

SECRETARIA DE MARINA

DIRECCION GENERAL DE
OBRAS MARITIMAS

ESTUDIO SOBRE DUQUES DE ALBA

Por Ing. RUBEN ALVAREZ TOSTADO

M E X I C O

1 9 5 9

Este estudio se llevó a cabo, gracias a la desinteresada ayuda del Sr. Ministro de Marina, Contralmirante Manuel Zermeno Araico y del Subsecretario de la misma, Contralmirante Ing. Oliverio Orozco.

I N D I C E .

CAPITULO I.

DUQUES DE ALBA.

1.- Antecedentes históricos -----	Pág.	1
2.- Generalidades -----	"	4
3.- Descripción de los diversos tipos de - Duques de Alba y su utilidad -----	"	10

CAPITULO II.

ANALISIS DE LA ESTABILIDAD DE LOS DU--- QUES DE ALBA -----	"	31
---	---	----

CAPITULO III.

APLICACION AL ATRACADERO DE PEMEX EN EL PUERTO DE ENSENADA, B. C. -----	"	65
--	---	----

CAPITULO IV.

PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS EN LA CONSTRUC CION DE DUQUES DE ALBA. -----		75
--	--	----

CAPITULO V.

COSTOS. -----		80
---------------	--	----

CAPITULO VI.-

CONCLUSIONES. -----		84
---------------------	--	----

CAPITULO I.

1.-ANTECEDENTES HISTORICOS.

La región conocida con el nombre de Países Bajos, habitada al Norte por frisones, francos y sajones, y al Sur por valones y flamencos; hombres dados a la vida del mar y a la industria y comercio, estaba repartida en 17 pequeños Estados casi todos autónomos, con unas 350 ciudades, muchas de ellas amuralladas y ricas como las mejores de Europa, y desde las cuales como un punto estratégico, podían los Reyes de España influir sobre todas las Naciones civilizadas.

Se recordará que al morir Don Felipe el Hermoso y al ser declarada la incapacidad para gobernar de su esposa doña Juana la Loca, el hijo primogénito de éstos Carlos I de España y V de Alemania debía reunir la herencia de 4 casas europeas: la de Austria, la de Borgoña, la de Castilla y la de Aragón aparte de la herencia de Carlos el Temerario.

De sus abuelos paternos había heredado:

Los Países Bajos, Artois, Flandes y el Franco Condado; el Archiducado de Austria, Estiria, Corintia, Carniola y el Tirol.

De sus abuelos maternos:

El Reino de Aragón, Cerdeña y los Reinos de Sicilia y Nápoles; el Reino de Castilla y América.

De la herencia de Carlos el Temerario que eran los Países Bajos, Flandes, Artois y el Franco Condado, región que era centro a donde confluían las riquezas de Borgoña, Inglaterra, Alemania y Francia, lo era también de todas las nuevas ideas.

En esta época el catolicismo que había perdido una mitad de Europa, trató de defenderse y opuso a la flexibilidad de las opiniones protestantes, la rígida fijeza de sus dogmas, confirmados en el Concilio de Trento. (1545-1563).

Además, para combatir las doctrinas protestantes se creó una orden o compañía sometida a las voluntades del Papa y que oponía al espíritu de independencia el de la absoluta obediencia; esa fué la "Compañía de Jesús", fundada por el español Ignacio de Loyola, milicia de que dispuso la Santa Sede.

Por desgracia el clero no se contentó con las armas morales. Habiendo en todos los Países Bajos sólo 3 Obispados, pues la mayor parte de sus parroquias dependían de obispos alemanes; Carlos V quiso darle prelados propios en número suficiente, y dictó leyes para reprimir la herejía. La aplicación de estas reformas fué el primer pretexto de algunos nobles flamencos, y en especial de Guillermo de Orange, príncipe de Nassau llamado el Taciturno y los condes de Egmont y Horn para rebelarse contra Felipe II sucesor de Carlos V.

En 1566 estalló la revolución, verdadero huracán iconoclasta, que a duras penas logró reprimir la gobernadora de los Países Bajos, Margarita de Parma, hermana de Felipe II.

Para dominar la revuelta Felipe II envió a Fernando Álvarez de Toledo, Duque de Alba uno de sus más crueles capitanes, quién de 1568 a 1572 inundó de sangre las provincias flamencas y holandesas. Instituyó inmediatamente un tribunal llamado "Consejo de los Desórdenes", y apellidado "Tribunal de Sangre" para buscar a los herejes y a los amigos de éstos. El Tribunal hizo ejecutar en un lapso de 3 meses a 1800 personas. Perecie-

ron en el cadalso los condes de Egmont y Horn. Este Tribunal - haciendo lujo de crueldad inventó tormentos terribles para hacer confesar a los reos, o para darles las penas de muerte más horribles, entre las cuales idearon un sistema de pilotes de -- madera hincados a cierta distancia de la playa y cuya parte superior sobresalía apenas de la superficie del agua. En este dispositivo y con la marea baja se ataba con ligaduras a los reos, dejando el cuerpo sumergido y la cabeza fuera de la superficie; a medida que iba subiendo dicha marea les iba cubriendo la cara totalmente hasta que morían por asfixia.

Es probable que este tipo de tormento se ideara desde tiempos remotos, pues también los normandos lo usaron cuando hacían incursiones al Norte de Francia y a los Países Bajos.

De una forma o de otra estos dispositivos puestos en el -- mar, sirvieron más tarde para atracar o amarrar embarcaciones, siendo de máxima utilidad y bajo costo y se les dió el nombre - de Duques de Alba, ya que se emplearon durante la estancia de - éste en los Países Bajos.

Con el tiempo trascendió su utilidad y hoy por hoy se construyen en todo el mundo, con métodos modernísimos, y habiendo - evolucionado grandemente su construcción y utilidad.

2.-GENERALIDADES.-

Se han venido observando las ventajas e importancia que tienen los Duques de Alba al tratar de obras portuarias:

Los Duques de Alba se pueden asimilar a las obras de atraque que es la forma en que desempeñan su principal función, aunque también se utilizan para el amarre, para protección de atracaderos livianos, de diques flotantes y de puentes giratorios; se usan también para alargar un muelle en terraplén, para guiar los barcos a la entrada de esclusas, (Holanda y Bélgica), para proteger un canal artificial, para soportar un siniestro en los muelles, etc., etc.

En la construcción de Duques de Alba se emplean materiales diversos, desde los de madera, que son los más primitivos, pero que se siguen usando con eficacia hoy en día, hasta los de concreto y acero que son de los que se han obtenido mejores resultados.

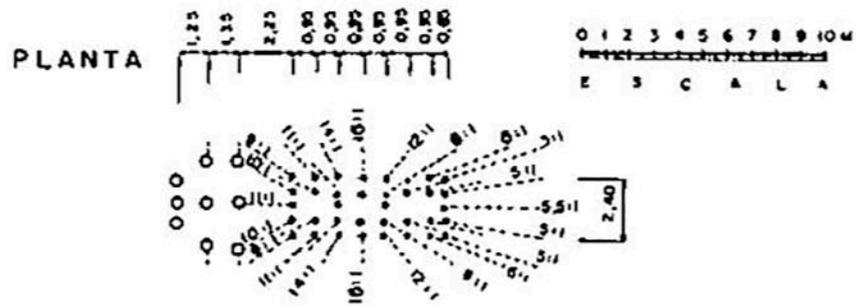
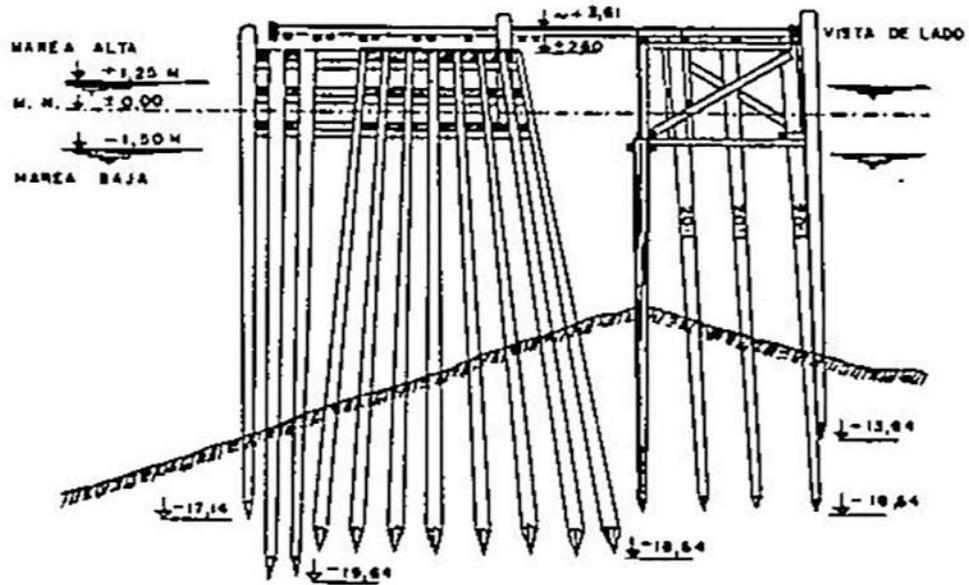
En este tipo de construcciones se presenta gran dificultad en el cálculo, ya que se trata de macizos clavados a una gran distancia razonable de las playas y aislados, estando expuestos a los efectos del viento y de las aguas, aparte de las fuerzas ejercidas sobre éstos por el navío que atraque o amarre en ellos; razón por la cual se debe evitar tener una rigidez excesiva, --- principalmente cuando se trata de Duques de Alba de atraque.

Los Duques de Alba se dividen según el material de que están hechos en:

Duques de Alba de madera, de concreto y de acero.

Los Duques de Alba de madera no necesitan de un cálculo especial, sino hay que seguir determinadas especificaciones obte--

nidas por la experiencia para su construcción y son más o menos las siguientes, según los fines para que se empleen; pueden --



DUQUES DE ALBA EN MADERA

FIG. I

tener: 1.20, 1.82, 2.40, 3.65, 4.85, 7.30 m. de sección; los más grandes representan hasta 95 m³ de madera. En Hamburgo se han dado las siguientes reglas:

Duques de Alba de 3 a 5 pilotes para chalanes.

Duques de Alba de 12 pilotes para navíos de 10,000 toneladas.

Duques de Alba de 16 pilotes para navíos de 20,000 toneladas.

Duques de Alba de 24 pilotes para navíos de 50,000 toneladas.

Los pilotes deben tener como máximo de profundidad de hija ca de 5 a 6 metros, sin contar la arcilla blanda. Deben ser más inclinados hacia la periferia que al centro hasta en 5/1 y 6/1.

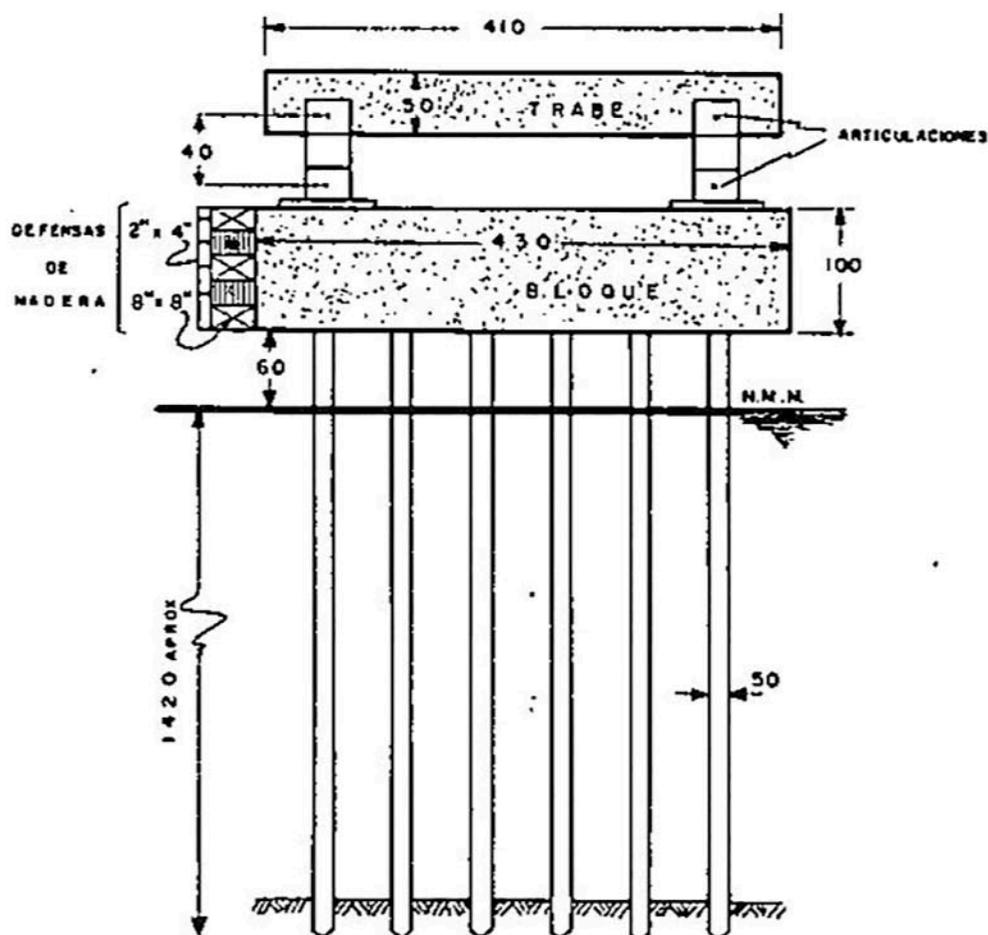
Estos Duques de Alba de madera están constituidos por haces de pilotes (3 a 24) en número proporcional al esfuerzo a soportar, unidos en 2 o 3 niveles por cinturas metálicas rígidas o flexibles (cables); cadenas colgantes permiten agarrarlos.

