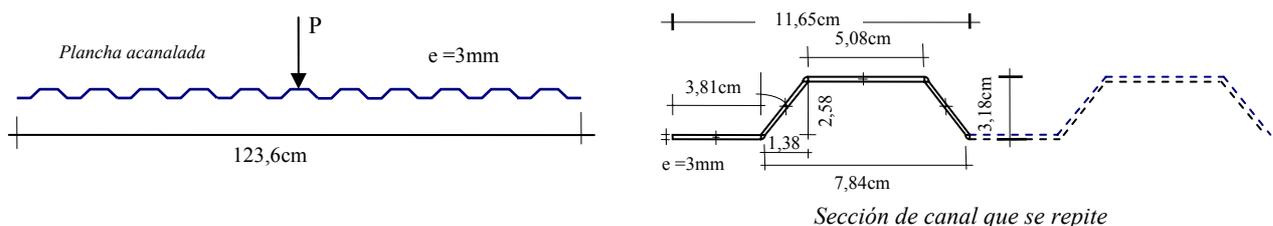
PLACAS PLANAS RECTANGULARES		
$\mu = 0.3$	$t = 3.00\text{mm}$	$E = 29000000 \text{ lb/plg}^2$
ω	Peso / Área (lb/plg ²)	1.93 lb/plg ²
a	lado mayor (plg)	48.66 plg
b	lado menor (plg)	30.18 plg
α	b / a	0.62
σ	$0.5\omega b^2 / t^2(1+0.623\alpha^6)$	60,770.72 lb/plg ²
y máx	$0.0284\omega b^4 / Et^3(1+1.056\alpha^5)$	0.86634 plg

Si la plancha es lisa, el esfuerzo obtenido no es admisible:

60 770,72psi > 18 000psi

NO OK!

Acanalamos la plancha del forro, mediante dobleces de las siguientes características:



Propiedades de la sección acanalada:

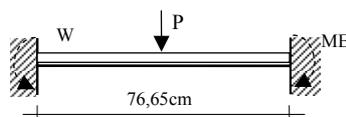
ELEMENTO	b	h	Area	y	Area.y	y-yn	Area.(y-yn) ²	Ix	Inercia
	3.81	0.3	1.1430	0.15	0.1715	-1.5576	2.7729	0.0086	2.7815
	0.3327	2.58	0.8584	1.59	1.3648	-0.1176	0.0119	0.4761	0.4880
	5.08	0.3	1.5240	3.03	4.6177	1.3224	2.6652	0.0114	2.6766
	0.3327	2.58	0.8584	1.59	1.3648	-0.1176	0.0119	0.4761	0.4880
	R =	0.3	0.0707	0.1727	0.0122	-1.5349	0.1665	0.0004	0.1670
	R =	0.3	0.0707	3.0073	0.2126	1.2998	0.1194	0.0004	0.1199
	R =	0.3	0.0707	3.0073	0.2126	1.2998	0.1194	0.0004	0.1199
	R =	0.3	0.0707	0.1727	0.0122	-1.5349	0.1665	0.0004	0.1670
	Y _n =	1.7076	Σarea =	4.6665	ΣArea.y =	7.9683	Σ Inercia Total =	7.0078	

$$I_{xx} = 7.0078 \text{ cm}^4 \times 11 \text{ canales} = 77.0858 \text{ cm}^4 = 1.852 \text{ plg}^4 \checkmark$$

$$S_{\text{top}} = 77.0858 / (3.18 - 1.7076) = 52.354 \text{ cm}^3 = 3.195 \text{ plg}^3$$

$$Y_n = 1.7076 \text{ cm} = 0.6723 \text{ plg}$$

$$S_{\text{bott}} = 1.852 / 0.6723 = 2.755 \text{ plg}^3 \checkmark$$



$$P = 11\,022.93 \text{ lb} / 4 = 2\,755.73 \text{ lb}, \quad L = 76.65 \text{ cm} = 30.175 \text{ plg}$$

$$\text{Momento flector: } -PL/8 - WL/12$$

$$M_E = -10\,394.97 - 189.09 = -10\,583.36 \text{ lb-plg}$$

$$\text{Factor de seguridad} = 1.4, \quad \sigma_{\text{adm}} = 18\,000 \text{ lb/plg}^2,$$

$$f_{l \text{ adm}} = L/500 = 0.0604 \text{ plg} \checkmark$$

$$S_{\text{req}} = 10\,448.50 \times 1.4 / 18\,000 = 0.813 \text{ plg}^3, \quad I_{xx}$$

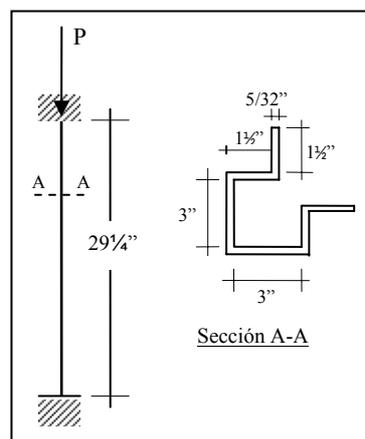
$$\text{req} = 0.2178 + 0.00297 = 0.2208 \text{ plg}^4$$

La plancha acanalada a usar como cubierta del casco, resulta satisfactoria:

elemento	Momento de inercia I_{xx} (plg^4)			Módulo resistente S_{xx} (plg^3)		
CUBIERTA	1 852 plg^4	>	0.221 plg^4 OK!	2 755 plg^3	>	0,813 plg^3 OK!

