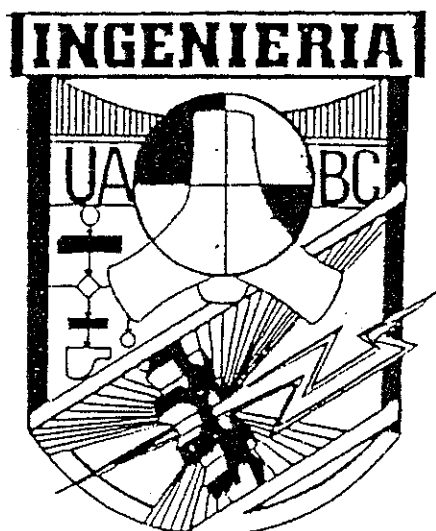


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
ESCUELA DE INGENIERIA ENSENADA

CALCULO Y DISEÑO DE UN MUELLE FLOTANTE



TRABAJO TERMINAL
PARA OBTENER EL DIPLOMA DE
ESPECIALIDAD EN DESARROLLO PORTUARIO

P R E S E N T A

Jesús Raymundo Juárez García

Ensenada, B.C. Agosto de 1993

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA
CALIFORNIA

ESCUELA DE INGENIERIA ENSENADA

CALCULO Y DISEÑO DE UN MUELLE
FLOTANTE

T R A B A J O T E R M I N A L
QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE
ESPECIALIDAD EN DESARROLLO PORTUARIO
PRESENTA

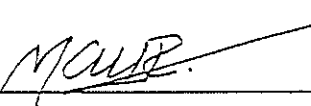
JESUS RAYMUNDO JUAREZ GARCIA.

BIBLIOTECA CENTRAL ENSENADA U. A. B. C.

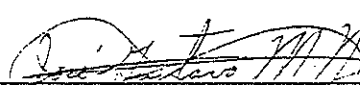
Los miembros del jurado de examen reglamentario que para obtener el Diploma de la Especialidad en Desarrollo Portuario presentará el estudiante Jesús Raymundo Juárez García, aprobamos su trabajo -- terminal titulado Cálculo y diseño de un muelle flotante.



PRESIDENTE: ING. HUMBERTO VELAZQUEZ NAVA



PROPIETARIO: ING. MARCO ANTONIO URIBE ROJO



PROPIETARIO: ING. JOSÉ GUSTAVO MORALES NAVA

Ensenada, B.C., a 28 de Julio de 1993

A LA MEMORIA DE BLANCA GARCIA MORALES, MI MADRE.

AGRADECIMIENTOS:

A ALICIA, FERNANDO, SENDIC Y TITUZ. POR RENOVAR SU
CARIÑO Y COMPRENSIÓN CADA DÍA.

A MIS SINODALES:

ING. HUMBERTO VELAZQUEZ NAVA. POR SU APOYO PARA LA
REALIZACIÓN DE ESTE
TRABAJO.

ING. MARCO ANTONIO URIBE ROJO
ING. GUSTAVO MORALES NAVA.

A LA ESCUELA DE INGENIERIA ENSENADA.

INDICE .

	Pág.
INTRODUCCION.....	2
CAPITULO I. MARINAS.....	3
a.- Antecedentes históricos.....	3.4
b.- Planeación portuaria.....	5
c.- Dimensionamiento.....	5.6
CAPITULO II. MUELLES FLOTANTES.....	7
a.- Definición.....	7
b.- Consideraciones generales.....	7
c.- Materiales.....	7.8.9.10
d.- Tipos de muelles flotantes.....	10
e.- Criterios para cargas de diseño.....	10.11.12.12
f.- Transferencia de cargas.....	13.14
g.- Factores de seguridad.....	14
CAPITULO III. CALCULO Y DISEÑO DE UN MUELLE FLOTANTE. UTILIZANDO PILOTES COMO SISTEMA DE AMARRE.....	15
a.- Características del muelle.....	15
b.- Cálculo de la carga muerta.....	16
c.- Cálculo del francobordo por carga muerta.....	16
d.- Cálculo del francobordo por carga viva.....	17
e.- Análisis estructural.....	17 - 39
f.- Pilotes.....	39 - 40

INTRODUCCION.

Es creciente el interés que existe en México por implementar proyectos turísticos en los litorales del país, que implican la construcción de instalaciones para proteger y dar servicio a embarcaciones pequeñas, de tipo recreativo.

La dinámica del medio ambiente marino, somete a las estructuras que en él se construyen, a la acción de fuerzas originadas por fenómenos que difieren sensiblemente de los que influyen a las obras en tierra.

Este trabajo presenta las consideraciones que deben hacerse para el calculo y diseño de un muelle flotante, que son las estructuras principalmente asociadas a los desarrollos náuticos denominados Marinas.

Consta de tres partes. la primera incluye aspectos generales que deben tomarse en cuenta para la planeación de una Marina.

La segunda, contempla los puntos básicos relacionados con las características y el cálculo de los muelles flotantes.

Finalmente, en la tercera parte se despliega numéricamente el calculo y diseño de un muelle flotante, compaginándose con figuras que ilustran detalles del proceso.

Adicionalmente, se anexan gráficas que se requieren para definir algunos factores.

CAPITULO I

M A R I N A S .

a.- Antecedentes históricos.

Los puertos para embarcaciones pequeñas han existido desde que se inició la aventura del hombre hacia el mar.

Los egipcios, en tiempos de Amenemhat I y Amenemhat II iniciaron expediciones hacia el mar Rojo entre los años 2000 y 1904 A.C., posteriormente cretenses, fenicios y cartagineses continuaron explorando el mar Egeo, mediterráneo y las costas del Atlántico, teniendo como principal móvil el comercio marítimo.

El arribo de Cristóbal Colón en 1492 a las costas de lo que posteriormente se conocería como continente Americano, sólo fue posible por los conocimientos de navegación, construcción de embarcaciones y puertos que ya se habían alcanzado.

La definición de Marina, es reciente como una entidad específica, el vocablo procede del idioma Italiano y significa "puerto pequeño".

Son puertos deportivos por excelencia, que disponen de servicios para las embarcaciones y se constituyen en el asiento permanente de una flota, cuyos usuarios cuentan con las facilidades de alojamiento propio en instalaciones inmediatas al puerto.

Los avances tecnológicos en el uso de diversos materiales tales como la madera, concreto, acero, aluminio y sintéticos fueron la base para la producción masiva de embarcaciones recreativas y la consecuente proliferación de las Marinas.

Generalmente, este tipo de puertos van asociados a desarrollos turísticos integrales.

a.1.- ESTRUCTURA DE UNA MARINA

Area de muelles y espacios para
embarcaciones. (32 %)

AREA DE AGUA

Canal y accesos. (24 %)

Almacenaje de embarcaciones.
(30 %)

AREA DE TIERRA

Estacionamiento. (8 %)

Edificios y facilidades
de apoyo. (6 %)

b.- PLANEACION PORTUARIA.

Se entiende por planeación a la adopción de un sistema racional para prever la creación o desarrollo de un puerto, tomando en cuenta la multiplicidad de actividades que se realicen en el lugar propuesto a las escalas internacional, nacional, regional y local.

b.1.- PLANEACION Y NORMAS DE DISEÑO.

Es importante considerar los siguientes puntos para la planeación de una Marina, mismos que deben concordar con las condiciones físicas e históricas prevalecientes.

- b.1.1.- ESTUDIO DE MERCADO.
- b.1.2.- INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS DEL SITIO.
- b.1.3.- DATOS SOBRE EL NIVEL DEL AGUA.
- b.1.4.- CONTROL TOPOGRÁFICO.
- b.1.5.- BATIMETRIA.
- b.1.6.- TENENCIA DE LA TIERRA.
- b.1.7.- ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS
- b.1.8.- ESTUDIOS AMBIENTALES.
 - b.1.8.1.- VIENTO.
 - b.1.8.2.- OLEAJE.
 - b.1.8.3.- CORRIENTES.
 - b.1.8.4.- MAREAS.

b.2.- DIMENSIONAMIENTO

4

La información de campo, adecuadamente procesada, dotará al proyectista de los elementos necesarios para definir las dimensiones de las obras a construir, dentro o fuera del agua, para lo que debe tomarse en cuenta los aspectos, siguientes:

b.2.1.- DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES.

b.2.1.1.- CANAL DE ACCESO.

b.2.1.2.- DÁRSENA.

b.2.1.3.- MUELLES.

b.2.2.- FLUJO DE LA MARINA.

b.2.3.- ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN DE LA COSTA.

b.2.4.- CANALES DE NAVEGACIÓN.

b.2.5.- DRAGADO Y DISPOSICIÓN DE MATERIALES DEL DRAGADO.

b.3.- SERVICIOS.

El fin recreativo de las Marinas, exige que estén dotadas de servicios para la protección y mantenimiento de las embarcaciones, así como para la comodidad de las personas que las utilizan.

b.3.1.- SUMINISTRO DE AGUA POTABLE.

b.3.2.- SISTEMA DE DRENAJE SANITARIO Y AGUAS RESIDUALES.

b.3.3.- BASURA SÓLIDA.

b.3.4.- ACEITE RESIDUAL.

b.3.5.- INSTALACIONES EN TIERRA.

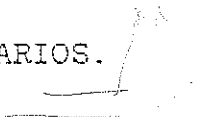
b.3.5.1.- ZONAS DE VARADERO.

b.3.5.2.- ZONA DE ALMACENAJE DE EMBARCACIONES.

b.3.5.3.- ZONA DE REPARACIÓN.

b.3.5.4.- ESTACIONAMIENTO.

b.3.5.6.- SERVICIOS COMPLEMENTARIOS.



CAPITULO II

MUELLES FLOTANTES.

a.- Definición.

Los muelles flotantes son estructuras de atraque y amarre de embarcaciones que por su disposición típica se pueden clasificar como muelles en espigón para pasajeros, construidas de tal forma que tienen libertad de movimiento vertical pero no horizontal.

b.- Consideraciones generales.

Hace unos treinta años. los muelles flotantes eran contruidos por las mismas personas que se dedicaban a la navegación recreativa o por constructores locales utilizando los materiales disponibles.

En la actualidad los sistemas de muelles flotantes se han convertido en un componente primario de las modernas Marinas.

La unión de un buen diseño y el uso de nuevas tecnologías en los materiales ha generado el desarrollo de una alta resistencia. bajo mantenimiento y menor costo de los sistemas de muelles flotantes. El incremento de la resistencia. permite mayor flexibilidad en el diseño de los sistemas de amarre.

c.- Materiales.

Para la construcción de muelles flotantes existen muchos materiales diferentes y al utilizar cualquiera de ellos. los principios de diseño son similares.

Básicamente. se emplea madera. acero. aluminio. concreto. fibra de vidrio y otros materiales plásticos.

El criterio de selección descansa principalmente sobre el factor costo.

Cada uno de ellos tiene sus propias características. ventajas y desventajas.

Se indican algunos aspectos relacionados con los materiales básicos utilizados en la construcción de muelles flotantes con el

objeto de que se tomen a manera de consideraciones iniciales para la selección de los mismos.

c.1.- Madera.

La madera en sus varias formas es un material primario de construcción de muelles. Se puede obtener y manejar fácilmente, con herramientas convencionales y una mano de obra relativamente diestra.

La madera cuenta con tradición en la construcción en el medio marino, además de que se puede encontrar en el mercado en medidas estándar y con bajo costo. Es durable, si se diseña y trata con propiedad, es posible reparar fácilmente y tiene una razonable vida útil para estructuras marinas.

La madera es un material natural con propiedades que pueden afectar estructuralmente, puede tender a astillar, flambear y otras distorsiones. Puede ser sujeto de deterioro y abrasión mecánica, su estructura fibrosa puede causar encapilladura. Sus conexiones deben hacerse con piezas metálicas para asegurar una apropiada transferencia de cargas.

Es muy amplia la gama de posibilidades para el uso de este material: Cubiertas, pasarelas, largueros, pilotes, etc.

c.2.- Acero.

Es un material extensamente usado en muelles flotantes. De fácil disponibilidad, trabajo y manejabilidad.

El trabajo de soldadura, corte y torneado requiere de equipo especial de uso normal.

El acero acepta una gran variedad de materiales impermeabilizantes y tratamientos en su superficie. Para consideraciones estructurales, ofrece la mayor flexibilidad de diseño y competencia estructural. Si no se protege con propiedad puede ser objeto de corrosión lo cual constituye quizá la mayor desventaja para su uso en estructuras dentro, sobre o alrededor del medio ambiente marino.

Es también un muy buen conductor eléctrico y térmico lo que posiblemente origine peligro a menos que sea adecuadamente puesto a tierra o protegido.

Se utiliza en herrajes, pasarelas, dispositivos de amarre, elementos estructurales en pontones.

c.3.- Concreto.

Es un material compuesto, hecho con la combinación de cemento, agua y agregados que se puede moldear en una infinita variedad de formas. Su resistencia y densidad pueden modificarse por alteración de las proporciones de mezclado y por la adición de refuerzo.

El uso de polímeros mezclados con el concreto mejoran considerablemente su resistencia estructural y a los efectos de la corrosión.

El concreto reforzado puede ser sujeto de corrosión rápida y resultar fallas en la superficie si se utilizan materiales o procedimientos constructivos inadecuados.

Los concretos especiales tales como el concreto reforzado con fibra de vidrio han venido ganando aceptación como materiales de construcción de muelles flotantes porque son generalmente de peso mas ligero que el concreto convencional y puede ser moldeado en secciones delgadas.

Finalmente debe decirse que el concreto se usará con precaución para evitar esfuerzos de ruptura y daños por impacto. Se emplea en la fabricación de unidades de flotación, pilotes, etc.

c.4.- Aluminio.

Los sistemas de muelle en los que se utiliza aluminio, son de amplia aceptación en instalaciones marinas. Tiene una alta resistencia en razón de su peso y es frecuentemente utilizado en la fabricación estructural. Se puede trabajar y ensamblar con facilidad, sin embargo su torneado y soldadura requieren de mano de obra calificada.

Ciertas aleaciones de aluminio son especialmente resistentes a la corrosión marina, es un metal relativamente suave y sujeto a daño cuando está en contacto con otros de mayor dureza. Es muy buen conductor térmico y eléctrico por lo que debe aislarse eléctricamente y dotarse de protección térmica bajo los pies cuando se usa en cubiertas. Sin una preparación previa y detallada de la superficie, la pintura del aluminio fallará prematuramente.

c.5.- Fibra de vidrio.

La fibra de vidrio se usa extensamente en la fabricación de botes pero no es muy empleado como material en la construcción de

muelles. Se ha usado mas en la reparación de unidades de flotación en pontones.