La construcción en madera es más elástica que la de concre to. Para el amarre se le exige una resistencia de 20 a 100 toneladas.

El esfuerzo de arranque se calcula en una tonelada por metro cuadrado de pilote en las capas arcillosas y una tonelada y media para arena fina.

Los de concreto están constituidos por un bloque de concre to sostenido por pilotes unidos entre sí (el bloque que representa la cabeza, se une a los pilotes por goznes especiales para darle cierta elasticidad a ésta, permaneciendo rígidos los pilotes), para obtener mayor eficacia en el atraque y amarre. Representan máxima economía comparados con un atracadero (muelle). Sobre la cabeza se colocan las defensas en la zona de an claje que más convenga.

Los Duques de Alba de acero están constituidos por una pared de tablaestaca (red celular de perfiles metálicos) y rellena de tierra, arena, grava o combinando algunas de éstas.



CORTE VERTICAL DE UN DUQUE DE ALBA EN
ENSENADA, B.C. (ATRACADERO DE PEMEX)

FIG. 2

Este tipo de Duques de Alba se realiza yuxtaponiendo haces de cajones de tablaestaca o bien en recintos rellenos de arena o de tierra buena. Se unen a diferentes niveles por grandes -- pernos o tirantes metálicos.

Ciertas obras comprenden hasta 25 cajones (caissons). Con el relleno apropiado de arena o grava se obtiene una gran masa de inercia sin perjudicar la elasticidad del sistema. La arena en contacto con el acero, forma una capa protectora que impide la destrucción prematura por la herrumbre.



Fig. No. 3.-Un duque de Alba en construcción, hecho en ta blaestacas metálicas PEINE.

En el Duque de Alba terminado, se colocan en la forma más conveniente los accesorios para el anclaje de barcos y las de fensas.

---oo0oo---

Vale la pena ver, aunque sea de paso, las diferencias que presenta la repartición de tensiones de amarre centradas o --- excéntricas, sobre los diversos pilotes metálicos con relación a que la obra resista o nó a la torsión, según el reporte del

Ingeniero Alemán P. Müller (Reg.-Bauret, Wassvebaumt Kiel-Holtenau) que obtuvo los resultados después de varios ensayos hechos bajo su vigilancia.

En resumen, los ensayos muestran que el Duque de Alba "resistente a la torsión", conserva casi completamente su capacidad de trabajo en el caso de tensión excéntrica, mientras que en el mismo caso el Duque de Alba "no resistente a la torsión" pierde alrededor de $1/3$ de su capacidad de trabajo.

La eficacia del Duque de Alba "resistente a la torsión" - desde el punto de vista de la capacidad de trabajo (capacidad de absorción de la carga viva), puede ser valuada en un 50% -- más en relación con el Duque de Alba "no resistente a la torsión".

Los Duques de Alba con travesaños de unión, de madera muy resistente a la torsión, no aprovechan más que un 60% de su capacidad de trabajo a causa de la rigidez que crean los travesaños en el sentido longitudinal.

La superioridad del Duque de Alba "resistente a la torsión" es de 66% con relación al Duque de Alba con travesaños de madera.

Los Duques de Alba "resistentes a la torsión" y aquellos - con travesaños de madera bajo la acción de una carga excéntrica de 20 toneladas, no difieren en su deformación angular más que una pequeñísima fracción de grado. En cambio este mismo ángulo alcanza alrededor de 7 grados en un Duque de Alba "no resistente a la torsión".

El Duque de Alba "resistente a la torsión" representa un - real progreso con relación al Duque de Alba "no resistente a la torsión". Este progreso es más grande todavía con relación a - los Duques de Alba con travesaños de madera.

3.-DESCRIPCION DE LOS DIVERSOS TIPOS DE DUQUES DE ALBA Y SU UTILIDAD.

PROTECCION DE MALECONES, MUELLES Y NAVIOS.-Se han aplicado en diversas partes del mundo, (Hamburgo principalmente), como medios de protección de malecones y navios los siguientes dispositivos:

- a).-Pilotes de atraque.
- b).-Montantes de atraque.
- c).-Duques de Alba.
- d).-Colchones de atraque.
- e).-Amortizadores de choque (con partes móviles para la absorción de la fuerza viva y la recepción de la fuerza de impacto).

Todos éstos son medios para detener las acciones de las fuerzas (incluyendo los efectos del viento y de las corrientes), transmitidas al malecón durante el atraque de un barco o los dispositivos de amarre y defensas, cuando el navío se encuentra amarrado.

Como el caso particular que nos ocupa son los Duques de Alba, hablaremos acerca de su función para este efecto.

Por razón de economía se puede proteger un malecón con dispositivos obtenidos con Duques de Alba de 3 a 4 pilotes, distantes unos 25 o 30 metros, alternando montantes de atraque de 8 a 10 metros, para el atraque de las embarcaciones del servicio del puerto. Los "montantes de atraque" son además indispensables para la protección de las escaleras de enganche delante del muro.

Los Duques de Alba son muy útiles y necesarios en los sitios en que se debe conservar una cierta distancia entre el bar

co y el paramento del muro, del malecón o muelle, para proteger los pórticos de levante; así como las grúas movibles que siempre tendrán un contacto involuntario con el barco.

En Cuxhaven, Alemania, se establecieron bajo el antiguo Steubenhöft, Duques de Alba que deben recibir los choques de los grandes paquebots que entran en el puerto, con el mínimo posible de fuerza de impacto. Además, las presiones de viento o de corrientes que ejerce el barco amarrado, se conducen al suelo después que las partes solicitadas de la obra han podido por su flexión, transmitírselas a un espolón pasivo erigido -- allá en el lugar del malecón.

Según el reporte de L. Descans, Ingeniero principal honorario de Puentes y Calzadas de Bruselas, y de L. Kesel, Ingeniero Director Técnico del puerto de Amberes, los diversos tipos de Duques de Alba y su utilidad, deben considerarse en la siguiente forma:

Sin entrar en el cálculo de los esfuerzos desarrollados por el contacto de un barco con una obra de atraque o de defensa, analizamos a continuación algunos de los dispositivos que han sido adoptados, bien para permitir a una obra resistir a un esfuerzo estático determinado (tensión de un amarre o empuje de un navío lanzado por el viento o por las corrientes), -- bien para permitirle absorber la fuerza viva de un abordaje en velocidad con el menor peligro de averías, tanto para la obra como para el navío. Describiremos más especialmente los dispositivos realizados en los puertos marítimos Belgas.

El problema propuesto se puede subdividir en tres cuestiones relativas respectivamente a saber:

10.-El atraque y el amarre de un navío a un malecón o a -
Diques de Alba dispuestos en la rada o en la dársena, tratando
de inmovilizar el navío para la carga o descarga de su carga--
mento;

20.-La colisión accidental, pero muy frecuente entre un -
navío y las obras guías que jalonan un canal de anchura estric
tamente limitada, o dispositivos de defensa que protegen obras
-de arte, tales como puentes, cabezas de esclusas, etc.;

30.-La detención y el mantenimiento de un navío en una po
sición estrictamente definida, tal como la de un barco trans--
bordador o Ferry al cual se le viene a unir una pasarela, por
la cual los vagones del ferrocarril, los camiones o los autos
cargados sobre el puente del navío pueden ganar los terraple--
nes del puerto.

1.-"ATRAQUE Y AMARRE DE UN NAVIO A UN MUELLE O A UN PUNTO
FIJO DE CARGA".

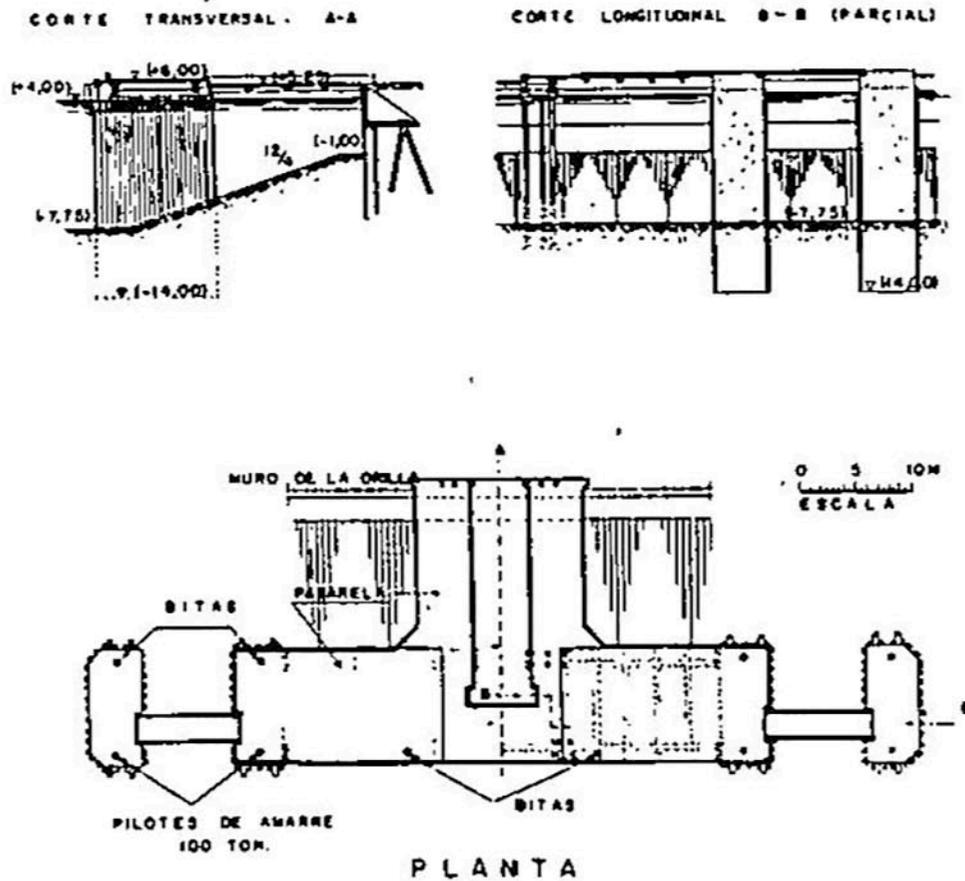
Los antiguos malecones eran frecuentemente construcciones
macizas resistiendo por su peso solamente, a las diversas ----
acciones que los soliciten, comprendiendo por una parte los em
pujes de los rellenos del terraplén aumentados por las cargas
de las vías férreas y de los caminos de rodamiento de las ----
grúas; y, por otra parte, las acciones que resultan del atra--
que y del mantenimiento de los navíos, según que se trate de -
una toma de contacto más o menos brutal o de una tensión sobre
un órgano de amarre sólidamente anclada a las mamposterías del
muro.

Desde hace tiempo, la construcción de muros sobre pilas -
se ha desarrollado ampliamente. Entre las pilas, el empuje de
las tierras no actúa más que sobre una obra de altura reducida,

establecida en el vértice de un talud de enrocamiento que cubre un viaducto de bóvedas o de viguerías de concreto. Las pilas del viaducto soportan las cargas verticales de una parte del terraplén y experimenta los efectos de los esfuerzos de atraque y de amarre. Llevando todavía un poco más lejos la "especialización" de las partes del muro y su adaptación a una sollicitación especial bien definida, se llega a obras formadas de tres partes completamente independiente la una de la otra: un dispositivo de sostenimiento de tierras, una estacada llevando la vía de rodamiento de las grúas y Duques de Alba -- aislados, sólo expuestos a los esfuerzos de atraque y de amarre.

En las regiones especializadas de los puertos, se encuentran puestos de atraque reservados a los Petroleros o Pier --- (muelle largo normales a la orilla), reservados al servicio de los elevadores rodantes de granos. Estos puestos comprenden en el límite de aguas profundas de la dársena, pilas llevando bitas y dispositivos de atraque, reunidas por un tablero y ligados a la orilla por una o varias pasarelas. La Figura 4 --- muestra por ejemplo, en cortes verticales y en planta, uno de los puestos de atraque de la nueva dársena petrolera en el puerto de Amberes.