3.5 CÁLCULO DE LAS CUADERNAS DEL CASCO

Las cuadernas de las esquinas del módulo, se comportan como columnas, soportando el total de la carga y el empotramiento de los costados del casco; por lo tanto; es una columna casi restringida, con pandeo simétrico, estimándose $K = 0,65$ y; dimensionamos el perfil, adicionándole, la carga puntual debido al apoyo del puente de acceso al embarcadero:



$$P = 5\,000/4 + 1\,205 = 2\,455\text{kg} = 5\,412,26\text{lb}$$

Propiedades de la sección A-A:

$$I_x = I_y = 3,8965\text{plg}^4, \quad A = 1,9617\text{plg}^2, \quad r = \sqrt{I/A} = 1,4094\text{plg}$$

Consideramos el F_a (permisible) = 18 000psi y el área requerida,

$$A_{req} = 5,412.26 / 18,000 = 0.301 \text{ plg}^2$$

$$KL/r = 0,65 \times 29,25 / 1,4094 = 13,49 \quad L/r = 29,25 / 1,4094 = 20,75$$

$C_c = \sqrt{2\pi^2 E / F_y} = 140,50$, aplicamos la fórmula 1.5-1 de la AISC

$$\text{Como } 20,75 < 140,50, \quad F_a = [1 - (KL/r)^2 / 2C_c^2] F_y / [5/3 + 3(KL/r) / 8C_c - (KL/r) / 8C_c^3]$$

$$F_a = (1 - 13.49^2 / (2 \times 140.50^2)) \times 30,000 / (1.67 + 3 \times 13.49 / 8 \times 140.5 - 13.49 / 8 \times 140.5^3)$$

$$F_a = 17,538.1519 \text{ psi} \checkmark$$

Donde:

$$P(\text{permisible}) = F_a \cdot \text{Área} = (17\,538,1519)(1,9617) = 34\,404,59 \text{ lb} > 5\,412,26$$

OK!!

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE LA RAMPA

El puente de acceso, concebido como una plataforma con barandas a los costados, es diseñado, siguiendo lineamientos de la AASHTO y de la AISC, para una carga viva de 400kg/m^2 . Las dimensiones preliminares del tablero, para la luz libre de $12,00\text{m}$ son:

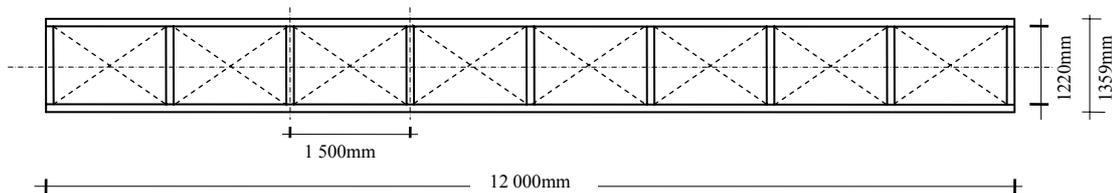


Fig. 4.1 La Rampa

Peralte del puente: (L/10 a L/15) Tomamos: $L/13 = 0,92\text{m}$

4.1 CÁLCULO DEL TABLERO DEL PUENTE DE ACCESO

4.1.1 Cálculo del Maderamen de Cubierta del Tablero

Carga en la sección de tablero apoyada en los travesaños:

$$\begin{aligned} Q_{\text{sección}} &= (\text{Carga viva} + \text{Peso propio}) / 8 = (12 \times 1,22 \times 400 + 500) / 8 \\ &= (5\,856 + 500) \text{ kg} / 8 = 794,5\text{kg} \end{aligned}$$

Carga en cada tablón de madera: $P = 794,5/4 = 198,63\text{kg}$

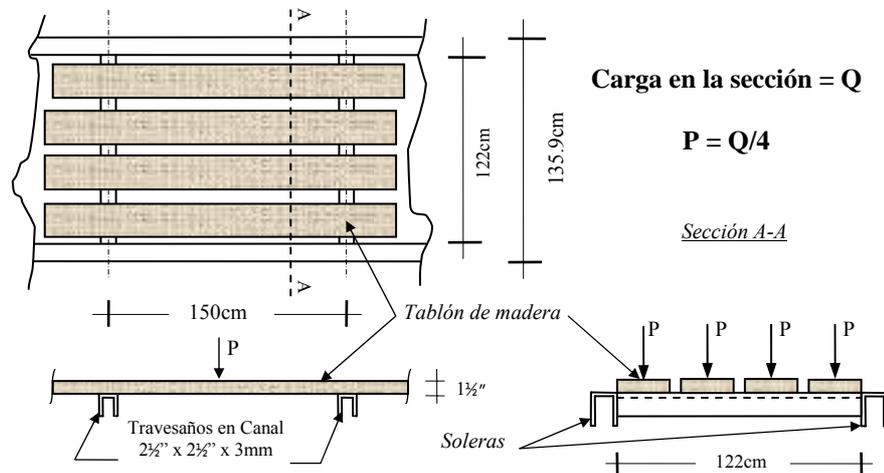


Fig.4.2 Disposición de la carga

En el tablón de madera, para carga distribuida; el momento flector es:

$$M_m = PL/8$$

$$\sigma_m = 84\text{kg/cm}^2 = 1\,200\text{psi}$$

$$E_m = 1,6 \times 10^6 \text{psi}$$

$$f_{adm} = L/300 \quad (1)$$

$$P = 198,63\text{kg} = 437,9\text{lb}$$

$$L = 150\text{cm} = 59,06''$$

$$M_m = 3\,232,43\text{lb-plg}$$

$$S_m \text{ req} = 2\,694\text{plg}^3 \sqrt{\quad}$$

Ensayo con tablonces de madera turpay de 2"x12" (1 5/8" x 11 1/2" *medidas reales*)

$$I_x = bh^3/12 = 11.5 \times 1625^3 / 12 = 4\,112 \text{ plg}^4,$$

$$S = 4\,112 / 0,8125 = 5,06 \text{ plg}^3 > 2\,694 \text{ plg}^3 \quad \text{OK!!}$$

Revisamos la flecha en estas condiciones,

$$f_l = 5QL^3/384EI = 0,179" < 0,197" \quad \text{OK!}$$

(¹)La AASHTO, recomienda en su artículo 13.4.3 de la 16^a edición, que para puentes, la deflexión en los largueros de madera, no deberá exceder el valor dado por **L/500**, es decir fl límite=0,118" < 0,179", por lo que los tablonces seleccionados no pasarían por limite de flecha máxima al centro, sin embargo; siendo mínima ésta diferencia, tan solo de 0,061"=1,55mm, obviáramos este lineamiento en razón de su poco trafico, considerando L/300, con el fin de no cambiar la madera cortada y disponible de las comunidades beneficiarias.