La fibra de vidrio se trabaja por mano de obra experta y puede repararse con facilidad resultando las reparaciones tan o más fuertes que el material original. Se puede moldear en una gran variedad de formas y tamaños así como pintarse para obtener diseños distintos y atractivos.

d.- Tipos de muelles flotantes.

Los muelles flotantes pueden clasificarse en tipo económico, mediano y de primera, atendiendo a los servicios, ayudas, y capacidad estructural con que cuentan.

e.- Criterios para cargas de diseño.

El análisis y diseño ingenieril de estructuras marinas, requiere comprender el tipo de cargas que actúan sobre ellas.

Estas cargas toman diversas formas y la primera a considerarse es la carga muerta.

e.1.- Carga muerta.

Se define como el peso de la armazón y otros componentes estructurales permanentemente integrados.

Para los sistemas de muelle en marinas la carga muerta debe incluir; armazón del muelle, cubierta, herrajes, unidades de flotación, pasarelas, equipo de protección contra incendio (Si está permanentemente unido a la estructura) y cualquier otro material o equipo fijos.

Generalmente no es necesario analizar cada uno de éstos dispositivos porque existen pesos estimados por promedio como los que se incluyen en los Reglamentos de construcción de las diferentes entidades.

En la estimación del peso del muelle particularmente debe tenerse cuidado con el peso unitario de la madera debido a que variará de acuerdo con la especie de que se trate, contenido de humedad y tratamiento de preservación.

e.2.- Cargas vivas.

Son cargas activas y cambiantes que pueden actuar sobre la estructura. En el diseño de marinas, la categoría general de carga viva es el peso de la gente. Asociado con el peso de la gente está cualquier carga que ésta pueda llevar.

Otras cargas vivas como son las producidas por la acción del viento, oleaje, de impacto, etc., normalmente se especifican como tales y son analizadas independientemente.

No existe una normalización de validez general respecto a las cargas vivas que deben usarse en el diseño de un muelle flotante.

e.3.- Carga por viento.

Este trabajo no asume la investigación de velocidades y vientos de diseño.

Con una velocidad de viento y una dirección determinada, se puede estimar la carga por viento que actúa sobre una estructura.

La velocidad y dirección del viento se determinan a partir de datos estadísticos.

La velocidad del viento representativo se aplica a las áreas asociadas con el promedio de alturas y longitudes de las embarcaciones para desarrollar una carga por viento para cada tipo de embarcación y subsecuentemente una carga por todos los botes de la marina.

El promedio de alturas y longitudes referido, se puede estimar haciendo uso de la gráfica de la fig. No. 1.

La suma de las cargas por viento individuales proporcionan la carga por viento total de la marina.

La dirección desde la cual un viento dado impacta sobre la superficie del casco de una embarcación u otras estructuras, es también importante.

De acuerdo con lo anterior, mediante la utilización de la gráfica contenida en la Fig. No. 2 se puede determinar un factor de dirección (D).

Se admite además la reducción de los efectos del viento sobre los botes que están escudados por otras embarcaciones.

El efecto de escudado de un bote por otro puede estimarse haciendo uso de la gráfica de la Fig. No. 3.

Por agrupación de arreglos comunes de embarcaciones en una unidad simple, se determina la carga de arreglos combinados y este dato se utiliza en el diseño y análisis del muelle.

Se entiende por arreglo al agrupamiento de embarcaciones con tamaños similares.

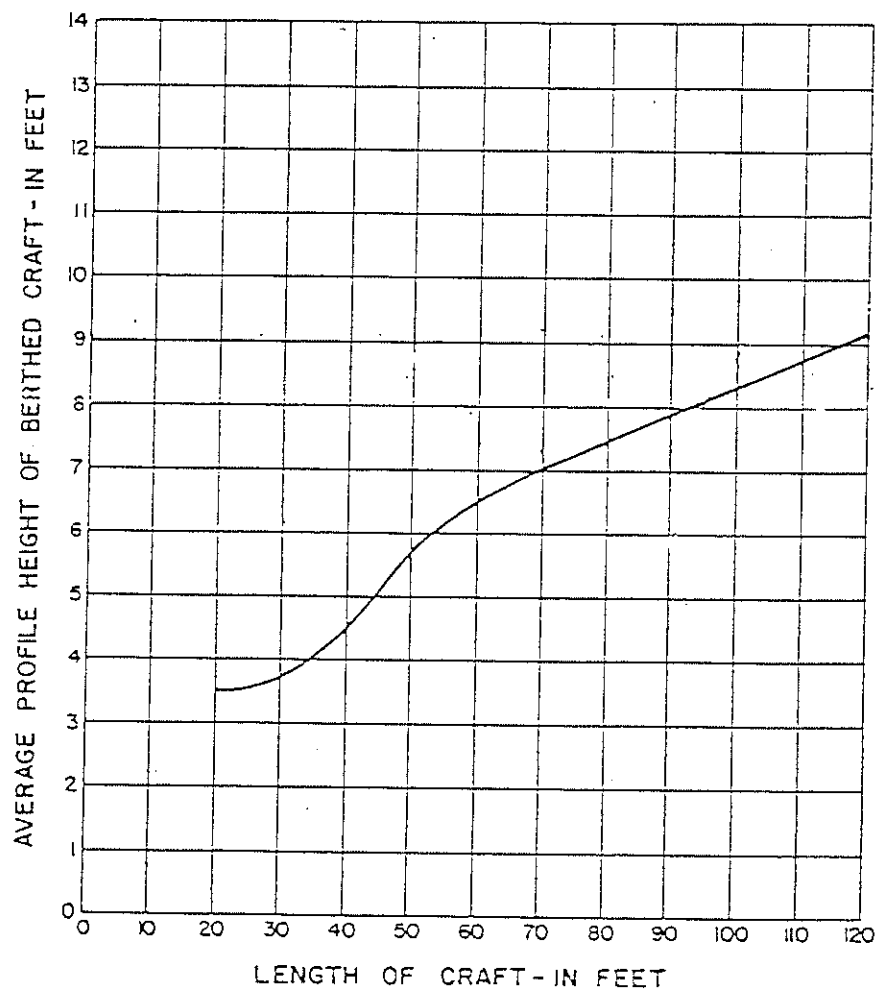


FIG. No. 1 ALTURA PROMEDIO DEL PERFIL.

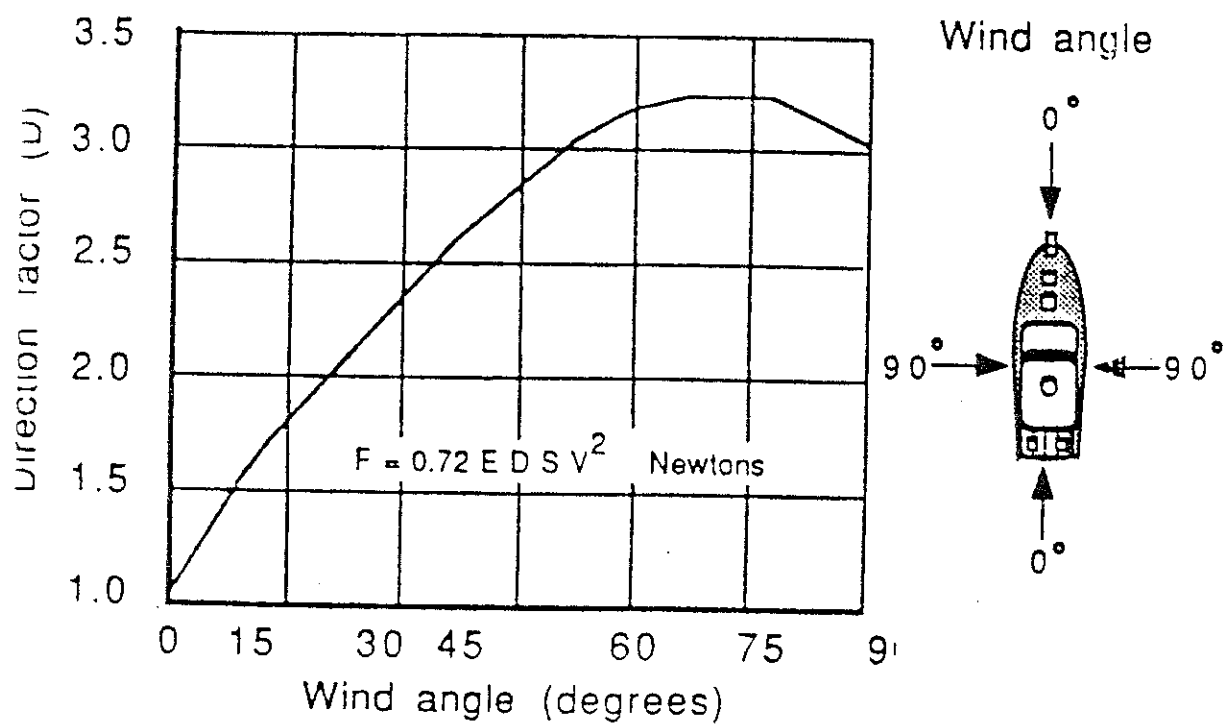
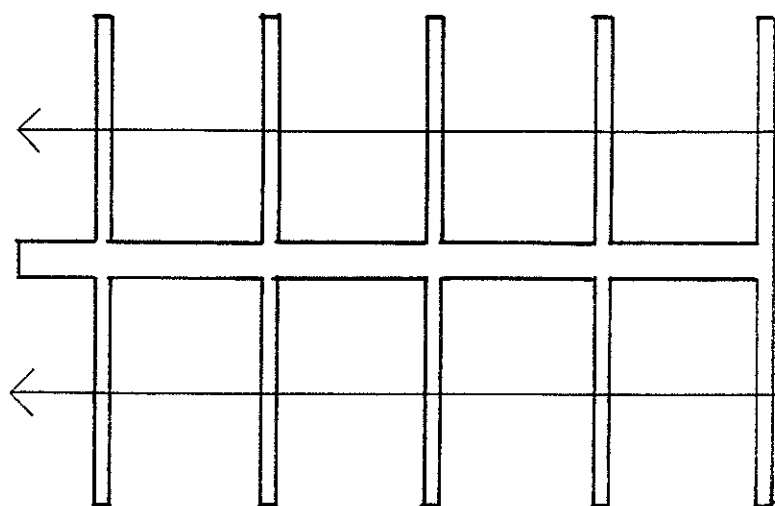


FIG. No. 2 FACTORES DE DIRECCION DEL VIENTO EN FUNCION DEL ANGULO DE INCIDENCIA.

DIRECCION DEL VIENTO

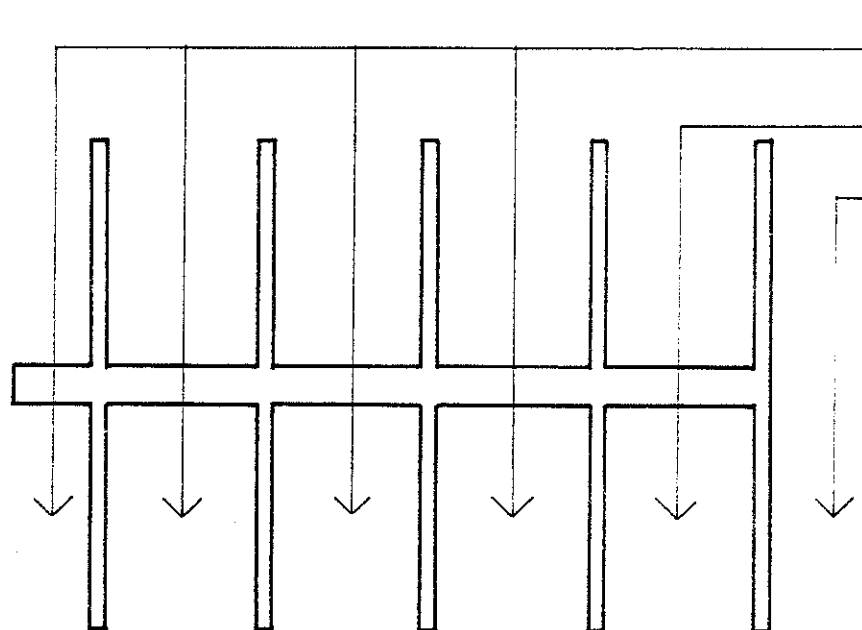


Fila 1 , $S=1.0$

Fila 2 , $S=0.5$

Fila 3 y posteriores, $S=0.3$

Viento en direccion longitudinal.



Fila 3 y posteriores, $S= 0.3$

Fila 2 , $S= 0.5$

Fila 1 , $S=1.0$



DIRECCION
DEL VIENTO.

Viento en direccion transversal.

FIG. Nº 3. EFECTO DE ESCUDADO DE BOTES
BASADO EN LA DIRECCION DEL VIENTO.

e.4.- Carga por corrientes.

Algunas marinas son impactadas de una manera significativa por las corrientes. Es importante orientar tales marinas para disminuir los efectos desde la perspectiva de maniobra de los botes dentro y fuera de los espacios de las embarcaciones y las cargas de la corriente contra las mismas, transferidos al sistema de muelle.

En general la orientación de atraque mas deseable será la que permita a la embarcación mantener su eje longitudinal paralelo a la corriente. El ahusamiento natural del casco presentará la menor superficie y resistencia al flujo de la corriente.

Es importante considerar un factor de carga debido a las corrientes fuertes.

En la gráfica de la Fig. No. 4 se tienen valores de presión por corriente entrando con velocidad de la corriente en nudos.

Así mismo se tienen valores del Coeficiente de arrastre (CD), dependiendo de la posición de la embarcación con respecto a la corriente.

La presión obtenida multiplicada por el area del casco bajo el agua, nos dará una aproximación de la fuerza total ejercida por la corriente sobre la embarcación considerada. Esta carga se sumará a las de viento y oleaje para el diseño de los muelles.

e.5.- Carga por impacto.

La carga por impacto de la embarcación es especialmente importante en el diseño de muelles flotantes.

Para calcular las fuerzas de impacto sobre la embarcación, es necesario determinar varios datos.

Primero se define una Velocidad de aproximación del barco, misma que no debe ser menor de 0.26 m/seg.