Se puede decir que, en general, en los malecones o puestos de atraque modernos, los esfuerzos que resultan del contacto de un navío son concentrados sobre partes especiales de la obra que constituyen de hecho, Duques de Alba independientes, simplemente accesibles por el tablero del malecón.



PUESTO DE ATRAQUE EN LA NUEVA
DARSENA PETROLERA DE ANVERS.

FIG. 4.

Cuando está sometido a la tracción de una amarra, un Duque de Alba debe resistir sin una deformación demasiado grande, a un esfuerzo estático del orden del 60 a 100 toneladas, para el servicio de navíos de 10,000 a 15,000 toneladas.

Cuando es abordado más o menos brutalmente, un Duque de Alba debe absorber una cierta fuerza viva sin desarrollar una ---

fuerza de impacto demasiado grande, susceptible de causar averías al navío. La pequeñez relativa de esta fuerza de impacto exige una deformación relativamente grande, para dar el trabajo necesario para frenar al navío que aborda.

Los dos géneros de resistencia descritos antes, no pueden encontrarse reunidos en una sóla obra. Los Duques de Alba deben ser clasificados en dos tipos bien distintos:

1o.-El Duque de Alba "de amarre", muy resistente a los esfuerzos estáticos y relativamente poco flexible;

2o.-El Duque de Alba "de choque", capaz de absorber una fuerza viva importante flexándose notablemente bajo un esfuerzo bastante moderado.

Los estudios comparativos relativos a las condiciones de ataque de un navío de 5,000 toneladas, abordando un Duque de Alba de frente, a la velocidad de 0.30 m/seg., nos han mostrado que un Duque de Alba de tipo flexible, "de choque", podía absorber la fuerza viva correspondiente de 23 toneladas metros, deformándose 87.5 cms. sin que la fuerza de impacto pase de un máximo de 51 toneladas. Por el contrario, un Duque de Alba del tipo rígido de "amarre", no habría resistido el mismo choque más que flexándose bajo un esfuerzo de 213 toneladas, después de una deformación de 21 cms. solamente.

---oo0oo---

La condición de resistencia a esfuerzos de amarre es primordial para un muro de malecón. Las grandes deformaciones no son aquí ya compatibles con la buena estabilidad del Duque de Alba en enlaces con el tablero del muelle. Son pues Duques de Alba relativamente rígidos los que se incorporan en un puesto de atra

que. El amortiguamiento de la fuerza viva en un atraque brutal, será asegurado por el aplastamiento de montantes de atraque o mejor, por uno u otro de los múltiples amortiguadores de resortes o de frenos hidráulicos que se han probado sobre diversas obras con resultados satisfactorios.

---o---

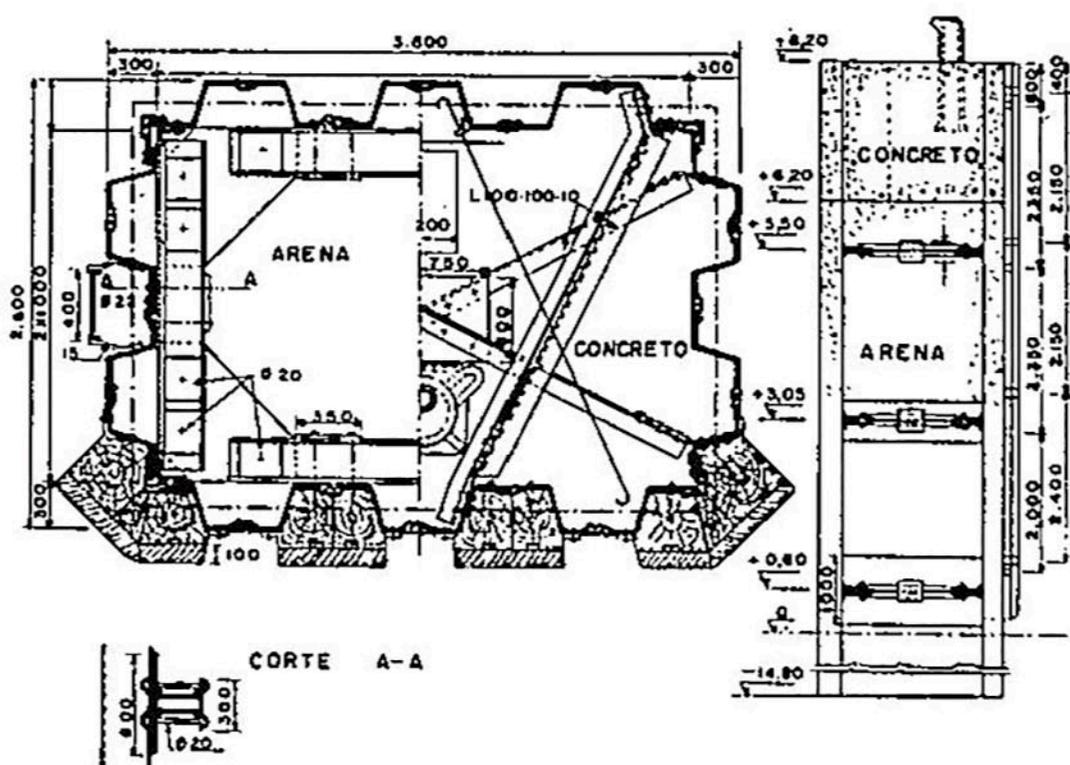
No citaremos sino como recordatorio, los Duques de Alba de madera, cuya vida es corta y además presentan el inconveniente de estarse reparando frecuentemente y los Duques de Alba de pilotes y vigas de concreto, que se fisuran muy fácilmente y cuyas reparaciones siempre difíciles son a menudo imperfectas.

Un macizo de concreto bien cimentado sobre el suelo, puede constituir un Duque de Alba "de amarre", tal es el caso, sobre todo de las pilas, en los puestos de atraque de la dársena petrolera de Amberes (Fig. 4.) Estas pilas están constituidas por macizos de concreto, con una sección aproximada de 11.00 x 4.75 metros y una altura de 13.75 metros y cuya cabeza o tope está a una distancia de 1.50 metros de su cara superior, encontrándose ella misma a 2 metros por encima del nivel normal del agua, el Duque de Alba está revestido de un encofrado, constituido por tablaestacas metálicas Belval de tipo BZ-IFR de una longitud total de 18.50 metros, de los cuales 6.25 metros son de hínca. La colocación del concreto en obra se hace por la parte de abajo del agua en el cofre por medio del procedimiento "colorete".

Tales macizos de hormigón no ofrecen más que una débil resistencia a las acciones dinámicas. Deben necesariamente ser protegidas por defensas o amortiguadores eficaces (1).

Se puede, sin intervención del concreto, sino con ayuda de tablaestacas metálicas solamente, realizar obras más económicas y menos rígidas, capaces de una resistencia suficiente a los grandes esfuerzos estáticos de amarre.

En la Fig. 5, se muestran los cortes horizontal y vertical de una viga hueca realizada con tablaestacas metálicas, cuyo recinto rectangular, de 2.60 x 3.60 metros, está simplemente relleno de arena (2). Esta viga vertical resiste a una tensión horizontal en la bita originada por el empuje pasivo y el contraempuje de las tierras sobre las partes enterradas de la pared (3).



DETALLES CONSTRUCTIVOS DE UN DUQUE DE ALBA CONSTITUIDO POR 20 ELEMENTOS DE TABLAESTACAS BELVAL.

FIG. 5

La viga presenta juntas verticales continuas a la derecha de cada broche de las tablaestacas. Tienden a producirse deslizamientos en ciertas partes de estas juntas bajo el efecto del esfuerzo cortante solicitante. Para asegurar la participación de toda la sección de la viga en un conjunto de trabajo a flexión, es necesario establecer sólidos cuadros de contraventeo que se opongan a todo deslizamiento relativo de una parte de la sección con respecto a la otra. En la obra de la Fig. 5, se han establecido 3 cuadros de los cuales el inferior al nivel más bajo posible, es particularmente solicitado.

Como sucede en los silos, el relleno de arena confinado en el recinto de las tablaestacas, solicita a éstas a flexión transversal por sus empujes.

La masa de arena constituye también una viga "de tierra" alojada en el interior de la viga metálica. El módulo del material tierra es muy débil quizá del orden $\frac{1}{10.000}$ con relación a la elasticidad del acero. No obstante su sección relativamente grande, la viga "tierra" no tiene más que una rigidez -- despreciable con respecto a la de la viga metálica, excluyéndose, bien entendido, toda tendencia a desplazamiento en sus juntas. Los momentos aplicados a la obra no están equilibrados -- más que por tensiones internas de la viga metálica de sección rectangular hueca.

Las obras definidas por los cortes de la figura 5, son -- Duques de Alba "de amarre" y jalonan los canales de acceso a la esclusa marítima de Zeebrugge. La fotografía de la figura 6, muestra las diversas fases de su construcción, a saber: un montaje sobre la orilla en posición horizontal, un transporte

sobre pontón, una suspensión con grúa flotante seguida de la erección sobre los fondos fangosos del puerto y la hinca en las capas de arena resistente del subsuelo. Las tablaestacas utilizadas son del tipo Belval BZ-IV-N50 y tienen una longitud total de 23 metros, de los cuales 8.30 metros son de hincá.



FIG. 6

El complejo atracadero de Ferrys en Zeebrugge (Fig. 10), lleva Duques de Alba de atraque con tablaestacas del tipo Z formando vigas huecas y rellenas de arena de 4.61 x 7.59 m.

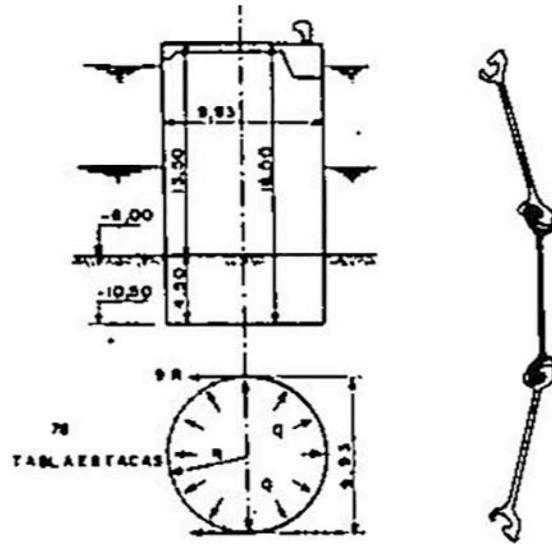
---oo0oo---

En esta misma parte del puerto se han hincado Duques de Alba de sección circular, de 3.72 metros de diámetro con tablaestacas del tipo Z. La construcción no es económica a causa de que las tablaestacas deben cimbrarse antes de su puesta en

obra. Los contraventeos horizontales, difíciles de construir y de fijar sobre una superficie cilíndrica circular de pequeño diámetro, han sido reemplazados por simples capas de 4 tirantes de hierro redondos y diametrales de 40 mm. Estos tirantes no pueden oponerse a los deslizamientos en algunas juntas durante la flexión; estos deslizamientos dividen a la viga en elementos, trabajando en paralelo y reducen considerablemente su resistencia y su rigidez. Los empujes de la arena obrando sobre una pared circular la ponen en tensión; Las tensiones horizontales desarrolladas, deben transmitirse de una tablaestaca a la otra por los ganchos de las tablaestacas del tipo Z, que no están especialmente estudiadas para este objeto y pueden dar lugar a tendencias de dislocación. A juicio de expertos en la materia, las obras circulares de este tipo y de este diámetro, no pueden llenar convenientemente la misión que les está encomendada.

---ooOoo---

Se realizan por el contrario, con éxito, Duques de Alba del tipo "de amarre" bajo la forma de cilindros circulares de gran diámetro (del orden de 10 metros por ejemplo), obtenidos por la unión de tablaestacas planas. La Fig. 7 muestra los cortes vertical y horizontal de un Duque de Alba de este género, establecido para una tensión de 100 toneladas, en Wintam, en la desembocadura del canal marítimo de Bruselas en el Ruppel, (ver también el plano de situación de la Fig. 8). Las tablaestacas son del tipo Belval P9; miden 18 metros de longitud, de los cuales 4.50 metros son de hinca.