4.2 CÁLCULO DE LOS TRAVESAÑOS DEL TABLERO

Estimaremos como hipótesis de carga, la que produzca mayores efectos:

A) Carga concentrada igualmente espaciada B) Carga distribuida
uniformemente



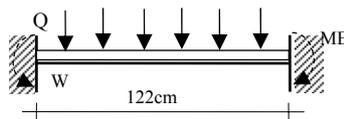
Para el caso A:

La carga $Q/4$, aplicada a los travesaños es:

$$(794,5/4) \text{ Kg.} = 437,89\text{lb}$$

Para el caso B:

La carga aplicada a los travesaños de $1,22\text{m}=4'=48''$, es de
 $794,5\text{kg}=1\ 751,54\text{lb}$



4.3 CALCULO DE LA SOLDADURA

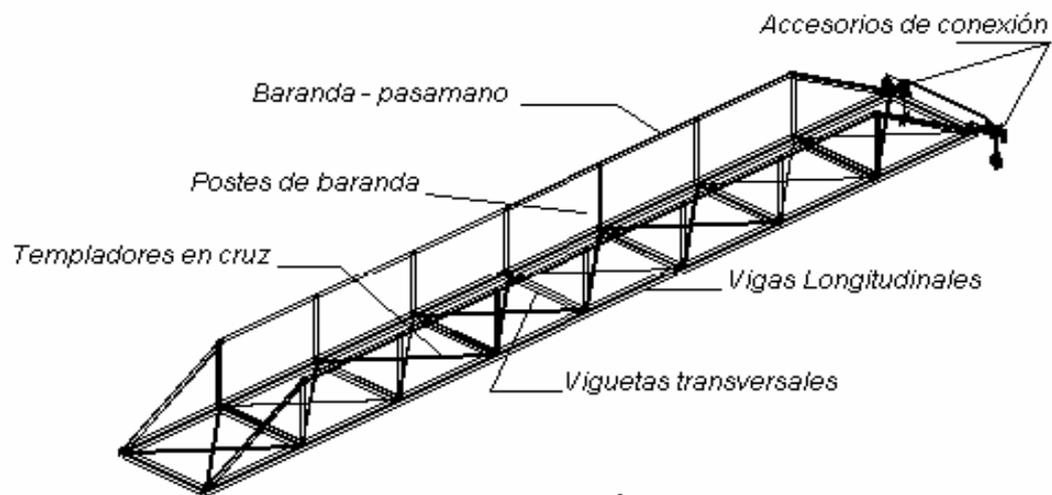
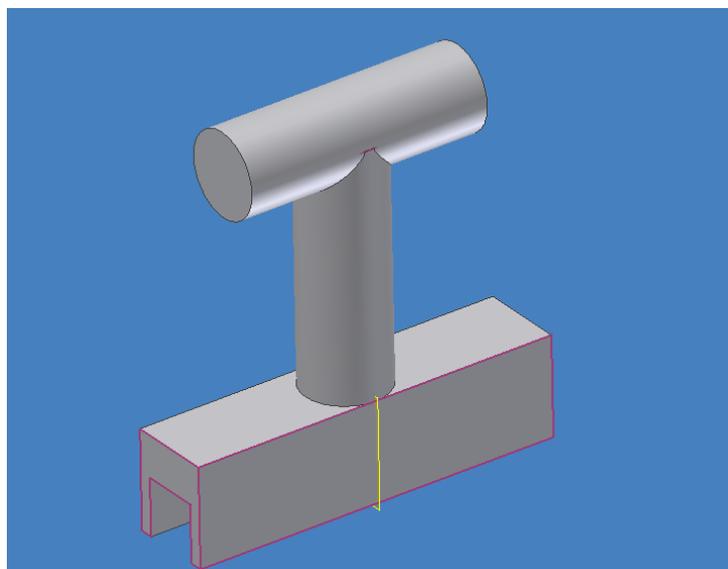


Fig. 4.3 Estructura metálica de puente con barandas



4.3.1 Analizando la Soldadura en Alfa

$$\begin{aligned} N_x &= d/2 \\ &= 8,61/2 \\ &= 4,305\text{cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_w &= \pi d^2/4 \\ &= 58,22\text{cm}^3 \end{aligned}$$

$$J_w = \pi d^3/4$$

Asumiendo una carga de 2 Tn (F max)

$$\begin{aligned} F \text{ máx.} &= 2 \text{ Tn} \\ &= 1\,814,37 \text{ kg-f} \end{aligned}$$

Hallando: Por corte directo

$$\begin{aligned} f_w &= F \text{ máx.}/L_w \\ &= 1\,814,37 / (\pi * 8,61) \end{aligned}$$

$$f_w = 67,08 \text{ kgf / cm}$$

Por flexión:

$$\begin{aligned} f_w' &= M * c / I_w \\ &= M / Z_w \end{aligned}$$

Hallando M:

$$M = F * r$$

$$M = 1\,814,37 * (1,29 / 2) \text{ kg-f – m}$$

$$M = 117\,026,87 \text{ kg-f – cm}$$

Dividiendo:

$$f_w' = M / Z_w = 117\,026,87 / 58,22$$

$$fw' = 2\,010,08 \text{ kg-f / cm}$$

$$fw_T = (fw^2 + fw'^2)^{1/2}$$

$$fw_T = 2\,011,2 \text{ kg-f / cm}$$

Será con un electrodo E60XX

$$Sw = 9600 \text{ PSI (SOLDADOR NO CALIFICADO)}$$

$$Sw = 12700 \text{ PSI (SOLDADOR NO CALIFICADO)}$$

$$w = fw_T / Sw$$

$$w = 11\,238,58 / 12700$$

$$w = 0,88 \text{ pulg (Es muy alto)}$$

** Por lo tanto se prueba con otro electrodo*

Asumiendo E-80XX

$$Sw = 17000 \text{ PSI (SOLDADOR CALIFICADO)}$$

$$w = fw_T / Sw$$

$$w = 11\,238,58 / 17000$$

$$w = 0,66 \text{ pulg.}$$

Con electrodo E-90XX

$$Sw = 19000 \text{ PSI (SOLDADOR CALIFICADO)}$$

$$w = fw_T / Sw$$

$$w = 11\,238,58 / 19000$$

$$w = 0,58 \text{ pulg}$$

Con electrodo E-110XX

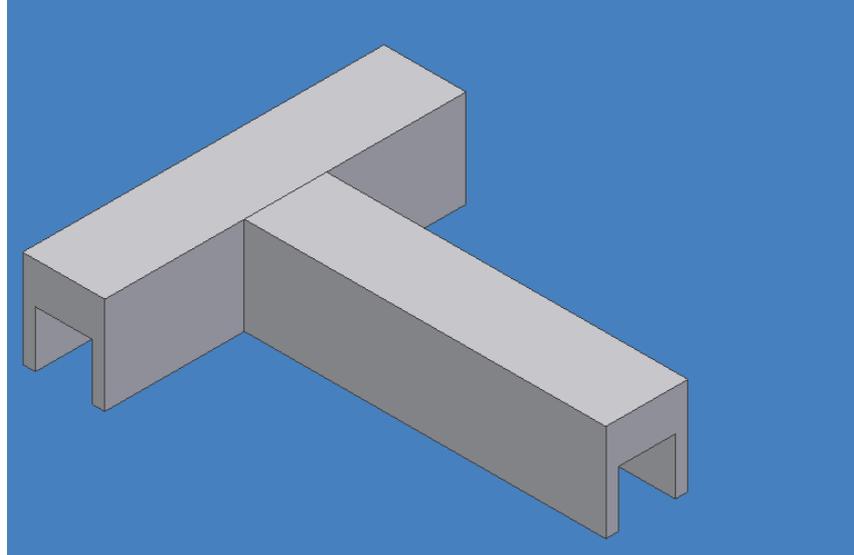
$$Sw = 23300 \text{ PSI (SOLDADOR CALIFICADO)}$$

$$w = fw_T / Sw$$

$$w = 11\,238,58 / 23300$$

$$w = 0,48 \text{ pulg (OK } \checkmark \text{)}$$

4.3.2 Analizando Soldadura T



Analizando el c.g

De tablas:

$$N_x = d/2$$

$$= 8,12/2$$

$$= 4,06\text{cm}$$

$$Z_w = d^2/3$$

$$= 8,12^2/3$$

$$= 21,98 \text{ cm}^2$$

$$S_w = d(3b^2+d^2)/6$$

$$= 8,12*[3*(6,82)^2+8,12^2]/6$$

$$J_w = 278,07\text{cm}^3$$

Con la carga de 2 ton (Fmax)

$$F_{\text{max}} = 2\text{tn}$$

$$= 1814,37 \text{ kg-f}$$

Por corte directo

$$\downarrow fw = F_{\max} / L_w$$

$$= 1814,37 / (2 * 8,12)$$

$$= 111,72 \text{ kgf/cm}$$

Por flexion :

$$fw' = MC / I_w$$

$$= M / Z_w$$

$$Z_{w \text{ sup}} = Z_{n \text{ inferior}}$$

$$M = F * r$$

$$F = 1814,37$$

$$r = 1,29\text{m} / 2 - 6,82 / 200$$

$$= 0,6109\text{m}$$

$$r = 61,09 \text{ cm}$$

$$M = 1814,37 * 61,09$$

$$= 110839,86 \text{ kg-cm}$$

$$fw' = M / Z_w$$

$$= 110839,86 / 21,96$$

$$fw' = 5042,76 \text{ kgf/cm}$$

$$fw_T = (fw^2 + fw'^2)^{1/2}$$

$$fw_T = 5044 \text{ kgf/cm} \leftrightarrow 28185,86 \text{ lb/pulg}^2$$

Con electrodo E-110xx

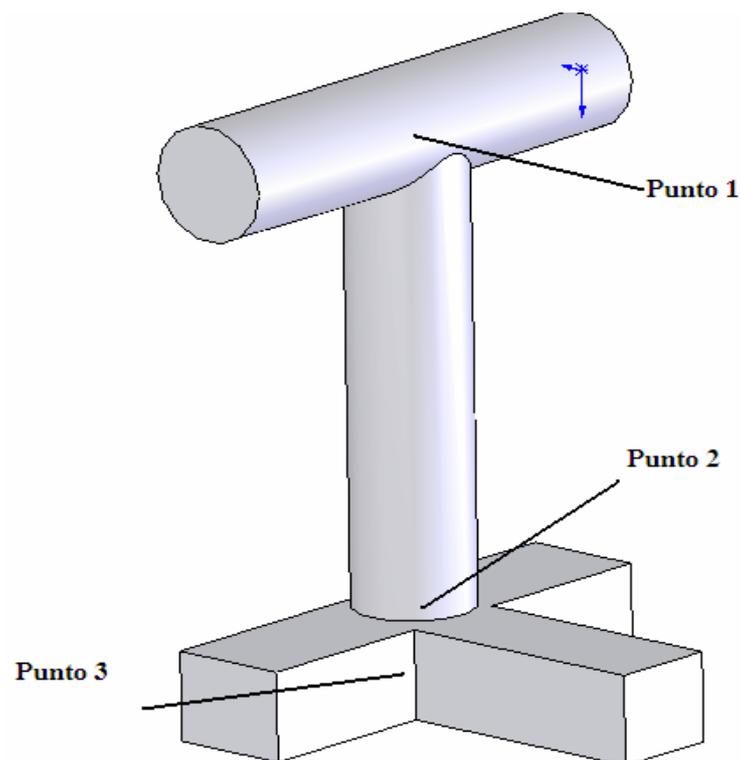
$$S_w = 23300 \text{ lb/pulg}$$

$$w = f_w T / S_w = 28185,86 / 23300 = 1.2$$

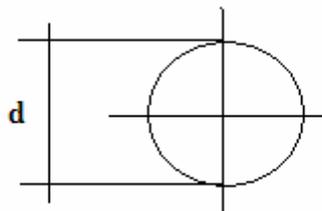
$$w = 0.172 = \frac{1}{2}$$

4.4.3 Analizando Soldadura Omega

AHORA ANALIZAREMOS UN CASO MAS REAL ES DECIR CUANDO LA FUERZA NO SE CONCENTRA EN LA PARTE MEDIA.