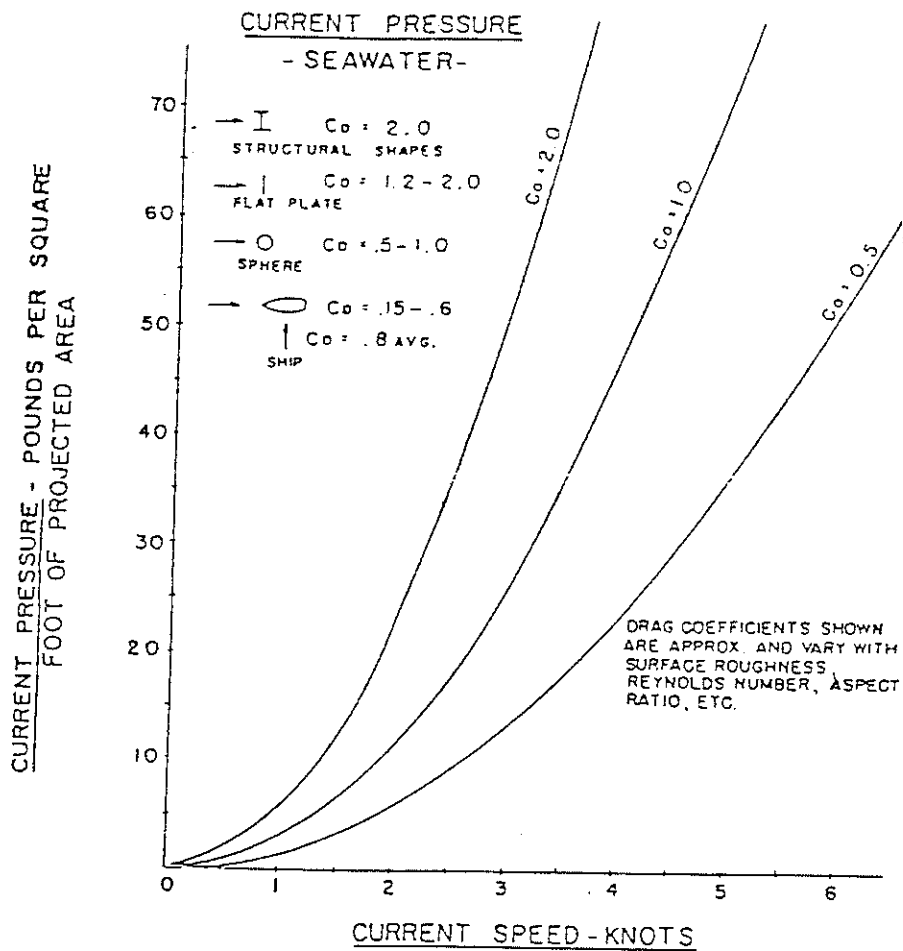
Es necesario conocer además el peso (Desplazamiento) de la embarcación que está causando el impacto.

Otro aspecto importante para este propósito, es el ángulo al que la embarcación golpea el extremo final del muelle en peins.

El ángulo de aproximación se utiliza para desarrollar la carga componente del impacto, para el análisis de cargas como se muestra en la Fig. 5.

e.6.- Carga por oleaje.

En el caso de una embarcación atracada, el oleaje que actúa sobre ella genera una fuerza que se transmite a las estructuras.



From Dynamic Drag Equation: $P = \frac{1}{2} \frac{\rho}{g} V^2 C_d$

For V in fps and P in psi: $P = V^2 C_d$

FIG. No. 4 PRESION EJERCIDA POR LA CORRIENTE SOBRE LA EMBARCACION.

C_d = Coeficiente de arrastre.

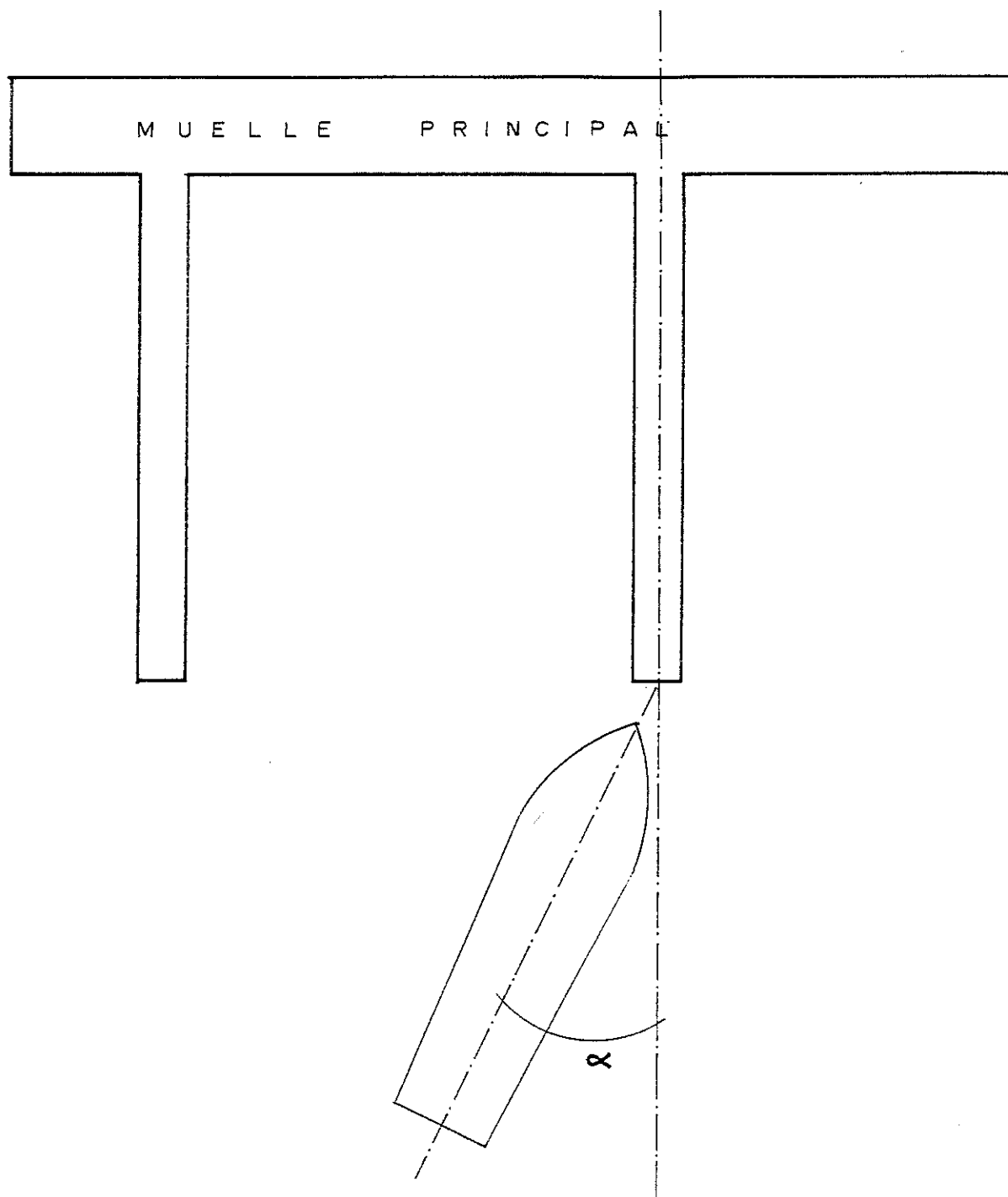


FIG. N°5 ANGULO DE IMPACTO DEL BOTE.

Los valores de los coeficientes de las fuerzas de inercia para un ángulo de incidencia del oleaje de 90° , están dados por la grafica contenida en la Fig. No. 5a.

f.- Transferencia de cargas.

De manera general, se puede decir que el viento, la acción del oleaje o las corrientes primero actúan sobre la embarcación que está flotando, ésta la transmitirá a las amarras, que a su vez, las transfieren a las cornamusas y éstas pasan las cargas a la estructura del muelle. La estructura del muelle transfiere la carga al pilote o al sistema de anclaje en el fondo. La carga llega al subsuelo por la interacción del pilote con el suelo o por resistencia a la tensión de una ancla embebida.

En el curso de estos eventos se pierde alguna energía, tal como ocurre cuando el bote se está moviendo, la amarra se estira o cuando el pilote se flexiona.

La mayoría de los muelles flotantes soportados por pilotes utilizan una disposición simple de ellos.

El pilote actúa como una viga en cantiliver que está empotrada y la carga horizontal es transferida al subsuelo, mismo que resiste la acción de la carga empujando contra el pilote.

En algún punto de la longitud de empotramiento, la acción de la carga se invierte y el suelo, en el lado opuesto del pilote empuja contra él para impedir que gire fuera del subsuelo. Lo anterior, se ilustra en la Fig. No. 6.

Si la utilización de pilotes no es posible, entonces la alternativa de anclaje en el fondo por medio de cadenas o cables deberá considerarse.

f.1.- Localización de los puntos de amarre.

Si las secciones del muelle flotante están conectadas con soldadura, pueden requerir de amarre en cada sección debido a su inherente incapacidad para transmitir las cargas aplicadas por la embarcación entre secciones. Si el muelle es continuo, monolítico puede tener entre 15.0 y 30.0 m. de un soporte de amarre a otro.

La tendencia en el buen diseño de un muelle flotante es a utilizar sistemas de amarre de alta resistencia con los mínimos puntos de soporte.

Si el análisis deja lugar a dudas, es recomendable efectuar el hincado de pilotes de prueba.

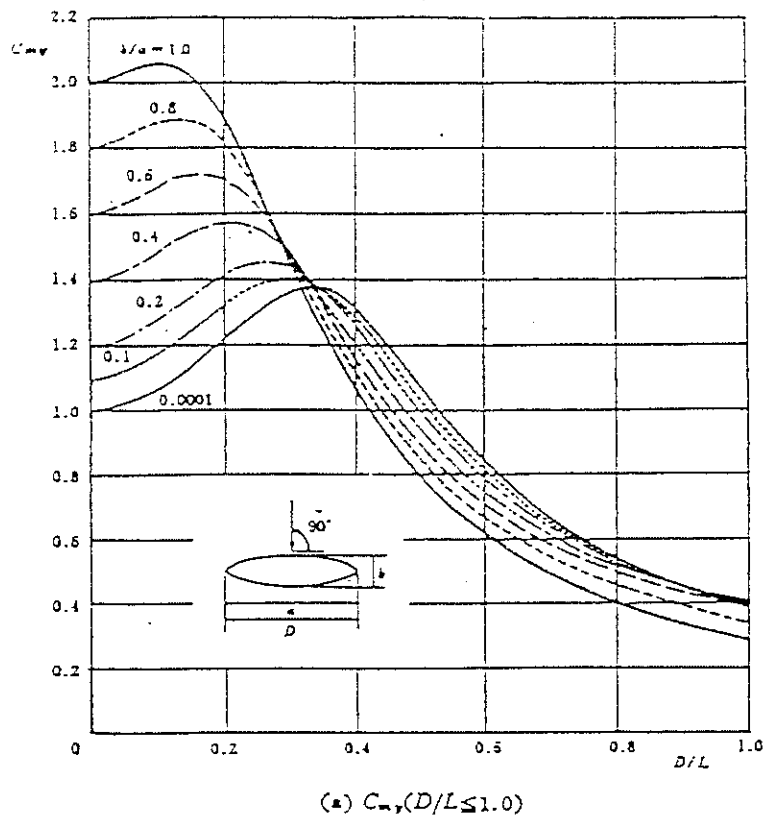


Fig. No. 5a. COEFICIENTES DE LAS FUERZAS DE INERCIA.

- C_{my} = Coeficiente de la fuerza de inercia correspondiente a $F_{y\max}$.
 $F_{y\max}$ = Componente de la fuerza en el eje menor. (Eje y).
 D = Longitud de la embarcación, proyectada en la dirección del oleaje incidente.
 L = Longitud del oleaje incidente.

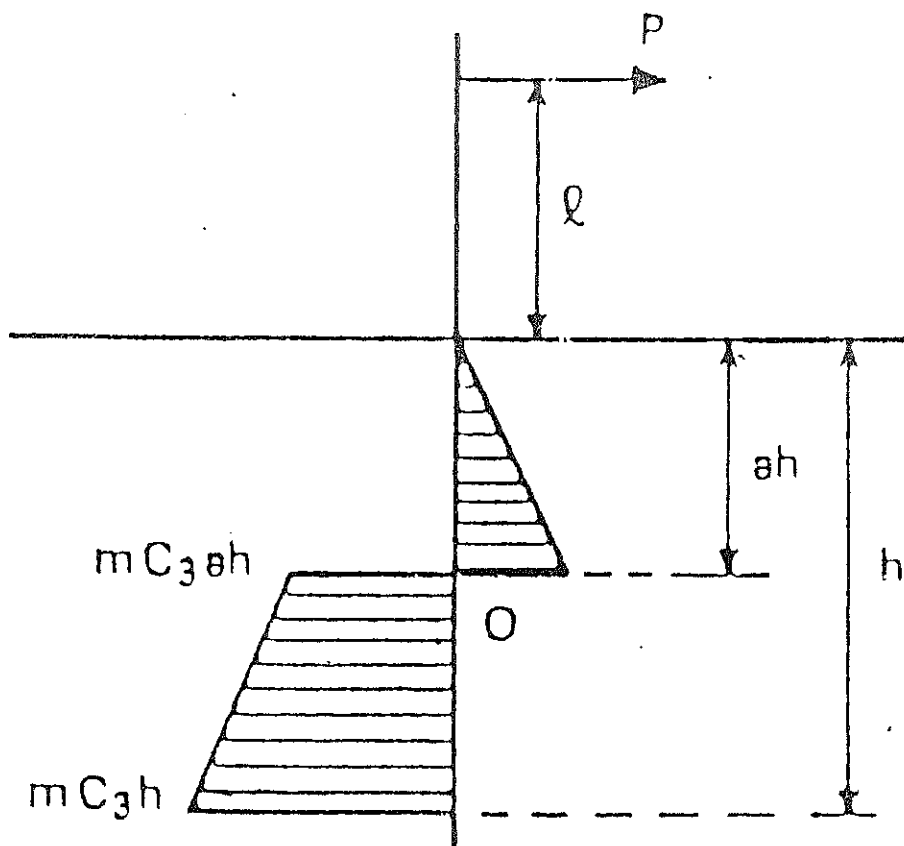


FIG. No. 6 PILOTE SUJETO A CARGAS LATERALES.

m = Coeficiente
 C_3 = Equivalencia hidráulica del terreno.

f.2.- Análisis del pilote.

Para el diseño de pilotes a utilizarse como sistema de sujeción de muelles flotantes, se debe:

- a).- Desarrollar una carga de diseño racional.
- b).- Analizar la capacidad de carga de un pilote particular.

Si en la marina existen embarcaciones de diferentes tamaños, condiciones variables de suelo o profundidades de agua variables, la disposición de la marina se divide en arreglos compatibles de tal forma que cada uno de ellos responda a criterios similares.