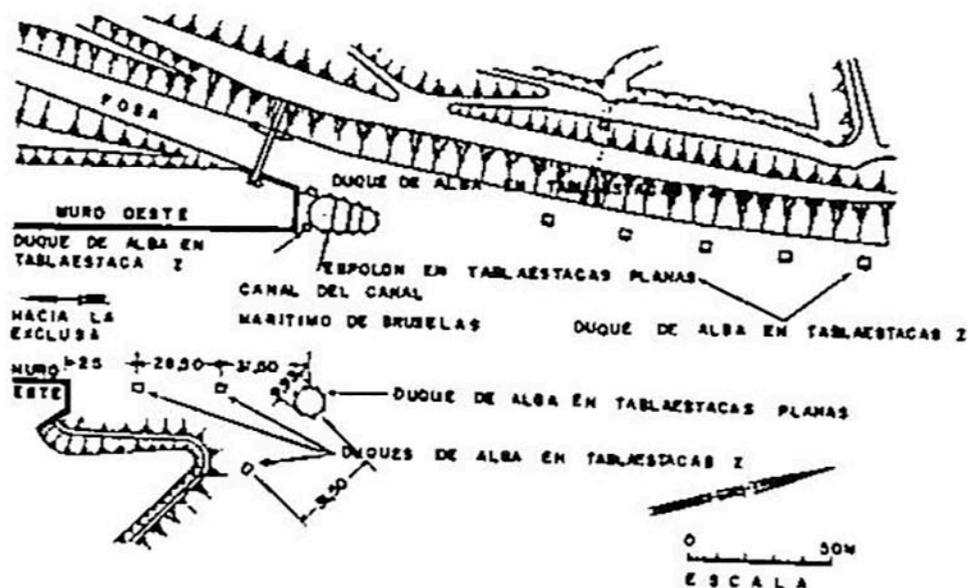
CELULA AISLADA DE TABLAESTACAS
PLANAS FORMANDO UN DUQUE DE ALBA

FIG. 7

Los empujes ejercidos por la arena de relleno del gavión, desarrollan en la pared de las tablaestacas tracciones horizontales que se transmiten de un elemento al otro por los ganchos de empalme. Estos ganchos, especialmente diseñados, no se rompen más que bajo una tensión del orden de 300 a 350 toneladas por metro de longitud.

Las tensiones horizontales tienden a aumentar el radio de la celda. El anillo situado al nivel del suelo no puede seguir esta extensión, de suerte que la pared se flexa en el sentido vertical como la pared de un depósito empotrado sobre un fondo rígido.

Esta flexión vertical se localiza sobre una altura de algunos metros por encima del fondo, produciendo un bombeo de la pared que varía no sólo con el momento de inercia de la tablaestaca, sino también con el grado de alargamiento elástico de la pared, que está en función del módulo elástico del acero y de la deformidad de los ganchos.



CANAL DE ACCESO A LA EXCLUSA DE WINTAM
(CANAL MARITIMO DE BRUSELAS).

FIG. 8

Desde el punto de vista de la resistencia a las flexiones provocadas por una tensión sobre la bita o por el choque de un abordaje, la obra se compone de dos vigas encajadas la una en la otra. La viga metálica exterior, comprende a cada gancho - (o sea, en general todos los 40 cms. de juntas verticales continuas) que permiten el deslizamiento relativo de los elementos vecinos bajo la acción de los esfuerzos cortantes. Los ganchos puestos en tensión debido a los empujes del relleno y dichas --

obras dan lugar a frotamientos que deben ser vencidos para -- que se inicien los deslizamientos relativos de las tablaestacas. El estudio detallado de la sollicitación de la obra, --- muestra que los deslizamientos se producen no obstante estos frotamientos y que, bajo la carga máxima de servicio, la viga circular hueca de tablaestaca se divide en elementos de débil rigidez, trabajando en paralelo. En estas condiciones la deformación de la pared metálica aumenta notablemente, mientras la viga "de tierra" de relleno, tiene un valor relativamente débil, a causa del gran momento de inercia de su sección circular llena y de una decena de metros de diámetro, no obstante la pequeñez del módulo de elasticidad del material "tierra" con respecto al del acero.

La mayor parte de los momentos flectores (del orden del 60 al 75%) están equilibrados por las compresiones internas - del relleno de la arena. Uno de los procedimientos más racionales de cálculo de las construcciones celulares, consiste en comprobar que bajo la acción total de las fuerzas exteriores (aumentado a veces en el 10% para mayor seguridad), la estabilidad interna del núcleo de tierra permanezca asegurada sin - la aparición de esfuerzos que expandan la masa y sin que de - ningún modo, la inclinación sobre la normal, a una faceta de la compresión que la sollicita, exceda del ángulo de frotamiento interno del material pulverulento del relleno.

Los Duques de Alba de tablaestacas planas son construcciones económicas. El peso de las tablaestacas utilizadas no pasa en general de 140 kgs. por metro cuadrado. La arena de relleno no cuesta más que los gastos de extracción (por ejemplo:

de dragado) y de depósito en la celdas (por ejemplo: por impulsión hidráulica).

La ejecución necesita algunas precauciones fáciles de observar. Para evitar las dificultades de cierre de la pared cilíndrica (con tensiones internas peligrosas que pueden ser el resultado de ello), es necesario montar y cerrar el recinto de tablaestacas con precisión, antes de batir los elementos de relleno en el fondo.

Con este objeto las tablaestacas son presentadas y enfiladas sucesivamente apoyándose sobre un escantillón sólido -- que lleva por lo menos 2 círculos de guías a niveles diferentes. En el curso de estas operaciones, las tablaestacas no se hincan en el suelo sino sobre una débil altura, de suerte que conserven una cierta movilidad permitiendo mantener por todas partes la verticalidad de las juntas y efectuar un cierre correcto sin ningún esfuerzo exagerado.

Una vez la pared completamente dispuesta, el batido se hace por etapas sucesivas, desplazando progresivamente un martillo trepidador sobre las cabezas de las tablaestacas. Cada recorrido completo del martillo sobre la circunferencia de la parte alta del cajón no corresponde más que a una parte de la hincada total que tendrán las tablaestacas.

---ooOoo---

Las únicas construcciones celulares de tablaestacas planas que existen en Bélgica, son el Duque de Alba aislados de la Fig. 7 y un morro formado por 4 gaviones yuxtapuestos sobre la orilla izquierda del canal de Bruselas a su entrada en el Rupel (Fig. 8).

No nos corresponde extendernos sobre las aplicaciones ya numerosas hechas en el extranjero, tales como las pilas de soporte de un puesto de atraque en el puerto petrolero de Dunquerque. Los malecones de Curazao, numerosos piers en los Estados Unidos, etc. Parece bien establecido que las obras celulares de tablaestacas planas, bajo la forma de celdas aisladas o de filas de gaviones yuxtapuestos, presentan en la hora actual un interés muy grande para la realización rápida y económica de las obras de amarre de los navíos.

II. OBRAS-GUIA Y OBRAS DE DEFENSA EN LOS LIMITES DE UN CANAL.

Las obras que se ejecutan en los límites de un canal, tienen por función frenar un navío que los aborde accidentalmente y llevarlo de nuevo al canal por esfuerzos que deben ser tan reducidos como sea posible. Estas obras deben ser sobre todo flexibles y resistir a las acciones dinámicas por una deformación horizontal suficientemente grande en su cabeza.

Tales obras se realizan fácilmente bajo la forma de haces de pilotes yuxtapuestos uno al otro y flexionando en paralelo. La madera, muy sujeta a la pudrición, el hormigón armado, demasiado rígido, deben, en estos Duques de Alba "de choque", ceder el paso al acero. Los haces de pilotes en los Duques de Alba de acero, se constituyen por vigas metálicas de secciones diversas tales como:

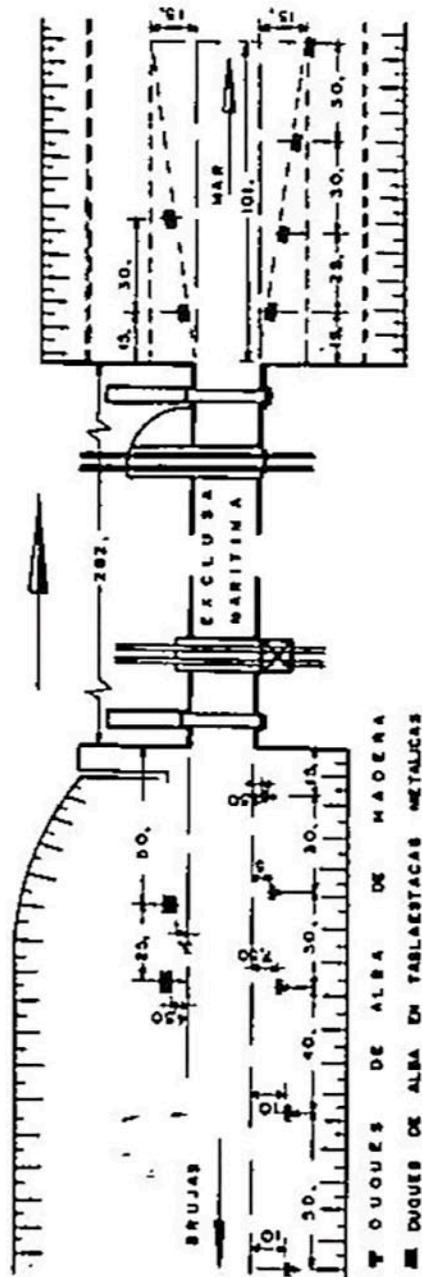
-Viguetas de almas anchas provistas eventualmente de enganches (tablaestacas Peine), para formar haces de elementos paralelos;

-Tubos metálicos huecos, sin soldadura (Mannesmann), ligados por cumbreras que aseguren la igualdad de los desplazamientos horizontales de las cabezas;

-Cajones de diversos perfiles, obtenidos por soldadura de elementos de tablaestaca ondulados y reunidos por travesaños que no establezcan enlaces rígidos a la flexión entre los pilotes del haz.

Tales piezas flexibles y suaves se aplican corrientemente a lo largo de las vías marítimas. El estudio de su funcionamiento ha sido objeto de numerosos trabajos. Ciertos perfeccionamientos a los modelos primitivos han sido aplicados o son proyectados, tratando, por ejemplo, de reducir la velocidad de la fuerza de impacto al principio del frenado, o de asegurar una buena repartición de los esfuerzos entre los pilotes del haz, cuando un choque oblicuo añade una cierta torsión a la flexión del Duque de Alba.

No existen en Bélgica obras de este género. El canal de acceso (Fig. 5), a la esclusa marítima del canal de Bruselas está bordeado en sus dos orillas por obras del tipo "de amarrar", ya descritas anteriormente, que prolongan los muros próximos de la esclusa o reemplazan antiguas estacadas. Los canales de acceso a la esclusa marítima de Zeebrugge (Fig. 9) - están jalonados por Duques de Alba de vigas huecas (Fig. 5 anterior), que dan eventualmente apoyo a un navío lanzado por el viento y le permiten jalarsse sobre una obra de la orilla opuesta para volver a ponerse en la alineación del canal de la esclusa.



ACCESO A LA EXCLUSA MARITIMA DE ZEEBRUGGE
FIG. 9

III.-DISPOSITIVOS DE ATRAQUE DE LOS PERRYS.

En las obras antiguas, los barcos transbordadores se introducían como en un embudo, entre dos malecones macizos precedidos de paneles de madera montados sobre pilotes, que el navío empujaba sobre 15 o 20 cms., hasta el contacto del muro.

comprimiendo resortes. El barco era así frenado, guiado y --
mantenido por dispositivos de una cierta elasticidad, en la -
posición requerida para su enlace con la pasarela de salida -
de los vehículos.

Se pueden concebir y se han realizado, dispositivos más
sencillos y más económicos, más racionales y más eficaces. El
Ferry se puede atracar en forma semejante al abordaje de un -
muelle cualquiera sobre una línea de Duques de Alba bastante
próximos el uno del otro, colocados a todo lo largo de la po-
sición que ocupará uno de los costados del navío para poder -
colocar en su sitio la pasarela de tierra.

El atraque siguiendo una línea precisa de esta longitud,
no puede hacerse sino por tanteos. El navío debe ser frenado
sin violencia, en todos los sitios donde sobrepase la línea y
llevado con suavidad a la posición que se quiere.

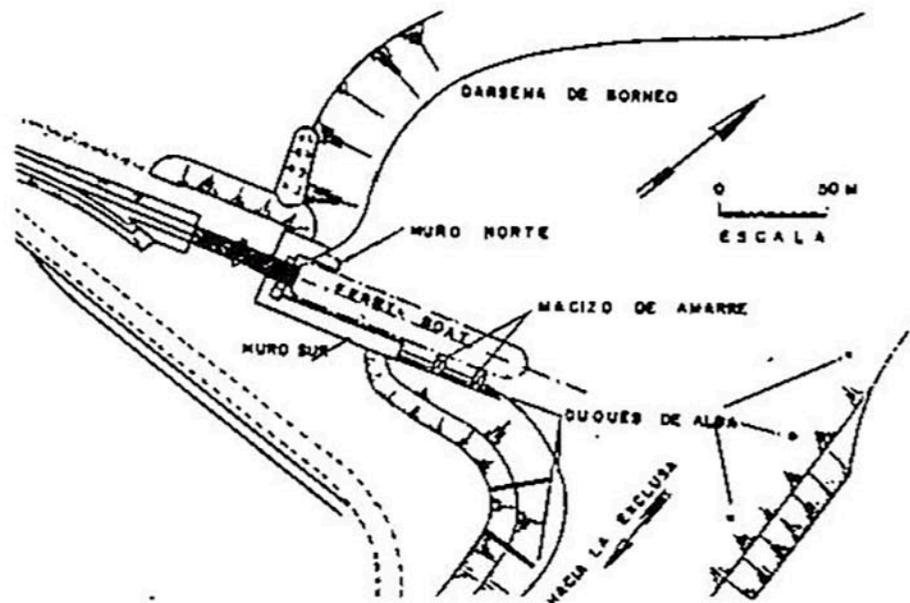
Estas funciones pueden llenarse al máximo con Duques de -
Alba "de choque" muy flexible, en haces de pilotes yuxtapues-
tos, que tomen deformaciones horizontales en la cabeza, de 60
cms. o más cuando se encuentren trabajando.