Análisis de la soldadura



Punto 1

$$N_x = \frac{d}{2} = \frac{8.62}{2}$$

$$N_x = 4.305mm$$

$$Z_w = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$Z_w = 58.22cm^2$$

$$J_w = \frac{\pi * d^3}{4}$$

$$J_w = 501.3cm^3$$

Análisis del tipo de carga

Por corte directo

$$F = F_{\max} = 2tn \text{ (aproximado de puentes reales)}$$

$$F_{\max} = 1814.37kg - f$$

$$f_w = \frac{F_{\max}}{L_w}$$

$$f_w = \frac{1814.37}{\pi * 8.61} = 67.08kg - f/cm$$

Corte producido por el momento flector

$$f_w' = \frac{M * c}{I_w} = \frac{M}{Z_w} \quad (x-x)$$

$$M = F * r$$

$$M = 1814.37 * \frac{1.29}{2}$$

$$M = 117026.87 \text{kgf} - \text{cm}^2$$

$$f_w' = \frac{M}{Z_w}$$

$$f_w' = \frac{117026.87}{58.22}$$

$$f_w' = 2010.08 \text{kgf} / \text{cm}$$

Según (Y-Y)

$$f_w' = \frac{M * c}{I_w} = \frac{M}{Z_w}$$

$$M = F * r$$

$$M = 1814.37 * 4$$

$$M = 7257.48 \text{kgf} - \text{m}^2$$

$$f_w' = \frac{M}{Z_w}$$

$$f_w' = \frac{7257.48}{58.88}$$

$$f_w' = 1246.56 \text{kgf} / \text{cm}$$

De los datos hallados se obtiene:

$$f_{w_T} = \sqrt{67.08^2 + 2010.08^2 + 1246.56^2}$$

$$f_{w_T} = 2366 \text{kgf} / \text{cm}$$

Por experiencia

Calculando por electrodo E-110XX

Sw = 23300 PSI (soldador calificado)

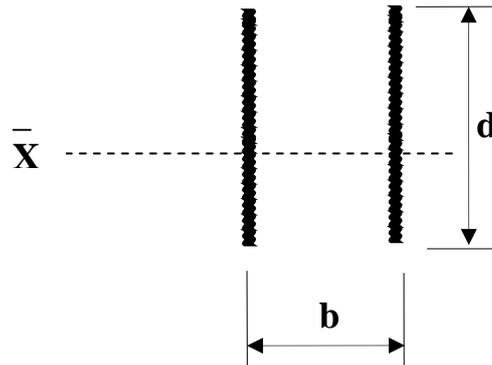
$$w = \frac{f_{w_T}}{S_w}$$

$$w = \frac{10038.26}{23300} \quad (w = \text{tamaño del cordón de soldadura})$$

$$w = 0.43 \text{ pulg}$$

Como se aprecia en el punto 1 y en el punto 2 tienen características de soldadura semejante

Analizando el punto 3



Donde:

$$N_x = \frac{d}{2} = \frac{8,12}{2}$$

$$N_x = 4,06mm$$

$$Z_w = \frac{d^2}{3}$$

$$Z_w = 21,98cm^2$$

$$J_w = \frac{d(3*b^2 + d^2)}{6}$$

$$J_w = \frac{8,12 * (3 * 6,82^2 + 8,12^2)}{6}$$

$$J_w = 278,08m^3$$

Analizando la carga de 2 toneladas (F max)

$$F = F \text{ max} = 2 \text{ tn} = 1\ 814,37\text{kg-f}$$

Por corte directo

$$f_w = \frac{F_{\max}}{L_w}$$

$$f_w = \frac{1814,37}{2 * 8,12} = 111,72 \text{ kg} - f / m$$

Por flexión

$$Z_{w_{\text{sup}}} = Z_{w_{\text{inf}}}$$

$$f_w' = \frac{M * c}{I_w} = \frac{M}{Z_w}$$

$$M = F * r$$

$$M = 1814,37 * \left(\frac{1,29}{2} - \frac{6,82}{200} \right)$$

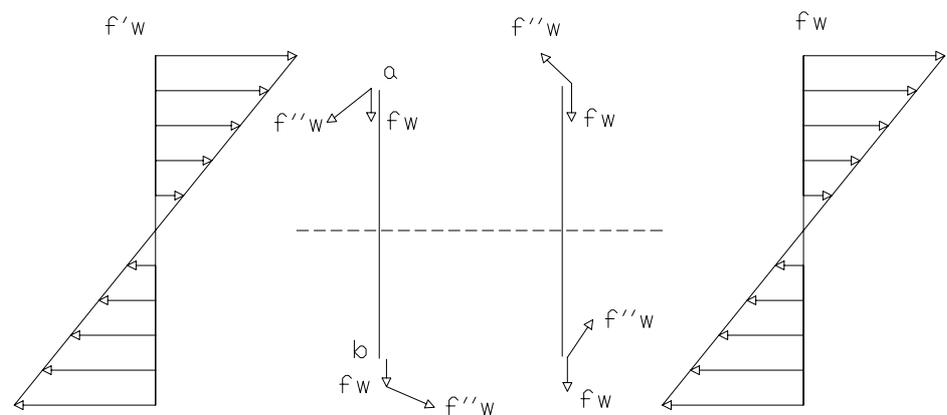
$$M = 1108,3986 \text{ kgf} - m^2$$

$$f_w' = \frac{M}{Z_w}$$

$$f_w' = 50,4273 \text{ kgf} / cm$$

Por torsión

$$f_w'' = \frac{TC}{J}$$



a y b puntos críticos de igual esfuerzo

$$C_h = \frac{b}{2} = \frac{6,12}{2}$$

$$C_h = 3,41 \text{ cm}$$

$$C_v = \frac{d}{2} = N_x$$

$$C_v = 4,06 \text{ cm}$$

$$f_{w_h}'' = \frac{T * C_v}{J}$$

$$T = F * r$$

$$T = 1814,37 * 4$$

$$T = 7257,98 \text{ kgf} - m$$

$$f_{w_h}'' = \frac{7257,48 * 4,06}{278,07}$$

$$f_{w_h}'' = 105,96 \text{ kgf} / \text{cm}$$

$$f_{w_v}'' = \frac{T * C_h}{J}$$

$$f_{w_v}'' = \frac{7257,48 * 3,41}{278,07}$$

$$f_{w_v}'' = 89 \text{ kgf} / \text{cm}$$

Teniendo todos los datos se pasa a hallar fw total:

$$f_{w_T} = \sqrt{(111,72 + 89)^2 + 105,96^2 + 50,42^2}$$

$$f_{w_T} = 232,5 \text{ kgf} / \text{cm} = 1299,2 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

Probando con electrodo E60XX

Sw = 9600 PSI (soldador no calificado)

$$w = \frac{f_{w_T}}{S_w} = \frac{1299,2}{9600}$$

$$w = 0,135 \text{ pulg}$$

Observación: como se puede observar en este punto se necesita un electrodo mas barato y su cordón de soldadura sale pequeño que es lo que buscamos.

CAPÍTULO V

EMSAMBLAJE DEL EMBARCADERO

5.1 DESCRIPCION Y ACCESORIOS NECESARIOS

5.1.1 Planchas a usar

Para la construcción de cada uno de los módulos metálicos descritos, se usó planchas de acero de norma, A ASTM A-283 GRADO C ESTRUCTURAL, en reemplazo de las planchas NAVALES ASTM-131 GRADO A, comúnmente usadas para la fabricación de embarcaciones navales, bolicheras, pangas y chatas entre otras; así mismo, se optó por sacrificar la suavidad de las líneas de forma del casco, proveyéndolas de dobleces, plegados hidráulicamente, con el fin de disminuir el grosor de las chapas de cubierta del casco y disminuir los perfiles de refuerzo en el esqueleto de la estructura interna de la bóveda de los módulos; sin sacrificar por ello, la resistencia estructural de los módulos, incrementándose al contrario, su resistencia



Fig. 5.1 Estructura interna de los módulos

5.1.2 Paneles

Los paneles de cubierta y la estructura misma, han sido ensamblados conforme muestra la Fig. N° 5.1

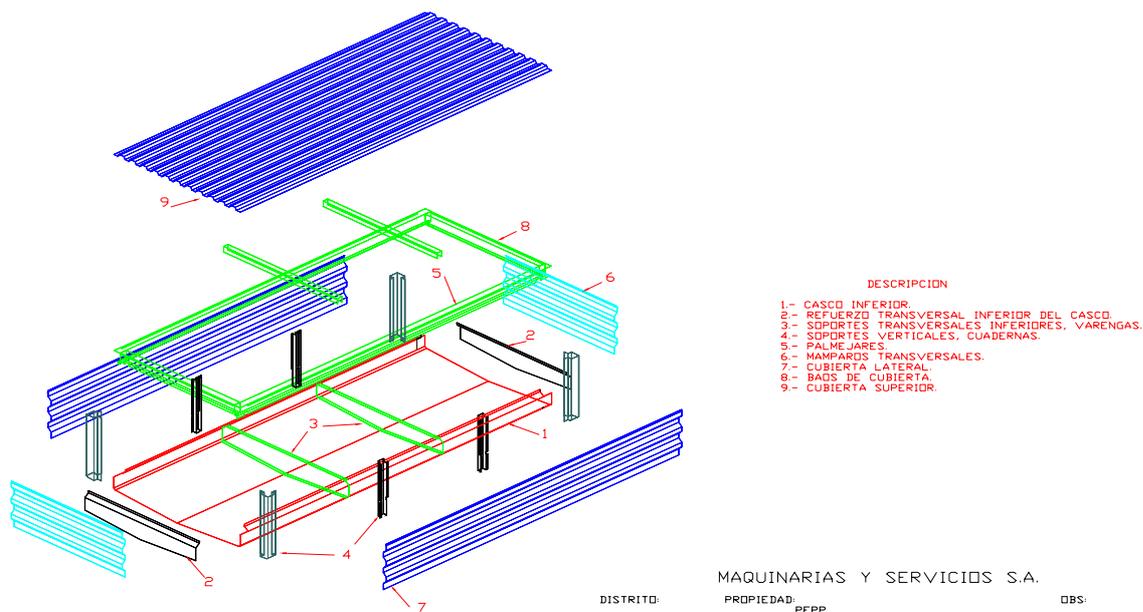


Fig. 5.2 Paneles

5.1.3 Módulos

Los módulos se unen entre sí por medio de pines de acero, colocados en los alojamientos previstos con que cuenta cada módulo y se aseguran mediante pasadores.

5.1.4 Puentes de acceso

El puente de acceso al conjunto de módulos ensamblados, que a su vez es el brazo basculante del *Embarcadero Flotante*; tiene 12.00m x 1.29m entre ejes de baranda, y una altura

aproximada de 0.90m, la plataforma del puente ha sido diseñada para soportar una carga distribuida de 400 Kg./m²; estando compuesta por tablones de madera durísima (*turpay*) de 1 pie de ancho x 1 ½ pulgadas de espesor, empernados sobre un chasis metálico, plano, fabricado de vigas longitudinales y viguetas transversales de perfil plegado en canal, armado en celosía y arriostrado con templadores dispuestos en cruz de acero de construcción SAE 1065; constituyendo esta plataforma, base de los postes de las barandas, formando una armadura fuerte y consistente, capaz de sostener al embarcadero cargado con sus movimientos.