La Fig. No 7 muestra el tipo de información que debe considerarse en la determinación de la altura necesaria de un pilote sobre el fondo aparente.

g.- Factores de seguridad.

Virtualmente en todos los análisis de diseño deben considerarse factores de seguridad. Esto es especialmente necesario en el diseño de marinas dadas las características de las variables involucradas. Los factores de seguridad cambiarán con los diferentes tipos de material y situaciones de diseño.

CAPITULO III

CALCULO Y DISEÑO DE UN MUELLE FLOTANTE UTILIZANDO PILOTES COMO SISTEMA DE AMARRE.

a.- Características del muelle.

En éste trabajo se considera el diseño de un muelle flotante con marco de madera que debe cumplir con los requisitos que se indican:

Francobordo por carga muerta: entre 0.51 m. y 0.61 m.

Francobordo para una carga viva de 122.0 Kg/m²: 0.30 m. mínimo.

Dimensiones del flotador: 2.80 m. x 6.10 m.

Los flotadores estarán unidos por herrajes de acero reforzado y galvanizado.

La cubierta se construirá a base de un entarimado con piezas de madera de 2" x 6" en sentido longitudinal.

El sitio en el que se instalará el muelle bajo consideración está dentro de un puerto protegido y será usado para soportar las cargas ligeras de una marina recreativa tradicional.

La sección debe ser fuerte pero no es necesario que deba resistir los estados excitados del mar u otros criterios altos de carga.

La estructura se diseñará con un reforzamiento medio.

La literatura consultada establece que los flotadores están generalmente sujetos a las mayores cargas en el sentido longitudinal. No obstante, el flotador se armará con elementos transversales interiores para sostener las unidades de flotación y la placa de cubierta.

Se propone utilizar elementos transversales de 2" x 12" y largueros laterales de 4" x 12" de madera de pino de primera clase.

b.- Cálculo de la Carga Muerta.

Elemento	Peso m/l	Peso
2 piezas de 4" x 12" x 20"	17.03 Kg/m.l.	207.63 Kg.
6 piezas de 2" x 12" x 8'6"	8.55 Kg/m.l.	132.91 Kg.
19 piezas de 2" x 6" x 20"	4.27 Kg/m.l.	494.57 Kg.
Peso total estimado de la madera:		835.11 Kg.
Cable electrico		3.00 Kg.
tubería para agua		4.92 Kg.
Herrajes: 2.80 m. x 6.10 m. x 5.00 Kg.		85.40 Kg.
Suma total carga muerta:		928.43 Kg.

Se seleccionan unidades de flotación de Foam confinado con recubrimiento de polietileno de 2" x 4" en planta y 0.63 m. de altura. De acuerdo con las dimensiones de la armazón propuesta, se determina que pueden instalarse 12 unidades de flotación en tres filas de cuatro unidades cada una, en cada sección, tal como se indica en la figura No. 8.

c.- Cálculo del francobordo por Carga muerta.

Carga por unidad de flotación:

$$928.43 \text{ Kg.} / 12 = 77.37 \text{ Kg.}$$

Cada unidad se sumerge una pulgada por cada 14.0 Kg. de carga que se le apliquen.

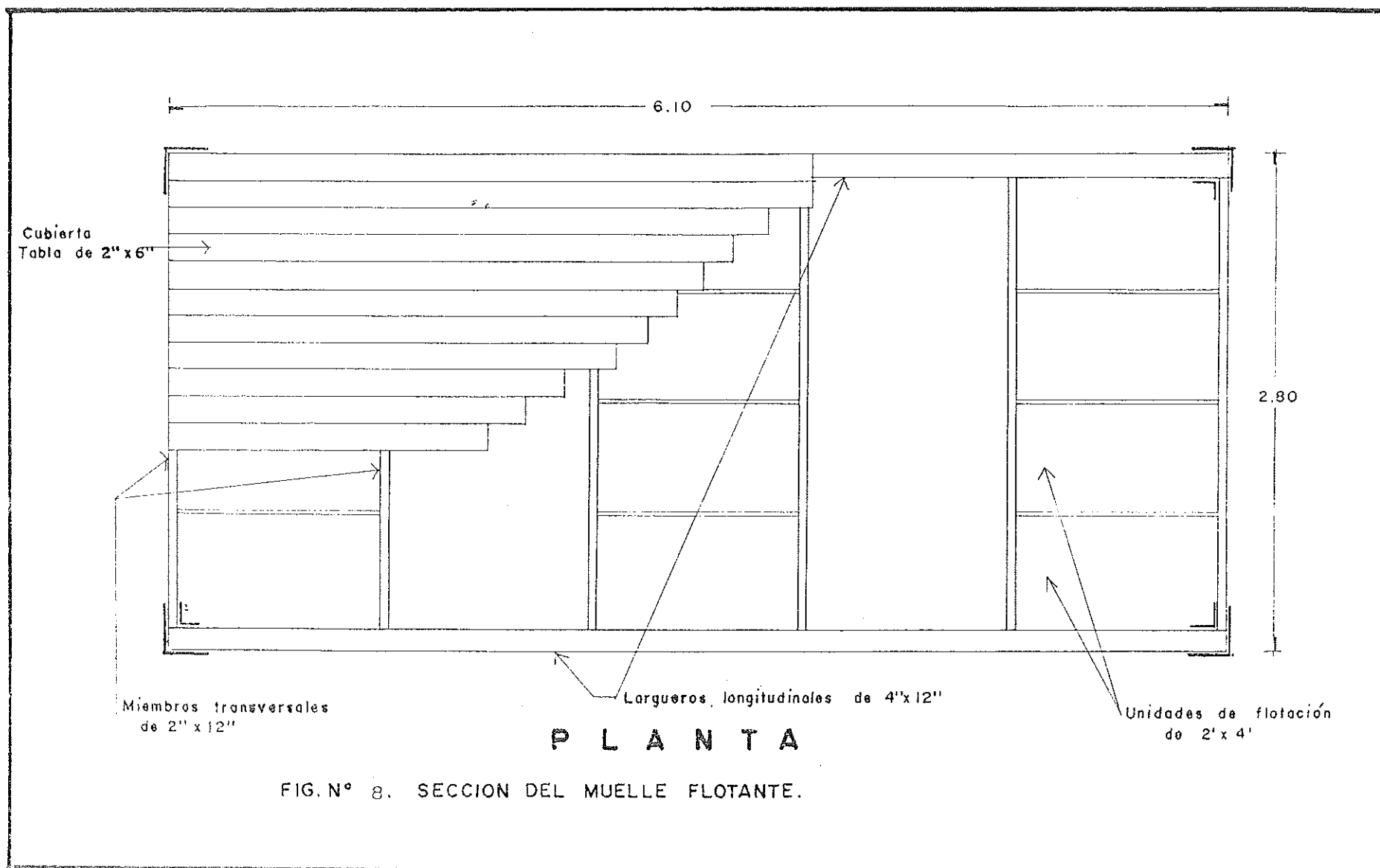
Calado:

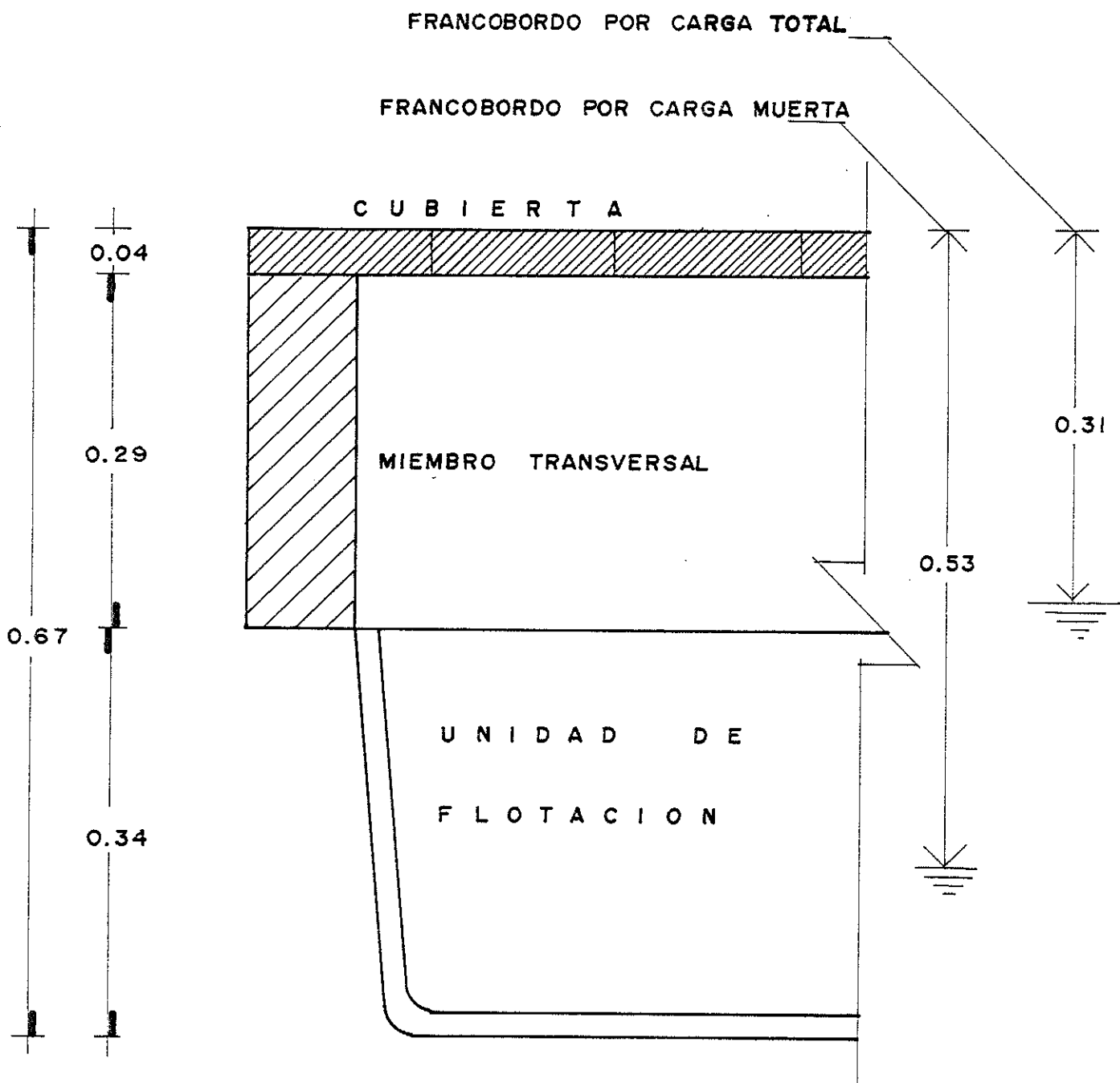
$$77.37 \text{ Kg.} / (14.0 \text{ Kg/pulg.}) = 5.53 \text{ pulg.} = 0.14 \text{ m.}$$

$$0.67 \text{ m.} - 0.14 \text{ m.} = 0.53 \text{ m.}$$

$$0.51 \text{ m.} < 0.53 \text{ m.} < 0.61 \text{ m.}$$

El francobordo por carga muerta obtenido está dentro del criterio indicado. Ver Fig. No. 9.





SECCION TRANSVERSAL.

FIG. N° 9. ANALISIS DE CAPACIDAD DE CARGA.

d.- Cálculo del francobordo por carga viva:

Carga viva por flotador:

$$(122.0 \text{ Kg/m}^2) \times (17.08 \text{ m}^2) = 2,083.76 \text{ Kg.}$$

carga total:	Carga muerta	928.43 Kg.
	Carga viva	2,083.76 Kg.

		3,012.19 Kg.

Carga total por unidad de flotación:

$$(3,012.19 \text{ Kg}) / 12 = 251.02 \text{ Kg.}$$

El promedio de carga que las unidades de flotación soportan cerca del calado máximo es de 17.5 Kg. por pulgada de desplazamiento.

Sumergencia unitaria por carga total:

$$(251.02 \text{ Kg}) / (17.50 \text{ Kg/pulg}) = 14.34 \text{ pulg} = 0.364 \text{ m.}$$

Francobordo:

$$0.67 \text{ m.} - 0.364 \text{ m.} = 0.306 \text{ m.}$$

Lo que satisface el criterio mínimo de .30 m de francobordo a carga total.

e.- Análisis estructural.

e.1.- Estructura de cubierta.

Se usará el criterio de 244 Kg/m² para carga viva, con el fin de asegurar que la estructura de cubierta no falle antes de que el muelle tenga la sumergencia máxima.

El entarimado de cubierta está formado con miembros de madera de 2" x 6" cepillada en sus cuatro lados.

El esfuerzo de flexión permisible (f'_{fu}) para este tipo de madera es de 170.0 Kg/cm².

e.1.1.- Cálculo del momento flexionante y flecha.

El módulo de sección (S) de una tabla de 2" x 6" cepillada a 1.5" x 5.5" es:

$$S = (b \times d^2) / 6, \text{ sustituyendo valores}$$

$$S = [(13.97 \text{ cm})(3.81 \text{ cm})^2] / 6 = 33.80 \text{ cm}^3$$

El máximo momento flexionante admisible (M_o):

$$M_o = (S_x)(f'_{fu})$$

$$M_o = (33.80 \text{ cm}^3)(170.0 \text{ Kg/cm}^2) = 5746.00 \text{ Kg.cm} = \\ = 57.46 \text{ Kg.m}$$

Los miembros transversales de la armazón están separados 1.22 m. por lo que el claro del entarimado de cubierta es de esta longitud.

La fórmula del momento flexionante para una viga en flexión simple y libremente apoyada en los extremos es:

$$M = \frac{wl^2}{8}$$

w = Carga uniformemente distribuida.

l = longitud del claro.

$$w = (0.186 \text{ m}^2)(244.0 \text{ Kg/m}^2) = 45.37 \text{ Kg./m}$$

$$M = [(45.37 \text{ Kg/m})(1.22 \text{ m})^2] / 8 = 8.44 \text{ Kg.m}$$

$$8.44 \text{ Kg.m} < 57.46 \text{ Kg.m}$$

El entarimado de cubierta cumple el criterio de esfuerzo admisible para la flexión.

La Deflexión del entarimado de cubierta bajo la carga viva de diseño se puede calcular a partir de la fórmula:

$$\Delta = \frac{5wl^4}{384 EI}$$

Donde; w = carga uniformemente distribuida.

l = longitud del claro.

E = Módulo de elasticidad de la madera.

I = Momento de inercia de la sección transversal.