Cuando el Ferry está en el extremo de su carrera, su par-
te delantera debe ser sólidamente amarrada. Dos o cuatro Du-
ques de Alba repartidos sobre los dos costados del navío, tam-
bién bastante elásticos, pero capaces de resistir a mayores es-
fuerzos estáticos, que los precedentes, pueden servir para de-
tener y mantener la cabeza del Ferry en posición correcta para
la colocación de la pasarela.

Para facilitar las maniobras con viento violento soplando

de través, 2 Duques de Alba "de amarre" son de gran utilidad si se colocan aguas arriba del dispositivo de atraque, uno a cada lado de la entrada, a una distancia suficiente uno del otro para no estorbar las maniobras del Ferry. Deben estar provistos de defensas o amortiguadores para prevenir las consecuencias de muy posibles abordajes.

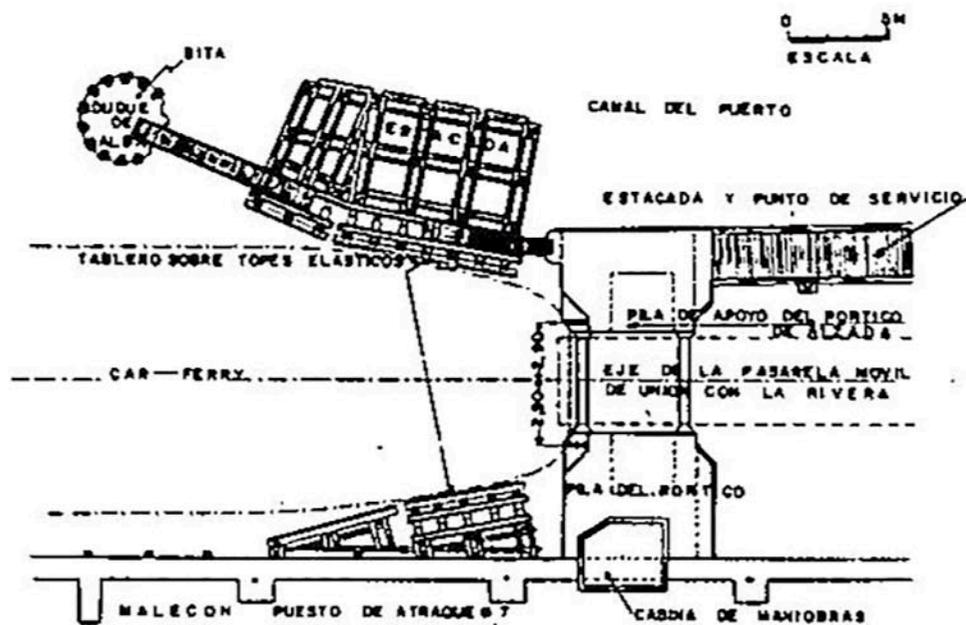
Las Figs. (7 y 8) muestran los planos de situación de los atracaderos para vagones de ferrocarril en Zeebrugge y del Ferry para vehículos y automóviles en Ostende. En la primera de estas obras, el atraque se hace a lo largo de un malecón prolongado por dos Duques de Alba "de amarre" de 4.61 metros por 7.59 metros, de tablaestacas metálicas en forma de Z. Un trazo corto de un segundo malecón encuadra la cabeza del Ferry a efecto de estar en posición de detenerlo.



ATRACADERO DE FERRYS EN ZEEBRUGGE

FIG. 10

En Ostende, el atraque se hace a lo largo de un muelle - existente. La cabeza del Ferry está sostenida por paneles de madera apoyados sobre tapones elásticos, ya que los Duques de Alba circulares, de tablaestacas metálicas, a lo largo del malecón permiten fácilmente el desprendimiento del navío por viento de través, que lo empuja contra el muelle.



ATRAQUE DEL CAR-FERRY EN OSTENDE

FIG. II

CAPITULO II.

"ANALISIS DE LA ESTABILIDAD DE LOS DUQUES DE ALBA".

A.-INTRODUCCION.

Para hacer un diseño práctico para construcciones de atraque, es necesario que el cálculo de las fuerzas ocasionadas por los barcos sobre éstas, correspondan a aquellas que ocurran en la realidad.

El propósito de este estudio es dar un conocimiento sobre el origen de estas fuerzas, la manera como pueden ser calculadas y los principios aplicables para resolverlas.

Es obvio que se necesita determinar la elasticidad de varios tipos de barcos mediante cálculos y pruebas.

El empuje exigido (fuerza) por barcos sobre construcciones de atraque pueden dividirse en: aquellas que resultan de influencias estáticas y las relacionadas con influencias dinámicas.

B.-FUERZAS ESTATICAS.

Por este nombre se conocen las fuerzas de compresión y tensión (cable de remolque), que el barco ejerce sobre la construcción de atraque, como resultado de las corrientes o del viento.

Las fuerzas ejercidas por los cables de amarre operan sobre los postes del muelle (bitas).

La magnitud de las fuerzas operando en la parte superficial del barco expuesto a ellas, está expresada por la fórmula:

$$K = C_w v^2 \cdot F$$

v = velocidad de la corriente o velocidad efectiva del viento.

F = la superficie vertical del barco expuesto, en ángulo recto a la dirección de la corriente o del viento.

C_w = Coeficiente de resistencia.

Las fuerzas causadas por las corrientes pueden ser fácil y exactamente determinadas con la ayuda de modelos de prueba en Laboratorios de Mecánica-Hidráulica. Esto es más difícil en el caso de la influencia de los vientos; aunque es posible, como en el caso de corrientes, probar por medio de modelos de prueba las fuerzas ejercidas en un barco producidas por una corriente de aire con una velocidad constante. Sin embargo, habiendo vientos normales, las velocidades no son corrientes, pues son accesibles a continuas y fuertes fluctuaciones.

Puertes golpes de viento tienen una duración de pocos segundos. Debe tenerse esto muy en cuenta, si las construcciones de atraque son rígidas. Sin embargo, tanto el barco como el muelle son siempre elásticos y las fuerzas de compresión que ocurren en el muelle, se desarrollan proporcionalmente al movimiento del barco.

Las fuerzas de inercia que se deben considerar, tienen por lo tanto, un efecto acumulativo, y a pesar de la muy irregular distribución de la presión del viento sobre el barco, se transmiten más uniformemente al muelle y en consecuencia los valores efectivos medios pueden obtenerse a partir de la elasticidad del barco y del muelle, así como del tamaño (masa) del barco.

C.-FUERZAS DINAMICAS.

Las fuerzas dinámicas son provocadas por el impacto del barco sobre la construcción (pilote) cuando aquél está ani

mado de cierta velocidad.

Las fuerzas provocadas por el impacto del barco sobre la construcción de amarre, dependen de la velocidad del barco, -- medida en forma perpendicular a la pared de amarre, despreciando la fricción entre dicha pared y el barco.

Esta velocidad que llamaremos "velocidad de atraque" es función de la velocidad del barco y del ángulo bajo el cual se aproxima a la pila, así como del derrotero. Este derrotero es motivado por el viento, corrientes, momentos adicionales del remolque, etc.

Se han hecho pruebas de laboratorio (Delf) sobre la influencia del viento en la velocidad de atraque de un barco correo normal; de donde se obtuvo que si el viento sopla sobre la manga de un barco de este tipo, la velocidad máxima que puede desarrollar es de 1/20 de la velocidad del viento.

A continuación pondremos una tabla de los valores obtenidos con una velocidad de viento de 10.5 m/seg.

Velocidad de atraque de un Barco-Correo.	Distancia requerida a ser alcanzada por esta velocidad en dirección de la corriente.	Tiempo requerido para alcanzar esta velocidad.
0.5 m/seg.	120 m.	350 seg.
0.45 m/seg.	55 m.	190 seg.
0.30 m/seg.	16 m.	90 seg.
0.20 m/seg.	7 m.	55 seg.

Estos valores se determinan por medio de pruebas de laboratorios para cualquier barco y bajo diferentes tipos de carga.

Generalmente no se toman en cuenta todos los errores po--

sibles, ya que las construcciones de atraque serían muy difíciles de analizar y muy caras. Consecuentemente se debe tomar en cuenta la normalidad y una experta ejecución de maniobras y aceptar la posibilidad de daños provenientes de malas maniobras.

Cada puerto tiene sus propias normas a este propósito, basadas en experiencias. Finalmente la experiencia ha mostrado que la velocidad a la que el barco se aproxima al amarradero, dependen también del tipo de construcción. Como regla, el atraque a una pared rígida debe hacerse más cuidadosamente que cuando hay defensa flexible por temor de dañar el barco.

Un procedimiento lógico es hacer los cálculos de la construcción con las fuerzas estáticas máximas, probables que puedan aparecer al atracar.

Debe construirse con una elasticidad adecuada o proveer de suficiente material elástico, tanto al barco como a la construcción de amarre, para asegurar que las fuerzas ocasionadas por la influencia dinámica no exceda a las fuerzas estáticas.

Una base para el cálculo de las acciones dinámicas, es que la energía cinética del barco (con el agua rodeándolo) que en un principio vale $1/2. m. v^2$, es convertida en la energía requerida por una deformación elástica de:

- 1.-El Barco.
- 2.-El Atracadero.
- 3.-Los objetos intermedios (defensas, amortiguadores de choque, etc.), y también la energía usada en:

- 4.-Girar el barco (punto de impacto).
- 5.-El balanceo del barco, si el punto de impacto se encuentra arriba o abajo del centro de gravedad del -- barco.
- 6.-La resistencia del agua.
- 7.-Absorción de la vibración.

Refiriéndose al No. 5, se observará que el balanceo - será más violento, si el centro de impacto y el centro de gra- vedad coinciden; cosa que es posible de ocurrir. No se trata-- rán otros casos.

Es obvio que los factores mencionados en 6 y 7 son efi caces, inmediatamente después de su impacto, pero no serán con siderados aquí. Es incierto que tengan tanto efecto, y su in- clusión complicaría los cálculos.

D.-CALCULO GENERAL DE LAS FUERZAS DINAMICAS.

Las bases usadas para el cálculo de las fuerzas dinámi cas, son las que provienen de considerar que el problema inclu- ye el cálculo de las fuerzas de percusión.

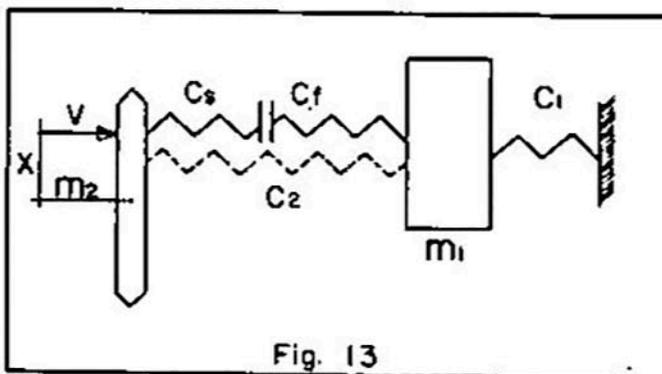
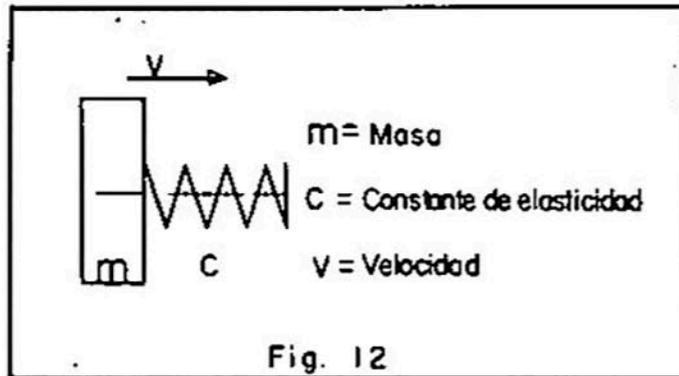
Las fuerzas de percusión ocurren cuando una fuerza muy grande actúa por un tiempo extremadamente corto; tan corto, que el movimiento de los cuerpos en los cuales actúa la fuerza, es despreciable. Es decir, que cuando ocurre un impacto, los ---- cuerpos sufren un cambio repentino de velocidad, sin cambiar su posición.