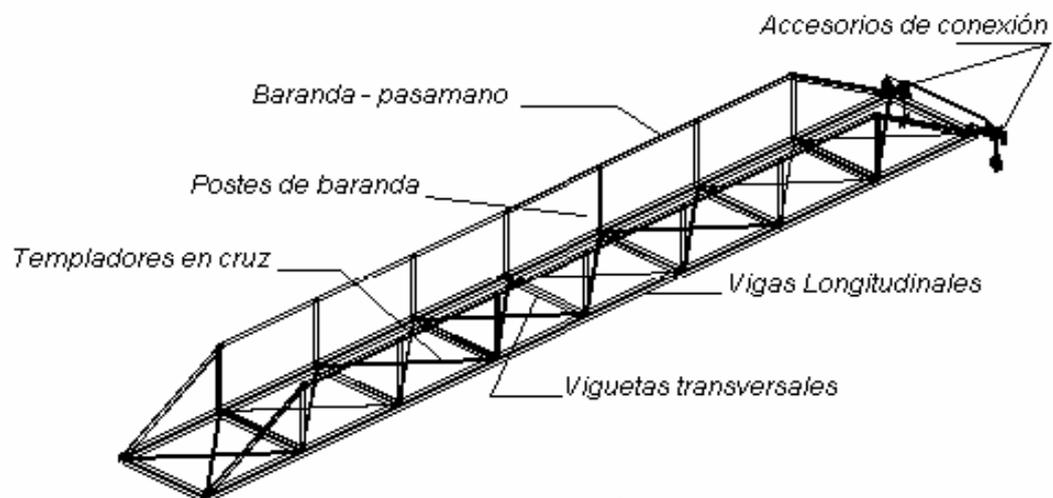


Fig. 5.3 Estructura metálica de puente con barandas

5.1.5 Cables

Por seguridad, para evitar que el embarcadero pueda ser arrastrado en una crecida extraordinaria, con gran palizada, se dispuso la colocación de 02 cables de acero tipo boa, de $\frac{1}{2}$ " \varnothing sujetos en los extremos del embarcadero (proa y popa) y; los otros extremos, anclados firmemente, mediante grapas y grilletes, a dos pilotes de concreto convenientemente ubicados, formando un ángulo de 45° en cada caso, constituyéndose en vientos de seguridad.



Fig. 5.4 *El embarcadero*

5.1.6 Recubrimientos de Protección

Todos los elementos metálicos son protegidos de la corrosión y agresividad del ambiente, mediante un proceso de arenado SSPC-SP5 y un revestimiento de pintura basado en alquitrán de hulla y resina epóxi poliamida, COALTAR C-200, sobre el cual se aplica adicionalmente, una capa de ALQUITRÁN RC-250

cuidadosamente preparada con arena tamizada caliente, como capa asfáltica.



Fig. 5.5 En las fotos que anteceden, apreciamos los embarcaderos SHIMA y PORVENIR

CAPITULO VI

EVALUACION ECONOMICA

EL Proyecto, Diseño, Fabricación, Montaje y Operación de 02 Embarcaderos Metálicos Flotantes de 5 TN de Capacidad sobre Cubierta; para el Río Tambo en el Valle del ENE, tiene un Costo Directo de S/. 43 277,29, el cual fue analizado de acuerdo a los procesos que implican el avance del proyecto.

Dicho análisis se realizó con apoyo del software S10 Presupuestos, el cual realiza análisis de costos unitarios, dándonos el Costo directo y Total presupuesto en base a la cantidad de material trabajado (9,8Tn); realiza el análisis de los sub. Presupuestos que nos muestran los costos parciales del presupuesto general, tales como

- 1.- ESTRUCTURAS,
- 2.- MONTAJE DE ESTRUCTURA METALICA
- 3.- EMPALME;

Orden de las etapas del proyecto en partidas (partes del sub. presupuesto)
tales como:

- 1.- FABRICACION DE ESTRUCTURAS METALICAS A36,
- 2.- PINTADO DE ESTRUCTURAS METALICAS,
- 3.- TRANSPORTE DE ESTRUCTURAS METALICAS A-36,
- 4.- MONTAJE DE ESTRUCTURAS METALICAS

6.1 EL ANÁLISIS DEL PRESUPUESTO

Mediante este software nos permite conocer los Costos Directos de cada recurso en cada sub. Presupuestos.

COSTOS DIRECTOS

Sub. Presupuesto	Recursos		
	Mano de Obra	Material	Equipo
ESTRUCTURAS	4 041,91	22 575,67	8 398.11
MONTAJE DE ESTRUCTURA METALICA INC. EMPALME	1 073,68	6 281,80	648,66

Teniendo:

- Costo directo total del proyecto de 43 019 nuevos soles en total
- Gastos Generales de 6 491,59 nuevos soles
- Utilidad de 5193.27 nuevos soles
- Impuesto general alas ventas de 10 442,81 nuevos soles
- Total de la inversión en el proyecto 65 404,96

El Análisis de precios unitarios de cada partida consiste en reducir los costos a la unidad partiendo de un global y considerando un rendimiento diario producto de la experiencia, en este caso nuestra unidad de costeo es la **Tonelada** de material trabajado y el rendimiento en **TN/Día**.

6.2 PARAMETROS DE COSTOS A TOMAR

6.2.1 Mano de Obra:

Se considera un rendimiento de 0,8Tn/día, el análisis esta en función del proceso de conversión de 500Kg de ACERO A36, para lo cual se considera como mano de obra: la presencia de ingeniero mecánico supervisor (s/. 18,75 /hh), soldador (s/. 11,25 /hh), armador (s/. 9,30 /hh), calderero (s/. 9,30 /hh) y ayudante (s/. 3,75 /hh).