La ecuación para el momento de inercia de una sección rectangular es:

$$I = \frac{bd^3}{12}$$

$$b = 13.97 \text{ cm.}$$

$$d = 3.81 \text{ cm.}$$

Sustituyendo;

$$I = [(13.97 \text{ cm})(3.81 \text{ cm})^3] / 12 = 64.39 \text{ cm}^4.$$

Entonces;

$$\text{Defl.} = [5(0.454 \text{ Kg/cm})(122.0 \text{ cm})^4] / [384(100,000 \text{ Kg/cm}^2)(64.39 \text{ cm}^4)] = 0.20 \text{ cm.}$$

La Deflexión permisible es;

$$\text{Defl. perm.} = 1 / 200 = 122.0 \text{ cm} / 200 = 0.61 \text{ cm.}$$

$$0.61 \text{ cm} > 0.20 \text{ cm}$$

Por lo tanto, la deflexión está dentro de los límites permisibles.

e.1.2.- Carga concentrada.

Es importante analizar aparte una carga concentrada como la que produce una persona de 80.0 Kg. parada en el centro de un tablón.

La fórmula del momento flexionante máximo para una carga concentrada en el centro del claro es;

$$M = \frac{Pl}{4}$$

P = Carga concentrada.

l = Longitud del claro.

$$M = (80.0 \text{ Kg} \times 1.22 \text{ m}) / 4 = 24.40 \text{ kg.m}$$

$$24.40 \text{ Kg.m} < 34.45 \text{ Kg.m}$$

Lo que es satisfactorio.

La Deflexión se calcula con la ecuación;

$$\Delta = \frac{Pl^3}{48EI}$$

En la que sustituyendo valores;

$$\text{Deflex.} = [(80.0 \text{ Kg})(122.0 \text{ cm})] / [48(100,000 \text{ Kg/cm}^2)(64.39 \text{ cm}^4)] = 0.47 \text{ cm.}$$

$$0.39 \text{ cm.} < 0.61 \text{ cm.}$$

satisfactorio.

$$(13.97 \text{ cm})(3.81 \text{ cm}) = 53.23 \text{ cm}^2$$

El esfuerzo cortante admisible paralelo a la fibra para la madera es $f'_{vy} = 15.0 \text{ Kg/cm}^2$.

La carga cortante equivale a:

$$(0.454 \text{ Kg/cm})(122.0 \text{ cm}) = 55.39 \text{ Kg.}$$

dividida por dos apoyos, es igual a 27.70 Kg de corte en cada uno.

La carga cortante permisible es;

$$(53.23 \text{ cm}^2)(15.0 \text{ Kg/cm}^2) = 798.45 \text{ Kg.}$$

$$798.45 \text{ Kg} > 55.39 \text{ Kg}$$

Por lo tanto el tablón es satisfactorio en cortante.

e.2.- Análisis de los elementos transversales.

El área contribuyente para los miembros transversales será una franja de 122.0 cm , 0.61 cm. en cada lado de la viga.

e.2.1.- Revisión por momento flexionante.

Con una carga de diseño de 244 Kg/m² mas una carga muerta adicional de 28.02 Kg/m² por el peso del entarimado, la carga uniformemente distribuida será;

$$(272.02 \text{ Kg/m}^2)(1.22 \text{ m.}) = 331.86 \text{ Kg/m.}$$

El Momento flexionante máximo es: $M = wl^2 / 8 =$

$$= ((331.86 \text{ kg/m})(2.60 \text{ m.})^2) / 8 = 280.42 \text{ Kg.m}$$

El módulo de sección de un tablón de 2" x 12" de canto es:

$$S_x = bd^2 / 6 = ((3.81 \text{ cm})(29.21 \text{ cm})^2) / 6 = 541.79 \text{ cm}^3$$

$$M_o = (F'_u)(S_x) = (170.0 \text{ Kg/cm}^2)(541.79 \text{ cm}^3) = 92,105.54 \text{ Kg.cm} = 921.06 \text{ Kg.m}$$

$$921.06 \text{ Kg.m} > 280.42 \text{ kg.m} \quad \text{Correcto.}$$

Los elementos transversales son satisfactorios a flexión.

e.2.2.- Cortante.

La carga de corte es: $(331.86 \text{ Kg/m})(2.60 \text{ m}) = 862.84 \text{ kg.}$

$$862.84 \text{ Kg} / 2 \text{ soportes} = 431.42 \text{ Kg.}$$

El área de corte del tablón es;

$$(3.81 \text{ cm})(29.21 \text{ cm}) = 111.29 \text{ cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo cortante} = 431.42 \text{ Kg} / 111.29 \text{ cm}^2 = 3.88 \text{ Kg/cm}^2$$

$$3.88 \text{ Kg/cm}^2 < 15 \text{ Kg/cm}^2$$

Correcto.

e.3.- Análisis de la sección en conjunto.

e.3.1.- Flexión. Apoyos en los extremos.

A continuación se incluye completo el cálculo del módulo de sección de la sección integrada por un tablón del entarimado de cubierta trabajando en combinación con el larguero longitudinal.

Los resultados se concentran en la Fig. No. 10.

Los detalles pueden apreciarse gráficamente en la Fig. No. 11.

Areas;

$$A_1 = (3.81 \text{ cm})(13.97 \text{ cm}) = 53.23 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = (8.89 \text{ cm})(29.21 \text{ cm}) = 259.68 \text{ cm}^2$$

$$\text{Area total : } 312.91 \text{ cm}^2.$$

Distancia de los centros de gravedad de cada rectángulo al eje X:

$$d_1 = 31.12 \text{ cm.}$$

$$d_2 = 14.61 \text{ cm.}$$

Momentos de primer orden de las áreas A1 y A2 con respecto al eje X:

$$M_{x1} = A_1 \times d_1 = (53.23 \text{ cm}^2)(31.12 \text{ cm}) = 1,656.52 \text{ cm}^3$$

$$M_{x2} = A_2 \times d_2 = (259.68 \text{ cm}^2)(14.61 \text{ cm}) = 3,793.93 \text{ cm}^3.$$

$$\text{Momento estático de toda la figura } M_{x\text{total}} = 5,450.45 \text{ cm}^3$$

Distancia de los centros de gravedad de cada rectángulo al eje Y:

$$d_3 = 6.985 \text{ cm.}$$

$$d_4 = 4.45 \text{ cm.}$$

Momentos de primer orden de las áreas A1 y A2 con respecto al eje

Y:

$$M_{y1} = A_1 \times d_3 = (53.23 \text{ cm}^2)(6.985 \text{ cm}) = 371.81 \text{ cm}^3$$

$$M_{y2} = A_2 \times d_4 = (259.68 \text{ cm}^2)(4.45 \text{ cm}) = 1,155.58 \text{ cm}^3$$

FIGURA	SECCION b d	AREA	DISTANCIA DEL C.G. PROPIO AL EJE X	DISTANCIA DEL C.G. PROPIO AL EJE Y	Mx	My	DISTANCIA DEL C.G. PROPIO AL EJE Xc - Xc	MOMENTO DE INERCI A PROPIO Iy	MOMENTO DE INERCI A CENTRAL Iy
A1	3.81 x 3.97	53.23	31.12	6.99	1,656.82	371.81	13.70	9990.74	64.39
A2	8.89 x 29.21	259.68	14.61	4.45	3793.93	1154.28	2.82	2065.08	18,527.94
		312.91			5,450.45	1526.09		12,055.82	18,527.94

TABLA N° 10. CALCULO DEL MODULO DE SECCION.
Seccion compuesta.

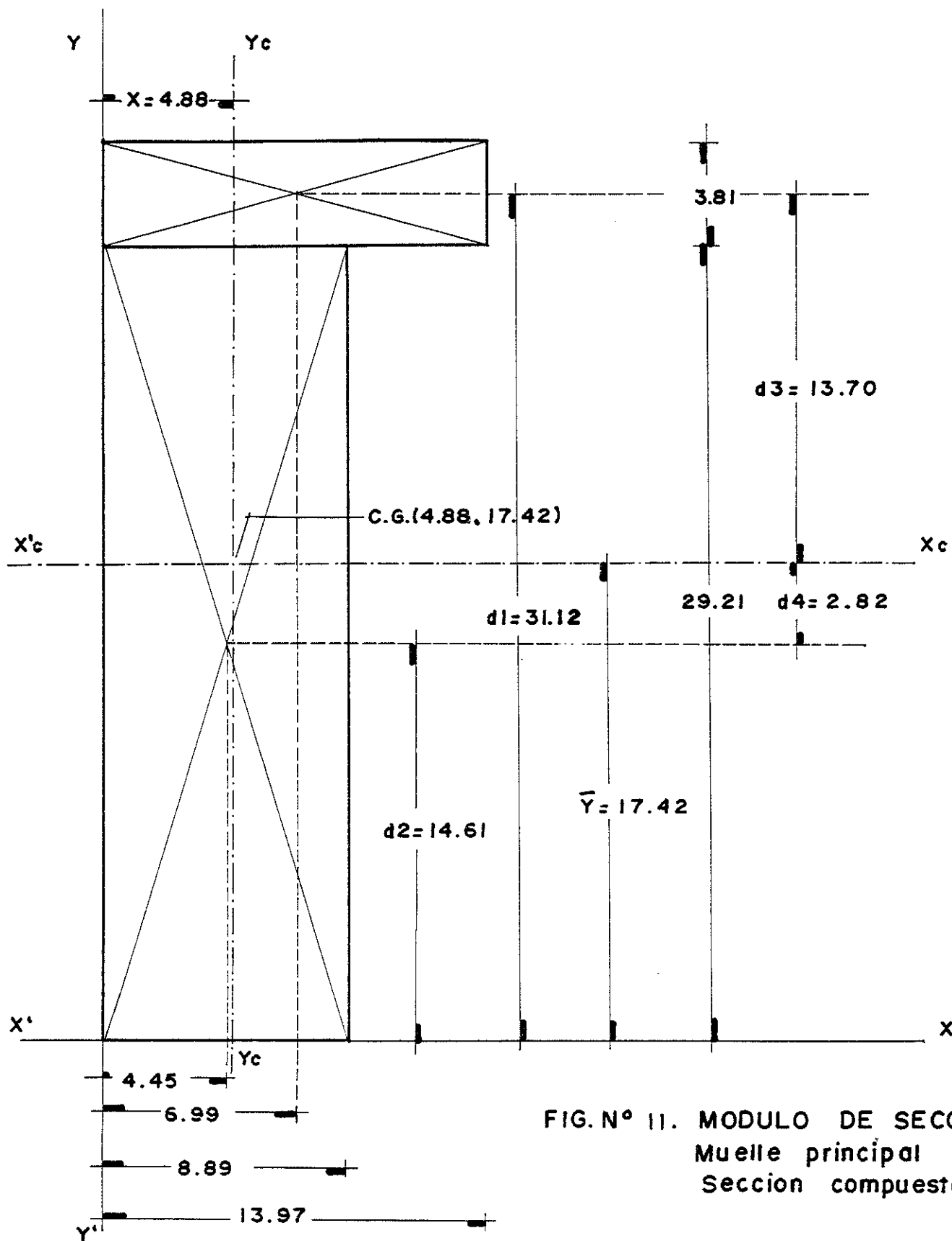


FIG. N° 11. MODULO DE SECCION.
Muelle principal
Seccion compuesta.

Momento estático de toda la figura $M_{yt} = 1,527.39 \text{ cm}^3$

Posición del Centro de gravedad:

$$\bar{y} = M_{xt} / A_t = 5,450.45 \text{ cm}^3 / 312.91 \text{ cm}^2 = 17.42 \text{ cm.}$$

$$\bar{x} = M_{yt} / A_t = 1,527.39 \text{ cm}^3 / 312.91 \text{ cm}^2 = 4.88 \text{ cm.}$$

Se calculan los momentos de inercia de cada rectángulo con respecto a su propio eje centroidal.

$$I_{x1} = ((13.97 \text{ cm})(3.81 \text{ cm})^3) / 12 = 64.39 \text{ cm}^4$$

$$I_{x2} = ((8.89 \text{ cm})(29.21 \text{ cm})^3) / 12 = 18,463.55 \text{ cm}^4$$

Distancia del centro de gravedad de cada figura al eje centroidal X_c :

La distancia entre el eje X y el eje centroidal X_c es:

$$\bar{y} = 17.42 \text{ cm.}$$

por lo que:

$$y_{c1} = 31.12 \text{ cm} - 17.42 \text{ cm} = 13.70 \text{ cm.}$$

$$y_{c2} = 17.42 \text{ cm} - 14.61 \text{ cm} = 2.81 \text{ cm.}$$

El producto de cada área por la distancia del centro de gravedad de cada figura al eje centroidal X_c elevada al cuadrado es;

$$I'_{x1} = A_1 \times y_{c1} = (53.23 \text{ cm})(13.70 \text{ cm})^2 = 9,990.74 \text{ cm}^4$$

$$I'_{x2} = A_2 \times y_{c2} = (259.68 \text{ cm})(2.82 \text{ cm})^2 = 2,065.08 \text{ cm}^4$$

El Momento de inercia total se obtiene mediante la suma de todos los momentos de inercia parciales obtenidos anteriormente.

$$\bar{I}_x = I_{x1} + I_{x2} + I'_{x1} + I'_{x2}$$

$$\bar{I}_x = 30,583.76 \text{ cm}^4$$

Finalmente, el Módulo de sección (S) de la sección compuesta es:

$$S = \bar{I}_x / \bar{y} =$$

$$= 30,583.76 \text{ cm}^4 / 17.42 \text{ cm.} = 1,755.67 \text{ cm}^3. \text{ En las fibras inferiores}$$

$$= 30,583.76 \text{ cm}^4 / (33.02 \text{ cm} - 17.42 \text{ cm.}) = 1,960.50 \text{ cm}^3$$

En las fibras superiores.

La parte superior de la cubierta se convierte en una zona a compresión y el módulo de sección apropiado a utilizarse es:

$$S = 1,960.50 \text{ cm}^3.$$

Para obtener el esfuerzo de flexión, se calcula el momento flexionante :

$$M = wl^2 / 8$$

Donde;

w = carga total uniformemente
distribuida para uno de los largueros.
 l = 6.10 m.