Sin embargo, en el caso del impacto de un barco sobre - un atracadero, los dos cuerpos se ponen en contacto y puesto -- que ambos cuerpos poseen cierta elasticidad, permanecen intac-- tos por cierto tiempo, aunque su posición no sufre un cambio. -

Este cambio de posición tiene una gran influencia en la magnitud de la fuerza que se presenta entonces y por lo tanto no puede ser ignorada. Además debe tomarse en cuenta la vibración debida al impacto, ya sea simple o compuesta.

Consecuentemente la masa y la elasticidad de los dos cuerpos (barco y atracadero) son de importancia en el cálculo. La elasticidad se representa por la letra "C" de donde: $K = Cy$; fuerza = constante de elasticidad por desplazamiento. La Fig. 12 muestra una representación esquemática del cuerpo.

Para los siguientes cálculos hemos considerado una construcción de atraque elástica (una plataforma elástica soportada por pilotes cuyo frente tiene una protección adecuada por medio de una superficie consistente en defensas, amortiguadores de choque, etc.).



Un barco de masa m_2 y constante de elasticidad C_s , choca con una velocidad "v" contra un atracadero de masa m_1 y constante de elasticidad C_1 (la de los pilotes). La masa de la defensa pue

de despreciarse, su constante elástica es C_f .

Tan pronto como el barco entra en contacto con la defensa las constantes elásticas C_s y C_f pueden reemplazarse por una sola constante C_2 , de tal modo que:

$$\frac{1}{C_2} = \frac{1}{C_s} + \frac{1}{C_f}$$

si además:

Y_1 = compresión momentánea del cuerpo elástico (1)

Y_2 = compresión momentánea del cuerpo elástico (2)

y "x" es la excentricidad del impacto y entonces:

$$K=ma \left\{ \begin{array}{l} m_2 \left(\frac{\partial^2 Y_1}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 Y_2}{\partial t^2} - x \frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} \right) + C_2 Y_2 = 0 \text{ ----- (1)} \\ (m_1 + m_2) \frac{\partial^2 Y_1}{\partial t^2} + m_2 \frac{\partial^2 Y_2}{\partial t^2} + C_1 Y_1 = 0 \text{ ----- (2)} \\ m = I \frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} ; \quad I \frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} + C_2 Y_2 x = 0 \text{ -- (3)} \end{array} \right.$$

Introduciendo $I = \frac{1}{12} m_2 l^2$ y reduciendo tendremos:

$$m_2 \left(\frac{\partial^2 Y_1}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 Y_2}{\partial t^2} \right) + C_2 Y_2 \left(\frac{12 x^2}{l^2} + 1 \right) = 0 \text{ ----- (4)}$$

$$C_1 Y_1 + m_1 \frac{\partial^2 Y_1}{\partial t^2} + \frac{m_2 l^2 \left(\frac{\partial^2 Y_1}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 Y_2}{\partial t^2} \right)}{12 x^2 + l^2} = 0 \text{ ----- (5)}$$

Lo cual representa una componente de vibración:

Para un impacto central $x = 0$ ---

$$I \left\{ \begin{array}{l} m_2 \left(\frac{\partial^2 Y_1}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 Y_2}{\partial t^2} \right) + C_2 Y_2 = 0 \text{ ----- (6)} \\ (m_1 + m_2) \left(\frac{\partial^2 Y_1}{\partial t^2} \right) + m_2 \frac{\partial^2 Y_2}{\partial t^2} + C_1 Y_1 = \text{ ----- (7)} \end{array} \right.$$

Que son las ecuaciones diferenciales para un impacto central.

Para un punto de impacto en que $x = 1/2$ obtendremos:

$$\text{II} \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{4} m_2 \left(\frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} \right) + C_2 y_2 = 0 \text{ ---- (8)} \\ \frac{1}{4} m_2 \left(\frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} \right) + m_2 \frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + C_1 y_1 = 0 \text{ --- (9)} \end{array} \right.$$

que son las ecuaciones diferenciales principales para $x = \frac{1}{2}$

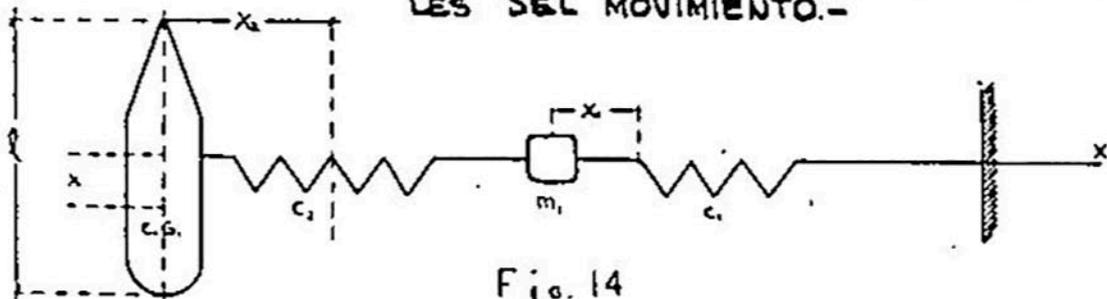
Las ecuaciones diferenciales principales I y II son -- idénticas, excepto que para un punto de impacto, solamente - 1/4 de la masa del barco necesita ser tomada en cuenta.

Las fuerzas que ocurren durante el impacto pueden ser - calculadas a partir de las ecuaciones diferenciales I y II. Las fuerzas máximas que pueden ocurrir son:

$$\begin{array}{l} K_1 = C_1 (y_1)_{\text{máx.}} \\ K_2 = C_2 (y_2)_{\text{máx.}} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \text{Para la fuerza ejercida en la base del atra-} \\ \text{cadero (cimentación).} \\ \text{Para la fuerza ejercida sobre el sistema bar-} \\ \text{co-defensa.} \end{array} \right.$$

Las fuerzas K_1 y K_2 , generalmente difieren entre sí y no actuarán en el mismo momento como una resultante de la vibra- ción compuesta.

PLANTEO DE LAS ECUACIONES DIFERENCIA- LES DEL MOVIMIENTO.-



Deformaciones de los resortes C_1 y C_2 :

$$Y_1 = x_1 \text{ ----- (1)}$$

$$Y_2 = x_2 \text{ ----- (2)}$$

Diagramas de cuerpo libre de masas:

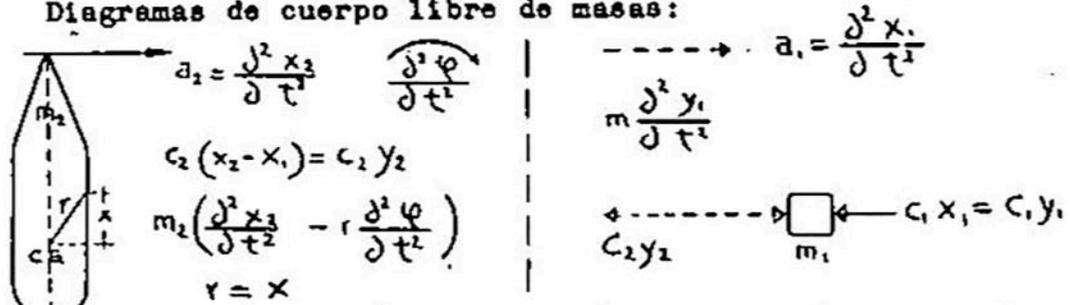


FIG. 15 Planteo de las ecuaciones diferenciales del movimiento
Para el cuerpo m_2 pueden plantearse ecuaciones dinámicas:

$$m_2 \left(\frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} - x \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} \right) + c_2 y_2 = 0 \text{ ----- (1)}$$

$$I \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + c_2 y_2 x = 0 \text{ ----- (3)}$$

Para el cuerpo m_1 : $-m_1 \frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + c_2 y_2 - c_1 y_1 = 0 \text{ -- (a)}$

Pero de (1): $c_2 y_2 = -m_2 \left(\frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} - x \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} \right)$

Substituyendo este valor en (a) queda:

$$m_1 \frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + m_2 \left(\frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} - x \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} \right) + c_1 y_1 = 0 \text{ -- (2)}$$

Ordenando resulta:

$$(m_1 + m_2) \frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + m_2 \left(\frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} - x \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} \right) + c_1 y_1 = 0 \text{ ---- (2)}$$

Suponiendo que la masa del barco esté uniformemente distribuida a lo largo de su longitud "l" y que la forma del barco es prismática:

$$I = \frac{m_2 l^2}{12} \text{ ----- (b)}$$

Tomando en cuenta este valor en la ecuación (3)

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = - \frac{C_2 y_2 x}{m_2 l_2^2} = - \frac{12 C_2 y_2 x}{m_2 l_2^2} \text{----- (3')}$$

Substituyendo en las ecuaciones (1) y (2) resulta:

$$m_2 \left(\frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} \right) + C_2 y_2 \left(\frac{12 x^2}{l_2^2} + 1 \right) = 0 \text{----- (4)}$$

$$m_1 \frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + m_2 \left(\frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} \right) \frac{l_2^2}{12 x^2 + l_2^2} + C_1 y_1 = 0 \text{--- (5)}$$

Para un choque centrado $x=0$; de donde el sistema de ecuaciones diferenciales (4) y (5) resulta:

$$I \left\{ m_2 \left(\frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} \right) + C_2 y_2 = 0 \text{----- (6)} \right.$$

$$\left. m_1 \frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + m_2 \left(\frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} \right) + C_1 y_1 = 0 \text{--- (7)} \right.$$

Para choque concentrado en un punto cercano a la proa - podemos tomar con buena aproximación $x = \frac{l_2}{2}$ en las ecuaciones

$$(4) \text{ y } (5): \left\{ \frac{m_2}{4} \left(\frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} \right) + C_2 y_2 = 0 \text{----- (8)} \right.$$

$$\left. m_1 \frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + \frac{m_2}{4} \left(\frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} \right) + C_1 y_1 = 0 \text{--- (9)} \right.$$

La única diferencia que existe entre los sistemas de ecuaciones I y II es el coeficiente del término $\left(\frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} \right)$. Es decir, en el caso de choque centrado interviene la masa total del barco y cuando el choque es concentrado en proa sólo interviene la cuarta parte de la masa del barco. Las fuerzas máximas que ocurrirán son:

$$k_1 = C_1 (y_1) \text{ máx. } \left\{ \begin{array}{l} \text{Para la fuerza ejercida en la base de la} \\ \text{estructura de atraque.} \end{array} \right.$$

$$k_2 = C_2 (y_2) \text{ máx. } \left\{ \begin{array}{l} \text{Para la fuerza ejercida entre el barco y} \\ \text{la estructura de atraque.} \end{array} \right.$$

Es evidente que en el caso general no se presentarán simultáneamente las fuerzas k_1 máx. y k_2 máx., puesto que las funciones " y_1 " y " y_2 ", soluciones de los sistemas de ecuaciones diferenciales I y II, no adquieren simultáneamente su valor máximo.

E.-SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES I.