6.2.2 Materiales

Soldadura eléctrica (s/. 9,40 /kg), y equipos: herramientas, equipo de soldadura, equipo de corte, equipo de placas radiográficas, equipo de arenado y tecla de 2 ton

6.2.3 Pintado de Estructuras Metálicas

Rendimiento de 3 tn/día, se considera como mano de obra: la presencia de ingeniero mecánico supervisor (s/. 18,75 /hh), pintor (s/. 9,00 /hh) y ayudante (s/. 3,75 /hh), materiales: pintura

anticorrosivo (s/. 28,00 /galón), solvente (s/. 33,71 /galón), pintura jet mastic (s/. 70,62 /galón),

6.2.4 Transporte de Estructuras Metálicas A-36

Se considera FLETE TERRESTRE (S/. 135,00 /Tn)

6.2.5 Montaje de Estructuras Metálicas

Se considera un rendimiento de 5tn/día, se considera como mano de obra: la presencia de ingeniero mecánico supervisor (s/. 18,75 /hh), soldador (s/. 11,25 /hh), armador (s/. 9,30 /hh), y ayudante (s/. 3,75 /hh), materiales: soldadura eléctrica (s/. 9.40 /kg), y equipos: herramientas, equipo de soldadura, equipo de corte y tecla de 2 ton

PRESUPUESTO

Presupuesto Proyecto, Diseño, Fabricación, Montaje y Operación de 02 Embarcaderos Metálicos Flotantes de 5 TN de Capacidad sobre Cubierta; para el Río Tambo en el Valle del Ene

Cliente Salinas Ericksen, Darío Enrique

Lugar JUNIN - SATIPO - RIO TAMBO

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Mano de Obra	Material	Equipo	Subcontrato	Subpartida	Parcial S/.
1	ESTRUCTURAS				4.093,95	22.575,67	8.418,30			35.087,92
1,01	FABRICACION DE ESTRUCTURAS METALICAS A36	t	9,8	3.356,17	3.682,35	20.932,80	8.275,32			32.890,47
1,02	PINTADO DE ESTRUCTURAS METALICAS	t	9,8	224,23	411,60	1.642,87	142,10			2.197,45
2	MONTAJE DE ESTRUCTURA METALICA INC. EMPALME				1.073,68	6.281,80	648,66	185,22		8.189,37
2,01	TRANSPORTE DE ESTRUCTURAS METALICAS A-36	t	9,8	194,72	45,86	1.675,80	1,37	185,22		1.908,27
2,02	MONTAJE DE ESTRUCTURAS METALICAS	t	9,8	640,93	1.027,82	4.606,00	647,29			6.281,12
	COSTO DIRECTO									43.277,29
	GASTOS GENERALES									6.491,59
	UTILIDAD									5.193,27
	SUBTOTAL									54.962,15
	IMPUESTO (IGV 19%)									10.442,81

TOTAL PRESUPUESTO

65.404,96

Análisis de Precios Unitarios

Presupuesto Proyecto, Diseño, Fabricación, Montaje y Operación de 02 Embarcaderos Metálicos Flotantes de 5 TN de Capacidad sobre Cubierta; para el Río Tambo en el Valle del Ene

Partida		FABRICACION DE ESTRUCTURAS METALICAS					Costo unitario directo por :		
(001)01.01		1.01	A36						
Rendimiento	t/DIA	MO. 0.8000		EQ. 0.8000			t	3,356.17	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.			
Mano de Obra									
147000016	INGENIERO MECANICO	hh	0.2000	2.0000	18.75	37.50			
147000029	SOLDADOR	hh	1.5000	15.0000	11.25	168.75			
147010100	ARMADOR	hh	1.0000	10.0000	9.30	93.00			
147010101	CALDERERO	hh	0.5000	5.0000	9.30	46.50			
147010102	AYUDANTE	hh	0.8000	8.0000	3.75	30.00			
						375.75			
Materiales									
200010001	ACERO ESTRUCTURAL ASTM A-36	kg		500.0000	3.52	1760.00			
230470006	SOLDADURA ELECTRICA	kg		40.0000	9.40	376.00			
						2136.00			
Equipos									
337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	375.75	11.27			
348070021	EQUIPO DE SOLDADURA	hm	1.5000	15.0000	12.61	189.15			
348210052	EQUIPO DE CORTE	hm	0.8000	8.0000	3.00	24.00			
348420001	EQUIPO DE PLACAS RADIOGRAFICAS	hm	0.1000	1.0000	500.00	500.00			
348950002	EQUIPO DE ARENADO	hm	1.0000	10.0000	3.00	30.00			
348970002	TECLE DE 2	hm	1.5000	15.0000	6.00	90.00			
						844.42			

Partida (002)02.01		TRANSPORTE DE ESTRUCTURAS METALICAS A-36					
2.01							
Rendimiento	t/DIA	MO. 40.0000	EQ. 40.0000	Costo unitario directo por :			
				t			194.72
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra						
147010100	ARMADOR	Hh	0.5000	0.1000	9.30	0.93	
147010102	AYUDANTE	Hh	5.0000	1.0000	3.75	3.75	
						4.68	
	Materiales						
232000053	FLETE TERRESTRE	T		1.0000	135.00	135.00	
243040000	MADERA TORNILLO	p2		20.0000	1.80	36.00	
						171.00	
	Equipos						
337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	4.68	0.14	
						0.14	
	Subcontratos						
402010003	SEGURO DE TRANSPORTE	T		6.0000	3.15	18.90	
						18.90	

CONCLUSIONES

- 1.- El embarcadero adrizado estará en equilibrio estable, inestable o indiferente, según su altura metacéntrica sea positiva, negativa o nula.
- 2.- Por la forma paralelepípedo del embarcadero, la estabilidad del mismo, es grande y; cuanto mayor sea el área de flotación y menor sea el puntal, es aún mayor
- 3.- Se verifica que, para las dimensiones dadas a la caja estanca del embarcadero, el cociente expresado en %, de la magnitud de la altura metacéntrica, entre la magnitud de la manga del embarcadero, se halla dentro de los rangos recomendados por tablas, para una buena estabilidad, acorde al tipo de servicio que presta.
- 4.- Los dobleces dados a las planchas que forman el casco del embarcadero, aumentan el volumen de desplazamiento, por lo que el calado, es bastante menor del proyectado

BIBLIOGRAFIA

- [1]. Mandelli Antonio. Arquitectura Naval. Edición 1993
- [2] Shigley, Joseph. Diseño en Ingeniería Mecánica. Edición 1995.
- [3] Spotts. Diseño de Elementos de Máquinas. Edición 1980.
- [4] Hori A, J. Diseño de Elementos de Máquinas. Edición 1980.
- [5] Timoshenko, S y D.H. Young. Elementos de Resistencia de Materiales. Edición 1961.