La franja contribuyente para cada larguero es;

$$2.80 \text{ m.} / 2 = 1.40 \text{ m.}$$

La carga muerta es 53.45 Kg/m

Carga muerta contribuyente: $(53.45 \text{ Kg/m}^2)(1.40 \text{ m}) = 74.83 \text{ Kg/m}$

Carga viva contribuyente: $(244.0 \text{ Kg/m}^2)(1.40 \text{ m}) = 341.60 \text{ Kg/m}$

Carga contribuyente total: 416.43 Kg/m

El Momento flexionante máximo será;

$$M = (416.43 \text{ Kg/m})(6.10 \text{ m})^2 / 8 = 1,936.92 \text{ Kg.m}$$

El esfuerzo flexionante a compresión en la fibra más alejada equivale a :

$$f_b = (193,692.00 \text{ Kg/cm}) / 1,960.50 \text{ cm}^3 = 98.80 \text{ Kg/cm}^2$$

El esfuerzo de flexión permisible de 170 Kg/cm², puede incrementarse por un factor de 1.33 debido a que la causa que lo produce es una condición temporal, en este caso la acción del viento / oleaje, por lo que el esfuerzo permisible será;

$$(170.0 \text{ Kg/cm}^2)(1.33) = 226.10 \text{ Kg/cm}^2$$

$$98.80 \text{ Kg/cm}^2 < 226.10 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{Correcto.}$$

El diseño es satisfactorio a flexión.

e.3.2.- Flexión. Apoyo en el centro.

Otra condición en la que debe considerarse la flexión ocurre cuando el oleaje ha avanzado y ahora la sección es soportada sólo en el centro.

El módulo de sección será ahora de 1,755.67 cm³, que resulta del cambio en el mecanismo de soporte, con las fibras inferiores de la armazón del muelle en compresión.

$$M_{\text{máx.}} = (416.43 \text{ Kg})(3.05 \text{ m.})^2 / 2 = 1,936.92 \text{ Kg.m}$$

$$w = 416.43 \text{ Kg.}$$

$$l = 6.10 \text{ m} / 2 = 3.05 \text{ m.}$$

El esfuerzo de flexión es;

$$f_b = 193,692.00 \text{ Kg.cm} / 1,755.67 \text{ cm}^3 = 110.32 \text{ Kg/cm}^2.$$

$$110.32 \text{ Kg/cm}^2 < 226.10 \text{ Kg/cm}^2$$

El esfuerzo de diseño es inferior al esfuerzo permisible y por

lo tanto satisfactorio.

e.3.3.- Cortante. Sección compuesta.

El área de corte es la de la sección transversal del larguero.
es decir 259.68 cm².

La carga en cada soporte es;

$$(418.43 \text{ kg})(6.10 \text{ m}) = 2,540.22 \text{ kg.m}$$
$$2,540.22 \text{ Kg} / 2 \text{ soportes} = 1,270.11 \text{ Kg.}$$

El cortante simple se expresa como:

$$P/A = 1,270.11 \text{ Kg} / 259.68 \text{ cm}^2 =$$
$$= 4.89 \text{ Kg/cm}^2.$$

$$4.89 \text{ Kg/cm}^2 < 15 \text{ Kg/cm}^2$$

Correcto

e.4.- Análisis del muelle flotante en peine.

Embarcación tipo de diseño: 9.14 m. de Eslora.
Longitud del muelle en peine: 10.00 m.
Ancho..... 1.50 m.

El muelle se diseñará para resistir las cargas impuestas sin la utilización de esquineros.

De igual forma que el muelle principal, el muelle en peine se armará longitudinalmente con largueros de 4" x 12". Los miembros transversales, se colocarán para conservar separados los largueros y para la instalación de las unidades de flotación con dimensiones de 2" x 4".

e.4.1.- Carga muerta.

Elemento	Peso	Peso total.
2 largueros de 4" x 12" x 10.0 m.	17.03 Kg./m.l.	340.60 Kg.

8 Elem. transv. 2" x 12" x 1.30 m.	8.55 Kg./m.l.	88.92 Kg.
10 Tablones de 2" x 6" x 10.0 m.	4.27 Kg./m.l.	427.00 Kg.

Peso total estimado de la madera		856.52 Kg.
----------------------------------	--	------------

10 Cable eléctrico	0.5 Kg./m.l.	5.00 Kg.
10 Tubería para agua	0.81 Kg./m.l.	8.10 Kg.
15 Herrajes	5.0 Kg./m ²	75.00 Kg.

Suma total Carga muerta		944.62 Kg.
-------------------------	--	------------

Conforme a las dimensiones propuestas, se determina que pueden instalarse 12 unidades de flotación en cada sección, tal como se aprecia en la Fig. No 12.

e.4.2.- Francobordo por Carga muerta. Muelle en peina.

Carga unitaria por unidad de flotación:

$$944.62 \text{ Kg.} / 12 = 78.72 \text{ Kg.}$$

Cada unidad de flotación se sumerge una pulgada por cada 14.0 Kg. de carga que se le apliquen.

$$(78.72 \text{ Kg}) / (14.0 \text{ Kg/pulg}) = 5.62 \text{ pulg.} = 0.143 \text{ m.}$$

El francobordo será;

$$0.67 \text{ m.} - 0.143 \text{ m.} = 0.53 \text{ m.}$$

$$0.50 \text{ m.} < 0.53 \text{ m.} < 0.61 \text{ m.}$$

El francobordo por carga muerta obtenido, está dentro del criterio especificado.

e.4.3.- Francobordo por carga viva.

Carga viva especificada ; 122.0 Kg/m².
 Area del muelle en planta; 1.50 m. x 10.00 m. = 15.0 m².

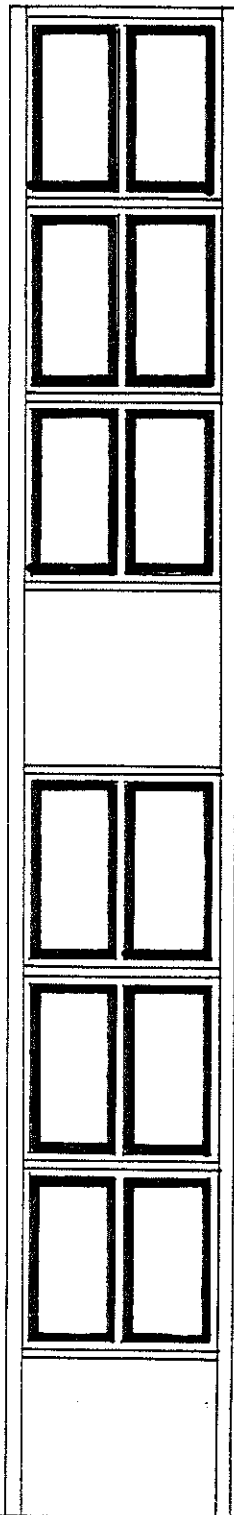


FIG. N° 12. DISTRIBUCION DE UNIDADES
DE FLOTACION DEL MUELLE
EN PEINE.

Carga viva (122.0 Kg.)(15.0 m.).....1,830.00 Kg.
Carga muerta..... 944.62 Kg.
Carga total.....2,774.62 Kg.

Carga por unidad de flotación:

$$2,774.62 \text{ Kg} / 12 = 231.22 \text{ Kg}.$$

Sumergencia debida a la carga total:

$$(231.22 \text{ Kg.}) / (17.5 \text{ Kg/pulg}) = 13.21 \text{ pulg.} = 0.34 \text{ m.}$$

$$0.67 \text{ m.} - 0.34 \text{ m.} = 0.33 \text{ m.}$$

$$0.33 \text{ m.} > 0.30 \text{ m.}$$

Se cumple con el criterio mínimo de 0.30 m. de francobordo a carga total especificado.

e.4.4.- Análisis estructural. Muelle en peine.

e.4.4.1.- Estructura de cubierta.

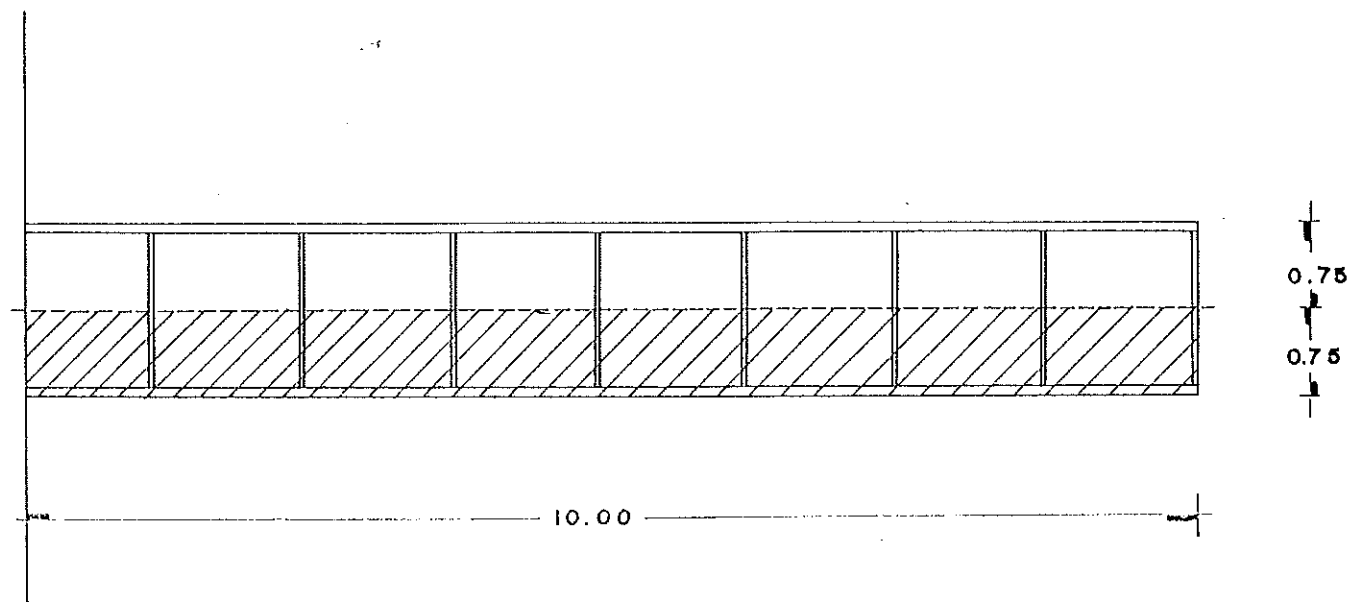
En virtud de que se utilizará el mismo tipo de material y claros que en el muelle principal, se asume que el material es adecuado, conforme a análisis previo.

Situación similar se tiene respecto de los elementos transversales.

e.4.4.2.- Análisis del muelle en peine en conjunto.

El muelle se tratará como una viga simplemente apoyada en los extremos, la carga es de:

$$244.0 \text{ Kg/m}^2 + 65.74 \text{ Kg/m}^2 = 309.74 \text{ Kg/m}^2.$$



P L A N T A .

FIG. N° 13. AREA CONTRIBUYENTE. Muelle en peine.

e.4.4.5.- Cortante. Sección compuesta.

Area de la sección transversal: 259.68 cm².

Carga contribuyente:

$$(309.74 \text{ Kg/m}^2)(0.75 \text{ m.}) = 232.31 \text{ Kg/m}$$

La carga en cada soporte es

$$(232.31 \text{ Kg/m})(10.0 \text{ m.}) = 2,323.10 \text{ Kg.}$$

$$2,323.10 \text{ kg} / 2 = 1,161.55 \text{ Kg.}$$

El cortante simple es:

$$P / A = (1,161.55 \text{ Kg}) / (259.68 \text{ cm}^2) = 4.47 \text{ Kg/cm}^2.$$

$$4.47 \text{ Kg/cm}^2 < 15 \text{ Kg/cm}^2$$

El diseño es satisfactorio.

e.4.4.6.- Análisis de carga en el extremo del muelle en peine.

En el diseño de éste muelle. se considera la aplicación de una carga transmitida de 2,000 Kg. en su extremo final.

L1 = Longitud total = 10.00 m.

L2 = Distancia entre separadores. = 122.0 cm.

En la Figura No. 14. se tiene la plante del muelle.

$$a > b$$

e.4.4.7.- Capacidad en compresión de las piezas longitudinales;

Esfuerzo en condición seca.

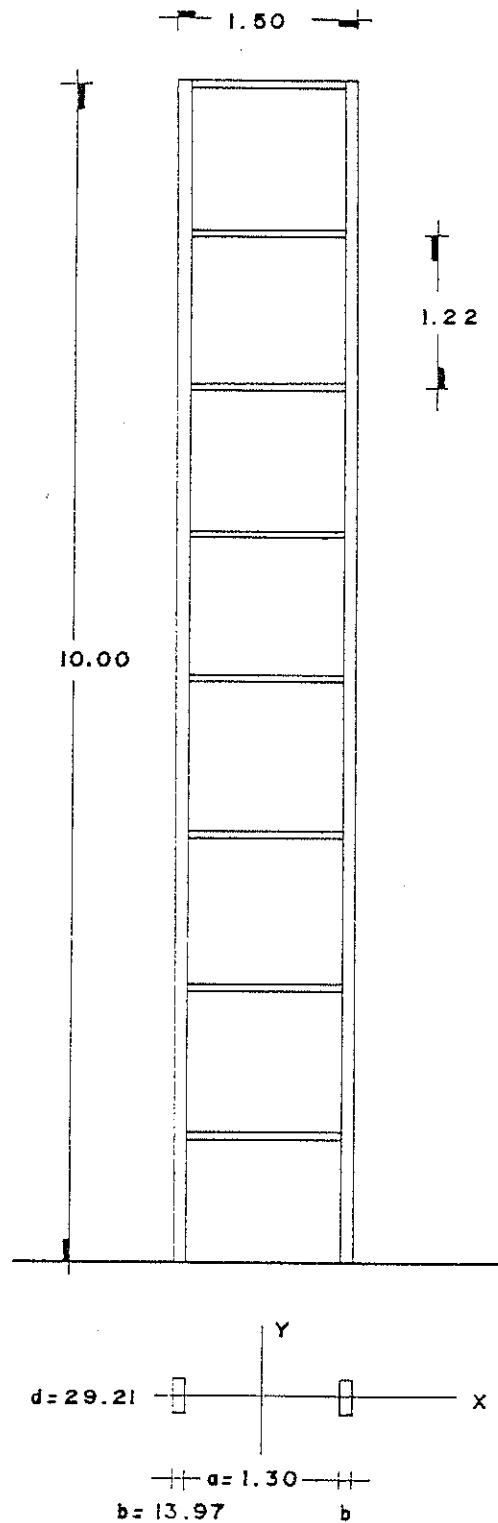


FIG. N° 14. CAPACIDAD DE UN MIEMBRO DE ELEMENTOS ESPACIADOS.

Compresión paralela a la fibra = 143.0 Kg/cm².

Esfuerzo permisible $f_{cp} = (143.0 \text{ Kg/cm}^2)(1) = 143.0 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de Elasticidad = 100,000 Kg/cm².