Puesto que en este sistema de ecuaciones aparecen " y " y sus segundas derivadas con respecto al tiempo, se ocurre -- adoptar la siguiente forma para dichas funciones.

$$y_1 = A \text{ sen } (\varphi + pt) \text{ --- (10)}$$

$$y_2 = A_2 \text{ sen } (\varphi + pt) \text{ --- (11)}$$

valores que llevados a las ecuaciones (6) y (7) dan:

$$m_2 (-p^2 y_1 - p^2 y_2) + C_2 y_2 = 0 ; -p^2 m_2 (A_1 + A_2) + C_2 A_2 = 0 \text{ --- (12)}$$

$$m_1 (-p^2 y_1) + m_2 (-p^2 y_1 - p^2 y_2) + C_1 y_1 = 0 ; -p^2 m_1 (A_1) - p^2 m_2 (A_1 + A_2) + C_1 A_1 = 0 \text{ --- (13)}$$

que pueden ordenarse y escribirse como sigue:

$$(-p^2 m_2) A_1 + (C_2 - p^2 m_2) A_2 = 0 \text{ --- (14)}$$

$$(C_1 - p^2 m_1 - p^2 m_2) A_1 + (-p^2 m_2) A_2 = 0 \text{ --- (15)}$$

Puede verse que estas ecuaciones forman un sistema lineal y homogéneo en A_1 y A_2 . Para que exista una ecuación -- distinta de la trivial, que no interesa, es necesario y suficiente que:

$$(-p^2 m_2) (C_2 - p^2 m_2) = 0$$

$$(C_1 - p^2 m_1 - p^2 m_2) (-p^2 m_2)$$

Desarrollando este determinante resulta: $(-p^2 m_2)^2 - (C_1 - p^2 m_1 - p^2 m_2) C_2 = 0$

$$(p^4)^2 m_2^2 - (p^2)^2 m_1 (m_1 + m_2) + (p^2) m_2 C_1 + C_2 C_1 + C_2 (p^2) (m_1 + m_2) = 0$$

$$-(p^2)^2 m_1 m_2 + (p^2) m_2 C_1 + (p^2) (m_1 + m_2) C_2 - C_2 C_1 = 0$$

$$\frac{(p^2)^2 m_2 C_1 + (m_1 + m_2) C_2 (p^2) + \frac{C_1 C_2}{m_1 m_2}}{m_1 m_2} = 0 \text{ --- (17)}$$

que puede ponerse en esta forma:

$$(p^2)^2 - B(p^2) + C = 0 \text{ --- (18)}$$

Por lo tanto:

$$P_1^2 = \frac{B}{2} + \frac{B^2}{4} - C ; \quad P_1 = \pm \sqrt{\frac{B}{2} + \frac{B^2}{4} - C} \text{ ----- (19)}$$

$$P_2^2 = \frac{B}{4} - C ; \quad P_2 = \pm \sqrt{\frac{B}{4} - C} \text{ ----- (20)}$$

En las expresiones (19) y (20) debe tomarse el signo (+) para el primer radical; de las ecuaciones (14) y (15) se obtiene:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{C_2 - P_1^2 m_2}{P_1^2 m_2} = \frac{P_2^2 m_2}{C_1 - P_2^2 (m_1 + m_2)} \text{ ----- (21)}$$

a partir de la cual fijados los valores de A_2 , se colocan los de A_1 o sean A' y A'' ; los valores de A_2 corresponden a p_1 y p_2 , respectivamente. Entonces de (21) obtenemos los valores correspondientes de A_1 , A' y A'' por lo que la solución general del sistema de ecuaciones (I) resulta:

$$y_1 = A'_1 \text{ sen } (\varphi_1 + p_1 t) + A''_1 \text{ sen } (\varphi_2 + p_2 t) \text{ ----- (22)}$$

$$y_2 = A'_2 \text{ sen } (\varphi_1 + p_1 t) + A''_2 \text{ sen } (\varphi_2 + p_2 t) \text{ ----- (23)}$$

Los valores de los ángulos de fase φ_1 y φ_2 se determinan de acuerdo con las condiciones iniciales del movimiento. Así para el caso presente se tiene:

$$t=0 \left\{ \begin{array}{l} y_1 = 0 ; \quad \frac{\partial y_1}{\partial t} = \frac{\partial x_1}{\partial t} = 0 \text{ -----} \\ y_2 = 0 ; \quad \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} = \frac{\partial x_2}{\partial t} - \frac{\partial x_1}{\partial t} = v \text{ ----- (24)} \end{array} \right.$$

teniendo en cuenta (22) y (23) y (23) $\varphi_1 = \varphi_2$ opuesto.

Derivando (22) y (23) respecto al tiempo resulta:

$$\frac{y_1}{t} = p_1 A'_1 \cos (\varphi_1 + p_1 t) + p_2 A''_1 \cos (\varphi_2 + p_2 t) \text{ ----- (25)}$$

$$\frac{y_2}{t} = p_1 A'_2 \cos (\varphi_1 + p_1 t) + p_2 A''_2 \cos (\varphi_2 + p_2 t) \text{ ----- (26)}$$

y teniendo en cuenta las condiciones iniciales (24) del movimiento queda:

$$\left(\frac{\partial Y_1}{\partial t}\right)_{t=0} = 0 = P_1 A_1' + P_2 A_1'' \text{ ----- (27)}$$

$$\left(\frac{\partial Y_2}{\partial t}\right)_{t=0} = 0 = v = P_1 A_2' + P_2 A_2'' \text{ ----- (28)}$$

De (21):

$$\frac{A_1'}{A_2'} = \frac{C_2 - P_1^2 m_2}{P_1^2 m_2} \text{ ----- (29)}$$

$$\frac{A_1''}{A_2''} = \frac{C_2 - P_2^2 m_2}{P_2^2 m_2} \text{ ----- (30)}$$

Tomando en cuenta (25), (30) y (28): $P_1 \frac{(C_2 - P_1^2 m_2)}{P_1^2 m_2} A_2' + P_2 (C_2 - P_2^2 m_2) A_2'' = 0$

$$\text{III} \left\{ \begin{array}{l} \frac{(C_2 - P_1^2 m_2)}{P_1} A_2' + \frac{(C_2 - P_2^2 m_2)}{P_2} A_2'' = 0 \text{ ----- (31)} \\ P_1 A_2' + P_2 A_2'' = v \text{ ----- (32)} \end{array} \right.$$

sistema de ecuaciones que determina en forma única a las constantes A_2' y A_2'' mediante (29) y (30). Así, se tiene:

$$A_2' = \frac{\begin{vmatrix} 0 & \frac{C_2 - P_2^2 m_2}{P_2} \\ v & P_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \frac{C_2 - P_1^2 m_2}{P_1} & \frac{C_2 - P_2^2 m_2}{P_2} \\ P_1 & P_2 \end{vmatrix}} = \frac{\frac{v}{P_2} (C_2 - P_2^2 m_2)}{\frac{P_2}{P_1} (C_2 - P_1^2 m_2) - \frac{P_1}{P_2} (C_2 - P_2^2 m_2)} \text{ (33)}$$

$$A_2'' = \frac{\frac{v}{P_1} (C_2 - P_1^2 m_2)}{\frac{P_2}{P_1} (C_2 - P_1^2 m_2) - \frac{P_1}{P_2} (C_2 - P_2^2 m_2)}$$

Para el caso de choque de proa basta reemplazar en las expresiones anteriores a m_2 por $\frac{m_2}{4}$

P.- MUROS DE RETENCION. Y DUQUES DE ALBA.

Los muros de retención siguen una regla determinada - para resistir la presión lateral del suelo y son muy sólidos.

Sin entrar en detalles, se consideran generalmente como completamente rígidos y en consecuencia, toda la energía cinética del barco debe ser absorbida por las defensas del barco mismo.

Lo mismo se dice, aunque en menor escala, para los Duques de Alba contruidos de concreto reforzado o con pilotes metidos en fundas de acero, generalmente rellenos de tierra o de concreto, los cuales se usan como cimentación en varios puertos.

En estos casos desde luego $C_1 = \infty$ y $y_1 = 0$

La ecuación diferencial principal para el impacto central se simplifica ahora: $m_2 \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} + C_2 y_2 = 0$

Esta representa una vibración simple.

Por integración tenemos:

$$y_2 = v \sqrt{\frac{m_2}{C_2}} \operatorname{sen} \left(\sqrt{\frac{C_2}{m_2}} \cdot t \right) \quad \text{y} \quad y_{2\text{máx.}} = v \sqrt{\frac{m_2}{C_2}}$$

La fuerza para los impactos centrales y excéntricos será:

$$K_{\text{centrada}} = C_2 y_{\text{máx.}} = v \sqrt{m_2 C_2}$$

$$K_{\text{excéntrica}} = 1/2 v \sqrt{m_2 C_2}$$

Si los Duques de Alba son de madera o de secciones de acero - sus masas son generalmente muy pequeñas comparadas con la del barco y pueden ignorarse.

Si sustituimos $m_1=0$ en la ecuación diferencial principal (I) del impacto central, entonces tendremos:

$$m_2 \frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + m_2 \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} + C_2 y_2 = 0$$

$$m_2 \frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + m_2 \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} + C_1 y_1 = 0$$

En consecuencia diremos que $C_2 y_2 = C_1 y_1$

Substituyendo en la ecuación de la energía:

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} C_1 (y_1)_{\max}^2 + \frac{1}{2} C_2 (y_2)_{\max}^2$$

$$\text{Tendremos: } k_{\text{centrada}} = C_2 (y_2)_{\max} = C_1 (y_1)_{\max} = v \sqrt{\frac{m_2 C_1 C_2}{C_1 + C_2}}$$

$$k_{\text{excéntrica}} = \frac{1}{2} v \sqrt{\frac{m_2 C_1 C_2}{C_1 + C_2}}$$

Estos valores se obtienen también a partir del siguiente método de cálculo.

Substituyendo las constantes elásticas C_1 y C_2 por la componente elástica C_3 , que es también constante, tendremos:

$$\frac{1}{C_3} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \therefore C_3 = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

El procedimiento es igual para muros de retención: un barco con una constante de elasticidad C_3 , acomete contra un muro de retención y tendremos:

$$k_{\text{centrada}} = v \sqrt{m_2 C_3} = v \sqrt{\frac{m_2 C_1 C_2}{C_1 + C_2}}$$

Si se escribe: $k = v \sqrt{\frac{m_2 C_1}{C_1 + C_2}}$

se entiende que si la constante de elasticidad del barco (C_2) es mayor que la del Duques de Alba (C_1), luego: $\frac{C_1}{C_2} + 1 \approx 1$; por lo tanto: $k = v \sqrt{m_2 C_1}$

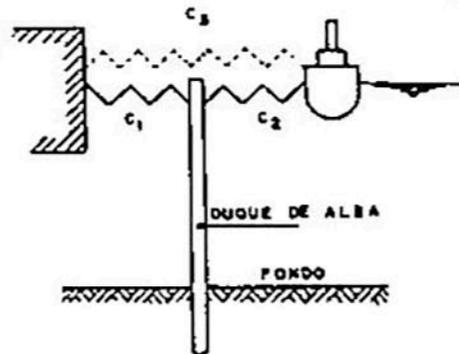


FIG. 16

G.-ALGUNAS OBSERVACIONES SOBRE LA MASA Y LAS CONSTANTES DE ELASTICIDAD DEL BARCO Y DEL ATRACADERO, ASI COMO DE VELOCIDAD DE ACERCAMIENTO.

Los valores de la masa y de las constantes de elasticidad del barco así como del atracadero, constituyen los coeficientes de las principales ecuaciones diferenciales. La determinación de estos valores es por lo tanto, tan importante como los de la velocidad de atraque del barco. Para la determinación de los valores m_1 , C_1 y C_2 (la masa del barco m_2 debe darse por conocida), las siguientes cuatro posibilidades deben tomarse en cuenta.

Estas posibilidades se indican en la Fig. 17, para las cuales por vía de ejemplo se escogió un caso en que el barco está

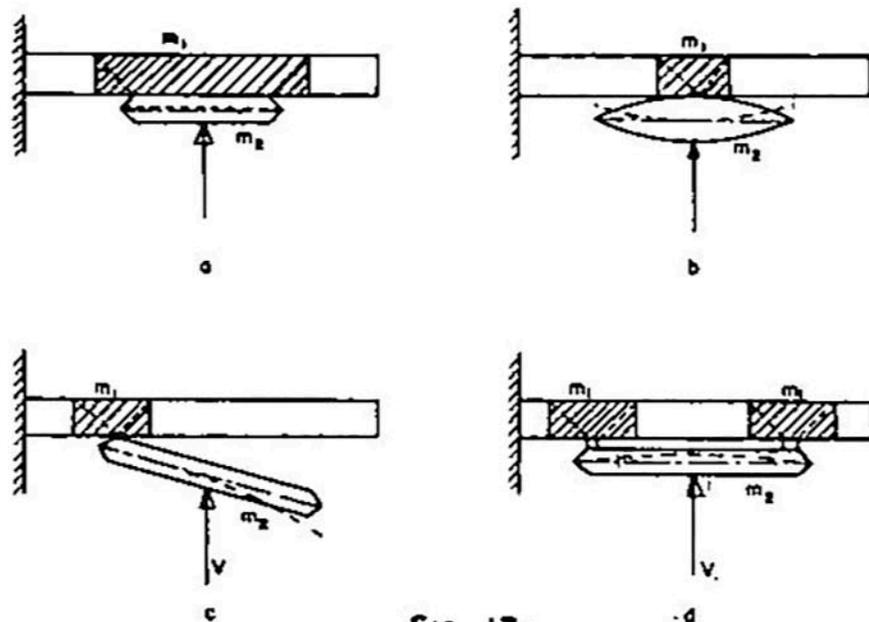


FIG. 17

atracaado, sin el uso de defensas a un muelle. Fig17(a).- El barco tiene sus lados rectos y golpea al muelle de costado actuando como viga (impacto lateral).

Una gran longitud del muelle está comprendida en este caso (m_1). La elasticidad del barco (C_B) depende exclusivamente de la resistencia entre el lado del barco y el brazo de la estructura, defensas (C_p), etc. Por lo tanto ($C_B=C_p$) [constante del barco (C_B)=constante de la pared del muelle (C_p)] .

Fig.- 17 (b).- El barco es de lados curvos; el impacto es también lateral. Esta vez el impacto afecta una pequeñísima longitud del muelle (m_1). La elasticidad del barco depende en primer lugar de la resistencia del muro del lado del barco --- (C_p) y en segundo lugar de la flexión elástica (balanceo) en torno a su eje longitudinal C_b (indicado en la figura por la línea punteada). Así:

$$\frac{1}{C_B} = \frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_b} \quad , \quad \text{o bien} : C_B = \frac{C_p C_b}{C_p + C_b}$$

Fig. 17 (c).-El barco golpea al muelle de proa; de nuevo se afecta una pequeñísima longitud del muelle, mientras que la elasticidad del barco es otra vez determinada por los dos factores mencionados anteriormente.