Esfuerzo de diseño:

a).- En sentido paralelo a b:

$$K_{12} / d = 122.0 \text{ cm.} / 13.97 \text{ cm.} = 8.73$$

$$f_{cd} = \frac{0.3 E}{\left(\frac{K_{12}}{d}\right)^2}$$

Sustituyendo:

$$[(0.3)(100,000 \text{ Kg/cm}^2)] / [(122.0 / 13.97)^2] = 393.36 \text{ Kg/cm}^2$$

b).- En sentido perpendicular a b;

$$K_{11} / d = 1000 \text{ cm} / 29.21 \text{ cm} = 34.24$$
$$34.24 < 50$$

$$f_{cd} = \frac{0.3 E}{\left(\frac{K_{11}}{d}\right)^2}$$

Sustituyendo:

$$[(0.3)(100,000 \text{ Kg/cm}^2)] / [(1000 / 29.2)^2] = 25.58 \text{ Kg/cm}^2$$

$$25.58 \text{ Kg/cm}^2 < 393.36 \text{ Kg/cm}^2$$

Capacidad en compresión axial:

$$P = (A)(f_{cd}):$$
$$(2)(13.97 \text{ cm})(29.21 \text{ cm})(25.58 \text{ Kg/cm}^2) = 20,876.54 \text{ Kg.}$$

El esfuerzo permisible podría incrementarse por un factor de 1.6 porque la carga aplicada es una carga por impacto y considerada temporalmente.

$$2.000.0 \text{ Kg.} < 20,876.54 \text{ Kg.}$$

La capacidad de carga de la columna es mayor que la carga aplicada y por lo tanto, satisfactoria.

e.4.4.7.- Análisis de carga horizontal aplicada al muelle en peine producida por el viento.

e.4.4.7.1.- Embarcación directamente expuesta.

En la figura No. 15 se observan las consideraciones hechas para el análisis de carga por viento.

Eslora de la embarcación.....	9.14 m.
Altura equivalente del perfil.....	1.16 m.
Area expuesta(9.0 m. x 1.16 m.).....	10.44 m.
Velocidad del viento.....	41.67 m/seg.
Factor de dirección (D).....	3
Factor de escudado (S).....	1

La fuerza del viento será:

$$\begin{aligned} F &= 0.72 [(10.44 \text{ m}^2)(3)(1)(41.67 \text{ m/seg})^2] = 39,156.26 \text{ Newtons} = \\ &= 8,810.16 \text{ lb.} = \\ &= 3,995.54 \text{ Kg.} \end{aligned}$$

e.4.4.7.2.- Embarcación escudada.

Area expuesta =	10.44 m ² .
D =	3
S =	0.5
V =	41.67 m/seg.

Sustituyendo;

$$F = 0.72 [(10.44 \text{ m}^2)(3)(.5)(41.67 \text{ m/seg})^2] = 19,578.13 \text{ Newtons} =$$

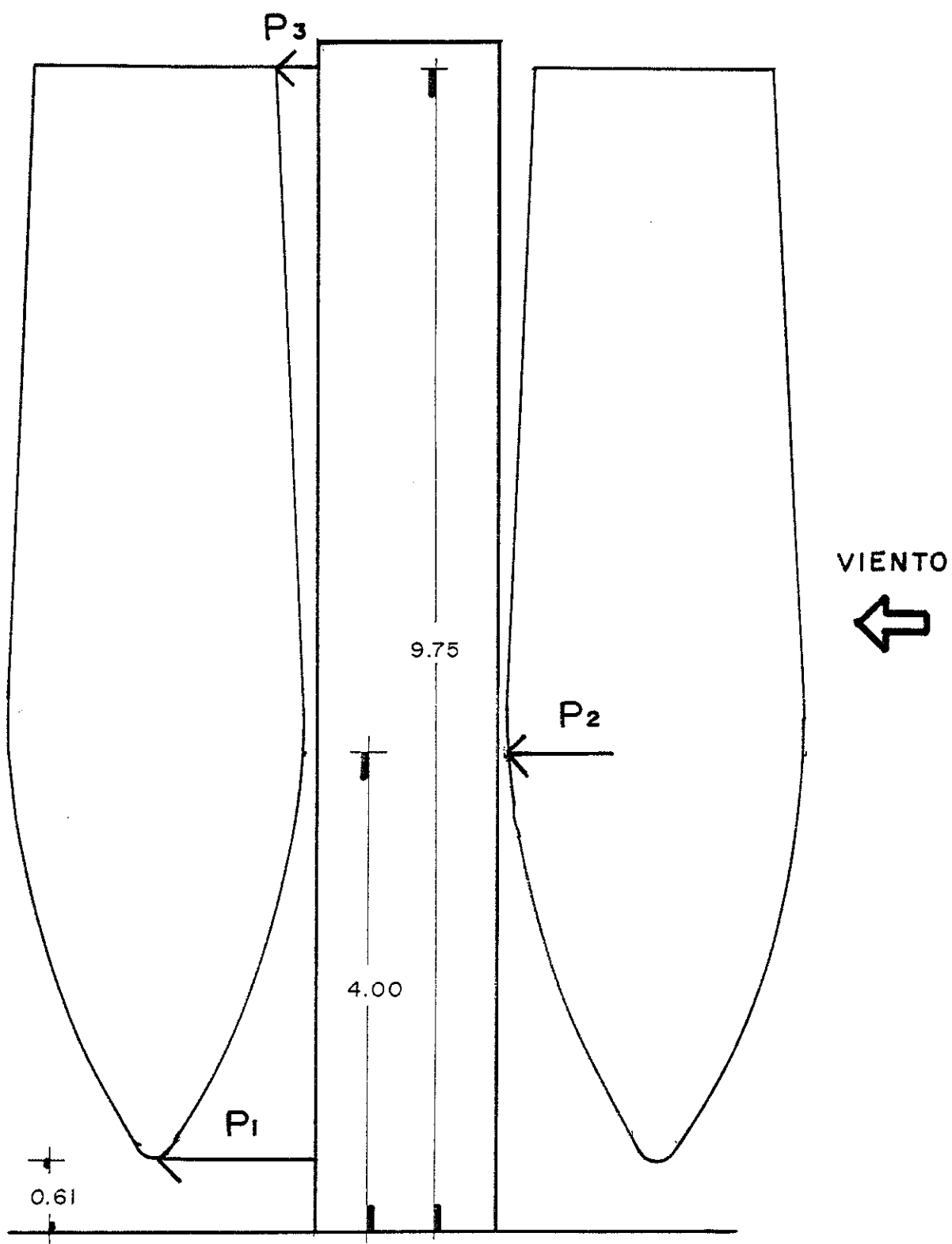


FIG. N° 15. FUERZAS SOBRE EL MUELLE EN PEINE.

$$= 4,405.08 \text{ Lb} \quad =$$

$$= 1,999.91 \text{ Kg.}$$

$$P_1 = P_3 = 1,999.91 \text{ Kg.}$$

$$P_2 = 3,995.54 \text{ Kg.}$$

e.4.4.7.3.- Momento flexionante.

$$\Sigma M = P_1(0.61 \text{ m.}) + P_2(4.00 \text{ m.}) + P_3(9.75 \text{ m.}) =$$

$$= (1,999.91 \text{ Kg.})(0.61 \text{ m.}) + (3,995.54 \text{ Kg.})(4.00 \text{ m.}) +$$

$$(1,999.91 \text{ Kg.})(9.75 \text{ m.}) = 36,701.23 \text{ Kg.m.}$$

Modulo de sección de los largueros laterales del muelle. en la Tabla No. 16. se incluyen los detalles de la sección.

$$A_1 = (29.21 \text{ cm.})(8.89 \text{ cm.}) = 259.68 \text{ cm}^2. = A_2$$

$$\text{Area total} = 519.36 \text{ cm}^2.$$

Distancia de los centros de gravedad de cada rectángulo al eje X:

$$d_1 = d_2 = 14.61 \text{ cm.}$$

Momentos de primer orden de las áreas A1 y A2 respecto al eje X:

$$M_1 = A_1 \times d_2 = (259.68 \text{ cm})(14.61 \text{ cm.}) = 3,793.92 \text{ cm}^3 = M_2$$

El momento estático total es:

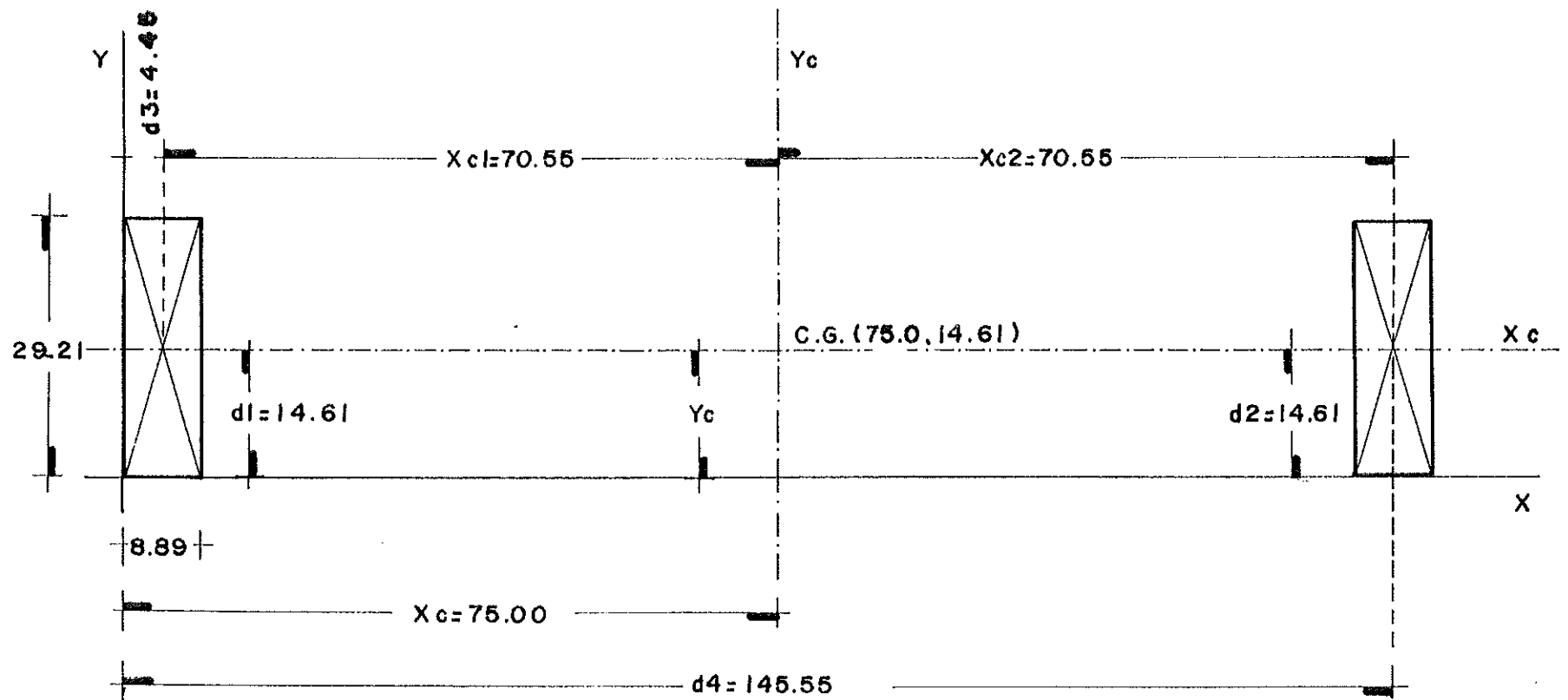
$$M_{xt} = 7,587.85 \text{ cm}^3$$

Posición del centro de gravedad:

$$\bar{y} = M_{xt} / A_t = 7,587.85 \text{ cm}^3 / 519.36 \text{ cm}^2 = 14.61 \text{ cm.}$$

Momentos de primer orden con respecto al eje Y:

$$M_3 = (259.68 \text{ cm}^2.)(4.45 \text{ cm.}) = 1,155.58 \text{ cm}^3$$



ACOTACIONES EN CENTIMETROS

FIG. N° 16. MODULO DE SECCION. Muelle en peine.

$$M_x = (259.68 \text{ cm}^2)(145.55 \text{ cm.}) = 37.796.42 \text{ cm}^3.$$

$$M_{yt} = 38.950.70 \text{ cm}^3$$

$$\bar{x} = M_{yt} / A_t = 38.952.00 \text{ cm}^3 / 519.35 \text{ cm}^2 = 75.00 \text{ cm.}$$

Centro de gravedad: (75.0 , 14.61)

Se calculan los momentos de inercia de cada rectángulo con respecto a su propio eje centroidal:

$$I_{y1} = (29.21 \text{ cm.})(8.89 \text{ cm.})^3 / 12 = 1.710.23 \text{ cm}^4 = I_{y2}$$

La distancia del centro de gravedad de cada figura al eje centroidal y_c es:

Distancia entre el eje Y y el eje centroidal y_c :

$$\bar{x} = 75.0 \text{ cm.}$$

$$x_{c1} = 75.0 \text{ cm.} - 4.45 \text{ cm.} = 70.55 \text{ cm.} = x_{c2}$$

Los momentos de inercia de cada figura con respecto al eje centroidal es:

$$I'_{y1} = A_1 \times x_{c1}^2 = (259.68 \text{ cm}^2)(70.55 \text{ cm.})^2 = 1'292.505.91 \text{ cm}^4 =$$

$$= I'_{y2}.$$

El momento de inercia total es:

$$I_y = I_{y1} + I_{y2} + I'_{y1} + I'_{y2} = 2(1.710.23 \text{ cm}^4) + 2(1'292.505.91 \text{ cm}^4) =$$

$$= 2'588.432.29 \text{ cm}^4.$$

Y finalmente el módulo de sección es:

$$S = \bar{I}_y / \bar{x} = 2'588.432.29 \text{ cm}^4 / 75.0 \text{ cm.} = 34.512.43 \text{ cm}^3.$$

por lo que el Esfuerzo de flexión:

$$f_b = M / S = 3'670.123.00 \text{ Kg.cm} / 34.512.43 \text{ cm}^3. = 106.34 \text{ Kg/cm}^2$$

$$106.34 \text{ Kg/cm}^2 < 170 \text{ Kg/cm}^2$$

El diseño es satisfactorio

e.4.4.8.- Análisis de carga por impacto.

Se analiza una embarcación golpeando el extremo del muelle en peine.

Eslora..... 9.14 m.
Angulo de aproximación α 10°
Velocidad..... 3.38 pies/seg. (2 nudos)

El peso o desplazamiento de las embarcación se puede determinar utilizando:

$$W = 12 E^2 = 12 (30 \text{ pies})^2 = 10.800.0 \text{ Lb.}$$

$$v = V_{\text{aprox.}} \times \text{Sen } \alpha = (3.38 \text{ pies/seg})(\text{Sen } 10^\circ) = 0.587 \text{ pies/seg.}$$

$$\text{Energía cinética} = KE = (W \times v^2) / 2g:$$

$$(10,800.0 \text{ Lb})(0.587 \text{ pie/seg})^2 / 2 (32.2 \text{ pie/seg}^2) = 57.77 \text{ Lb.pie.}$$

La deflexión asociada con una carga de 1000 Kg. es:

$$\Delta = \frac{Pl^3}{3 EI}$$

$$\begin{aligned} &= (1000\text{Kg})(1.000 \text{ cm})^3 / 3(100.000 \text{ Kg/cm}^2)(1'893.113.06 \text{ cm}^4) = \\ &= 1.76 \text{ cm.} \end{aligned}$$

La Deflexión es igual a la raíz cuadrada de la Energía cinética (KE) dividida por un coeficiente de Rigidez k.

$$k = 1,000 \text{ Kg} / 1.76 \text{ cm.} = 568.18 \text{ Kg/cm.}$$

La carga P causada por el impacto del bote equivale a:

$$(1.18 \text{ cm.})(568.18 \text{ Kg/cm}) = 670.45 \text{ Kg.}$$

La carga P causada por el impacto del bote equivale a:

$$(1.18 \text{ cm.})(568.18 \text{ Kg/cm}) = 670.45 \text{ Kg.}$$

El momento aplicado es:

$$M = (672.63 \text{ Kg})(10.0 \text{ m.}) = 6,726.3 \text{ Kg.m}$$

El esfuerzo de flexión:

$$f_b = (672,630.0 \text{ Kg.cm}) / (29,228.24 \text{ cm}^3) = 23.01 \text{ Kg/cm}^2$$

$$23.01 \text{ Kg/cm}^2 < 170 \text{ kg/cm}^2$$

Satisfactorio

e.4.4.9.- Fuerza generada por el oleaje.

Profundidad..... 3.0 m.
Nivel de marea..... + 2.31 m.
 h = Tirante de agua..... 5.31 m.
 d = Calado..... 1.10 m.
 a = Eslora..... 9.14 m.
 b = Manga..... 2.5 m.
 H = Altura de la ola..... 0.30 m.
 T = Período..... 8 seg.
 α = Angulo de oleaje incidente 90°
 W_o = Peso específico del agua de
mar..... 1.025 Ton/m³
 L_o = Longitud de la onda..... $1.56 T^2 = 1.56(8)^2 = 99.84$
 d/L_o = Profundidad relativa..... $3.0/99.84 = 0.03 < 1/25$

L = Longitud del oleaje incidente en el tirante de agua =
 $= T \sqrt{g.d} = (8 \text{ seg}) \sqrt{(9.81 \text{ m/seg})(3.0 \text{ m.})} = 43.40 \text{ m.}$

$$F_{x\max.} = 0$$

$$b/a = 2.5 / 9.14 = 0.2735$$

$$E/L = 9.14 / 43.40 = 0.2106$$

De las tablas de Coeficientes de inercia de la Fig. 5a.:

$$C_{my} = 1.31$$

$$\text{Senh } 2\pi h / L = 0.8467$$

$$\text{Senh } 2\pi(h - d) / L = 0.6479$$

$$\text{Cosh } 2\pi h / L = 1.31$$

$$F_{y\max} = (1.31)[(0.8467 - 0.6479) / 1.31](0.393)(9.14)^2(1.023)(0.3) \\ = 2.00 \text{ Ton.}$$

$$2.00 \text{ Ton.} \times 2 \text{ embarcaciones} = 4.00 \text{ Ton.}$$

e.4.4.10.- Análisis de carga por viento.

Velocidad del viento..... 120 Km/h = 33.333 m/seg.

Eslora..... 9.14 m.

Area expuesta..... 10.60 m²

Primera fila: D = 2.7 , S = 1

$$F = (2.338.36 \text{ Kg})(2 \text{ embarcaciones}) = 4.676.72 \text{ Kg.}$$

Segunda fila: D = 2.7 , S = 0.5

$$F = (1.169.41 \text{ Kg})(2 \text{ embarcaciones}) = 2.338.36 \text{ Kg.}$$

Siguientes filas: D = 2.7 , S = 0.3

$$F = (701.65 \text{ Kg.})(16 \text{ embarcaciones}) = 11.224.12 \text{ Kg.}$$

$$F_{\text{total}} = 4.000.00 \text{ Kg} + 4.676.72 \text{ Kg} + 2.338.36 \text{ Kg} + 11.224.12 \text{ Kg} \\ = 22.239.20 \text{ Kg.}$$

f.- Pilotes.

Se propone utilizar pilotes a base de tubería de acero Grado B, negra, de línea sin costura.

Sección..... circular.
Diámetro nominal..... 8" Cedula 80.
Diámetro exterior (D)..... 21.908 cm.
Diámetro interior (d)..... 20.638 cm.

El Momento admisible se calcula con la expresión:

$$M_{adm.} = (f_b)(S)$$

El esfuerzo de flexión es:

$$f_b = 0.66 f_y$$

sustituyendo:

$$f_b = 0.66 f_y = 0.66 \times 4,220 \text{ Kg/cm}^2 = 2,785.20 \text{ Kg/cm}^2.$$

El módulo de sección (S), se calcula mediante la expresión:

$$S = \frac{\pi}{32} \frac{D^4 - d^4}{\text{Diam.nominal}}$$

$$\pi / 32 [((21.908 \text{ cm})^4 - (20.638 \text{ cm})^4) / 20.32 \text{ cm}] = 236.49 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} M_{adm.} &= (2,785.20 \text{ Kg/cm}^2)(236.49 \text{ cm}^3) = 658,671.95 \text{ Kg.cm.} = \\ &= 6,586.72 \text{ Kg.m} \end{aligned}$$

$$\text{Carga admisible por pilote} = 6,586.72 \text{ Kg.m} / 6.84 \text{ m} = 962.97 \text{ Kg.}$$

No. de pilotes necesarios:

$$22,239.20 \text{ Kg.} / 962.97 \text{ Kg.} = 23.09$$

Se hincarán 24 pilotes.

La disposición del hincado, se tiene en la Fig. No. 17.

Profundidad de hincado.

El momento de volcamiento originado por la carga lateral aplicada es;

$$M = (962.97 \text{ Kg.})(5.616 \text{ m.} + 4.57 \text{ m.}) = 9,808.81 \text{ Kg.m}$$

$$\text{Area lateral del pilote: } 2\pi rh = 2\pi(0.1016 \text{ m.})(1.0 \text{ m.}) = 0.64 \text{ m}^2$$

Momento resistente;

$$\begin{aligned} & \{ [4.57 \text{ m.}](20 \text{ Ton./m}^2)(0.64 \text{ m}^2) \} / 2 \} (4.57 \text{ m.})(0.33) \\ & = 44.11 \text{ Ton.m.} = 44,108.91 \text{ Kg.m.} \end{aligned}$$

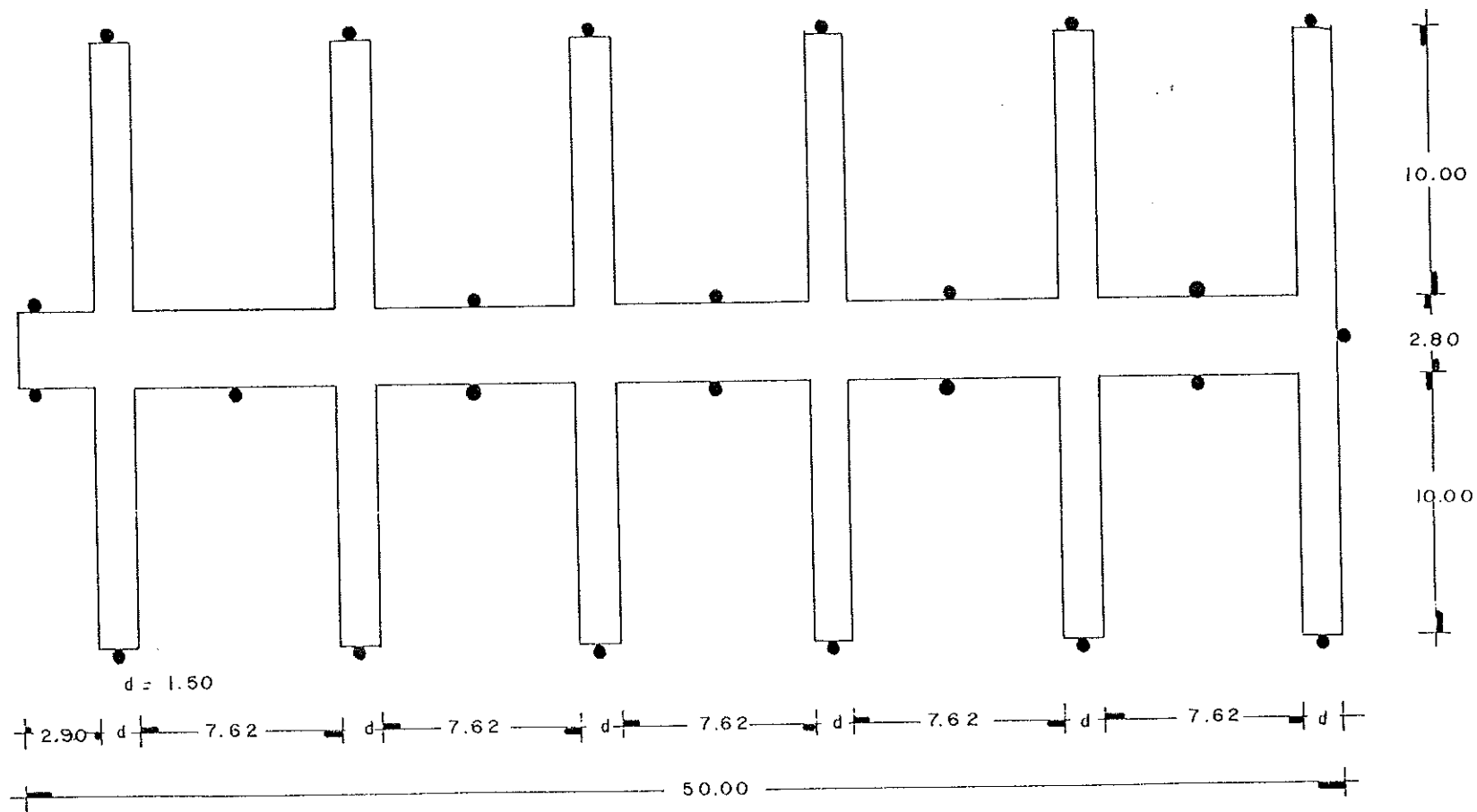
$$44,108.91 \text{ Kg.m} \gg 9,808.81 \text{ Kg.}$$

El momento resistente es mucho mayor que el Momento de volcamiento, por lo que hacemos una segunda prueba:

$$M_{\text{volc.}} = (962.97 \text{ Kg.})(5.61 \text{ m.} + 2.57 \text{ m.}) = 7,877.10 \text{ Kg.m.}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{resist.}} &= \{ (2.57 \text{ m.})(20 \text{ Ton./m}^2)(0.64 \text{ m.})/2 \} (2.57 \text{ m.})(0.33) = \\ &= 13.95 \text{ Ton.m} = 13,949.55 \text{ kg.m.} \end{aligned}$$

Se puede tomar 2.57 m. como una profundidad de hincado aceptable.



P L A N T A .
FIG. N° 17. DISPOSICION DE PILOTES .

BIBLIOGRAFIA.

AUTOR: TOBIASSON, BRUCE O. Y KOLLMEYER, RONALD C. .
TITULO: MARINAS AND SMALL CRAFT HARBORS.
EDITORIAL: VAN NOSTRAND REINHOLD.
PAIS: U.S.A.
AÑO: 1991.

TITULO: METODOS DE DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS HIDRAULICAS
INTRODUCIENDO EL CONCEPTO DE LA IRREGULARIDAD DEL
OLEAJE. (TEXTO PARA EL PROYECTO DEL CENTRO
HIDRAULICO PORTUARIO, VOL. 8.)
EDITORIAL: JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY.
PAIS: MEXICO.
AÑO: 1987.

AUTOR: LOPEZ GUTIERREZ, HECTOR.
TITULO: APUNTES DE SISTEMAS PORTUARIOS.
EDITORIAL: FACULTAD DE INGENIERIA, U.N.A.M.
PAIS: MEXICO.
AÑO: 1986.

AUTOR: GAITHWAITE, JOHN
TITULO: THE MARINE ENVIRONMENT AND STRUCTURAL DESIGN.
EDITORIAL:
PAIS: U.S.A.
PAIS: 1981

AUTOR: URIBE ROJO, MARCO ANTONIO.
TITULO: APUNTES DE PLANEACION PORTUARIA.
EDICION: PRIMERA.
EDITORIAL: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA.
PAIS: MEXICO.
AÑO: 1989.

AUTOR: DEF QUINN, ALONSO .
TITULO: DESIGN AND CONSTRUCTION OF PORTS AND MARINE
STRUCTURES.
EDITORIAL: MC. GRAW HILL.
PAIS: MEXICO.
AÑO: 1972.

AUTOR: MINIKIN, R. R.
TITULO: DESIGN AND CONSTRUCTION OF PORTS AND STRUCTURES.
EDITORIAL: CHARLES GRIFFIN AND COMPANY LTD. WINDS.
PAIS: U.S.A.
AÑO: 1982.

AUTOR: VELAZQUEZ NAVA, HUMBERTO.
TITULO: GLOSARIO DE TERMINOS PORTUARIOS, MATERIAL
DIDACTICO DE APOYO PARA LICENCIATURA Y
ESPECIALIDAD.
EDITORIAL: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA.
PAIS: MEXICO.
AÑO: 1993.

AUTOR: VARIOS.
TITULO: REPORT ON SMALL CRAFT HARBORS.
EDITORIAL: AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS.
PAIS: U.S.A.
AÑO: 1969.

AUTOR: INSTITUTO DE GEOFISICA.
TITULO: TABLAS DE PREDICCION DE MAREAS.
EDITORIAL: U.N.A.M.
PAIS: MEXICO.
AÑO: 1992.

AUTOR: BRÜNN, PER.
TITULO: PORT ENGINEERING.
EDITORIAL: GULF PUBLISHING Co.
PAIS: U.S.A.
AÑO: 1973.

AUTOR: COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES ELECTRICAS.
TITULO: MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES. VOL. A.2.13.
HIDRAULICA MARITIMA.
EDITORIAL: MEXICANA, S.A.
PAIS: MEXICO.
AÑO: 1983.