Fig17(d).-El barco golpea de costado en dos puntos determinados del muelle (viga). Hay, por lo mismo, dos longitudes separadas del muelle que son afectadas. La elasticidad del barco depende nuevamente de los factores mencionados anteriormente. La masa y elasticidad del muelle está más o menos en manos del proyectista. El Ingeniero puede diseñar una construcción lige-

ra o pesada y debe decidir si la superestructura será de pilotes verticales o columnas y puede escoger entre madera, acero o concreto como materiales de construcción. Los valores de m_1 y C_1 pueden calcularse durante el diseño.

Puesto que la fuerza real durante el impacto es: $k=C_1(y)$ máx., la construcción de amarre absorbe la energía $E=1/2 C_1 (y^2)$ máx. De ambas ecuaciones se infiere que: $E=1/2 k (y)$ máx.

Consecuentemente, si el atracadero absorbe una cantidad de energía (E) producida por una pequeña fuerza (k), la deflexión "y" máxima debe ser mayor.

En construcciones de amarre se tiene como regla general: para reducir el efecto de las fuerzas que actúan sobre dicha construcción, es necesario que la construcción tenga gran elasticidad y consecuentemente, la constante de elasticidad C_1 debe mantenerse lo más baja posible.

Sin embargo, para la construcción y otras consideraciones no siempre es posible dar la constante de elasticidad necesaria para reducir las fuerzas reales al nivel deseado.

En tales casos, se puede recurrir a equipar la construcción de amarre con una capa elástica intermedia, consistente en defensas, amortiguadores, etc. Estas capas intermedias dan una gran flexibilidad (baja constante de elasticidad), la cual trae consigo una disminución de las fuerzas que se presentan. Sin embargo, no es correcto aceptar que por este camino la elasticidad del atracadero se incrementada por $\frac{1}{C_2} = \frac{1}{C_B} + \frac{1}{C_D}$ o bien $C_2 = \frac{C_D}{1 + C_D/C_B}$ -----(a) (C_B = constante de elasticidad de las defensas) y por lo mismo la constante de elasticidad de las defensas (C_D) no tiene ninguna relación con el atracadero.

El propósito de las defensas es incrementar la elasticidad del barco, ya que las defensas y el barco deben considerarse como una sola unidad. A partir de esta consideración se harán algunas observaciones sobre la elasticidad del barco.

Si el valor de C_B es mayor que C_D , el término $\frac{C_D}{C_B} + 1 \approx 1$ entonces, si se substituye en la ecuación (a), tendremos: $C_2 = C_D$.

En los casos en que esto sea dudoso, es decir, si el barco posee una cierta elasticidad, ésta se puede suplir por el uso de defensas y así tendremos: $C_2 = C_B = C_D$.

Para malecones o muelles rígidos, la fuerza será: $K = v \sqrt{m_2 C_1}$ y para Duques de Alba elásticos:

$$K = v \cdot \sqrt{\frac{m_2 C_1 C_D}{C_1 + C_D}} = v \cdot \sqrt{\frac{m_2 C_1}{\frac{C_1}{C_D} + 1}}$$

de donde se deduce que la influencia de la elasticidad de las defensas o del barco sobre la fuerza, es considerablemente mayor para un muelle rígido que para un Duque de Alba elástico.

En tales casos puede equiparse el atracadero con resistencias intermedias consistentes en defensas colgantes de madera, capas de corcho, defensas colgantes de hule, etc. Estas capas irán suspendidas entre la pared y el barco. Generalmente no llegan a ser necesarias para las construcciones elásticas, en cuyo caso la fuerza sería:

Si se presentara el caso en que llegare a faltar el dato apropiado, es decir, que no fuera posible aplicar algún grado de elasticidad al barco, se originará una construcción de amarre (atracadero) diseñada con una masa excesivamente grande o en el uso innecesario de defensa.

Es mejor, por consiguiente, establecer por medio de cálculos y pruebas cual será el grado de elasticidad que deberá aplicarse a diferentes tipos de barcos.

Como condición precisa, la elasticidad del costado del barco depende de:

a).- De la resistencia o elasticidad del costado del barco.

b).- La flexibilidad del eje longitudinal.

La acción de un barco alrededor de sus ejes longitudinales nos conduce al caso de la vibración elástica de una varilla, con su masa igualmente repartida a lo largo de su longitud. Luego, el barco se considera como una varilla de rigidez uniforme con una masa constante por unidad de longitud.

En la teoría de ecuaciones diferenciales parciales, éste es un problema bien conocido, el cual puede ser resuelto por medio de sus propias funciones, aunque su cálculo es complicado. Puesto que el barco no puede ser considerado como una varilla homogénea, cualquiera de las consideraciones de distribución de peso o de rigidez no conduce a encontrar una cierta elasticidad del barco, como se muestra en el ejemplo I. Sin embargo, prescindiendo del método usado para estos cálculos, puesto que esto es un problema de movimiento flexible, el valor de rigidez del barco (EI) debe ser siempre conocido.

Sin entrar en más detalles sobre la elasticidad de los barcos, diremos tan solo que ésta se puede averiguar hasta que se hace el cálculo de flexibilidad en un momento determinado.

Haremos ahora algunas observaciones sobre la velocidad de atraque.

En la fórmula destinada para muelles y Duques de Alba, - se observa que la fuerza que actúa en la realidad es directamente proporcional a la velocidad de atraque.

Esto se esquematiza como sigue:

$1/2 m v^2 = C (y^2)$ máx., y por lo tanto, la fuerza es directamente proporcional a la velocidad de atraque.

H.-OBSERVACIONES SOBRE EL DIAGRAMA DE TRABAJO PARA ESTRUCTURAS ELASTICAS, DEFENSAS, ETC.

Estas observaciones se basan en la suposición de un cuerpo elástico, el cual no está sujeto más que a carga considerada como estática; la fuerza ejercida por este cuerpo está en proporción directa de la compresión:

$$k = C_y$$

En un diagrama de "fuerza-compresión", esta relación está representada por una línea recta que pasa por el origen. Si la compresión se lleva sobre el eje de las "x" y la fuerza sobre el eje de las "y", entonces el trabajo absorbido está representado por el triángulo rayado de la Fig. 18:

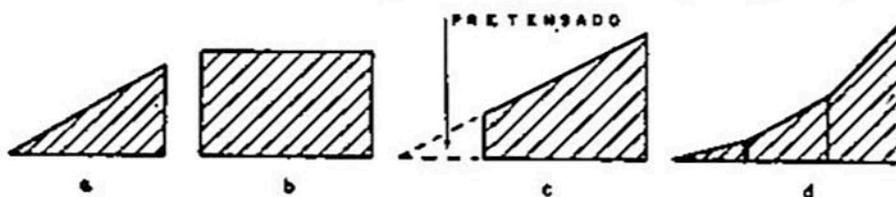


FIG. 18

Como quedó establecido plenamente, el objeto será siempre evitar la fuerza máxima k , tan grande como sea posible, esto se logra con una construcción que tenga una constante elástica (C) baja. La distancia de frenaje será entonces grande, lo que en muchos casos no será una desventaja. Si este principio

se aplica a las defensas, que sirven para la protección del muelle y los Duques de Alba (Los Duques de Alba se colocan a cierta distancia del muelle para protegerlo, o de lo contrario no resistirá los impactos del barco), necesariamente se deberá tener como requisito una gran distancia entre el muelle y el barco atracado. Hay sin embargo, por otra parte, numerosas consideraciones que hacen necesario que el barco esté lo más cerca del muelle, como por ejemplo al alcance máximo de las grúas del muelle, pero a la vez libre de los peligros que presentan los objetos que caen al agua entre el barco y el muelle.

Naturalmente en el caso de la misma fuerza máxima permisible de frenado, la distancia de enfreno será reducida a la mitad para una absorción dada, si el atracadero (construcción de amarre) absorbe una fuerza equivalente a la mitad de la distancia de enfreno total.

El diagrama de trabajo apropiado es pues en ángulo recto y "el factor de trabajo" f en $1/2 m v^2 = f K_{m\acute{a}x} \gamma_{m\acute{a}x}$. con lo cual será incrementado de $1/2$ a 1 (Fig. 18b).

Este diagrama rectangular de trabajo se puede realizar por varios métodos.

Un ejemplo es el caso de amortiguadores de choque, los cuales tienden a ser desplazados por una presión hidráulica constante. Otra posibilidad es que en las construcciones, el movimiento horizontal de las defensas tienda a bajar o levantar un peso. En este caso la suspensión del peso debe estar colocada de tal modo que dé la máxima elasticidad tomando en cuenta las fuerzas de inercia del peso (bloque).

El cálculo completo en esta forma, viene a ser muy complicado.

Finalmente, una solución podría ser asociar lo anterior con un resorte ordinario sujeto a una tensión inicial. En esta forma el diagrama de trabajo toma la forma indicada en la Fig. 18c.

Se observará que las construcciones enumeradas anteriormente tienen las siguientes desventajas: el amarre de barcos grandes y pesados se hace más suavemente que el de los barcos de masa pequeña y viceversa, ya que a veces barcos pequeños (de masa pequeña), o barcos descargados pueden hacer a veces una parada más brusca de lo necesario o deseable. Sin embargo, estas construcciones serán usadas de preferencia donde todos los barcos estén anclados y sean además de las mismas dimensiones.

La construcción de los Duques de Alba constituidas por una serie de secciones de acero unidas todas al tope o cabeza por piezas conectadas por medio de articulaciones, tienen la misma desventaja que un piloto solo, especialmente si las partes superiores contienen más material del necesario (lo cual significa un desperdicio de material). Se ha comprobado por la experiencia que la rigidez de tal piloto o Duque de Alba, es mayor que la que tendría, si la sección transversal se fuera adelgazando hacia la parte superior. Sin embargo, la función de energía absorbida es insuficientemente tomada en cuenta, aunque en parte se compensa por el uso de un grupo de pilotes cuyas secciones aumentan hacia el tope (parte superior). Los pilotes van unidos a la parte superior de tal manera que entran en acción sucesivamente y la fuerza se transmite de ---

frente al tope, y en el momento que la fuerza de frenaje alcanza el valor necesario permisible, todos los pilotes están sujetos a la tensión necesaria admisible. El diagrama de trabajo para este caso se indica en la Fig. 18d.

El factor trabajo es por lo mismo considerado todavía menor que $1/2$ y la desventaja es que se aplica a ciertos casos - en que la fuerza o la distancia de enfreno es proporcionalmente grande para una energía de absorción dada.

I.-EJEMPLOS DE CALCULO PARA LLEVAR A CABO CIERTAS CONSTRUCCIONES.

Los cálculos fueron hechos por Mr. P. Blockland, Ingeniero de la Rijkwaterstaat.

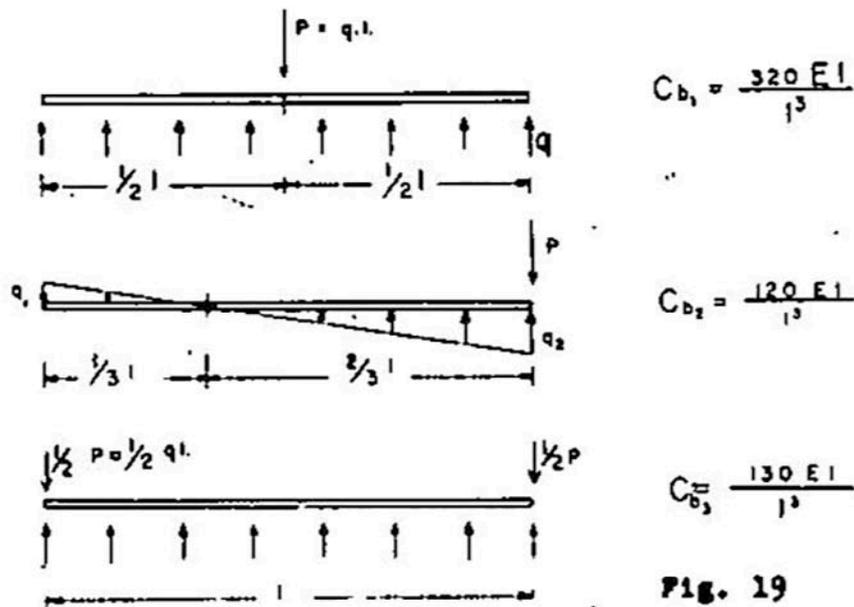
Siguiendo un orden para conocer el valor de la elasticidad del barco y el desplazamiento del centro de gravedad del mismo, se analizaron los casos dados en la Fig. 17, y se calcularon considerando al barco como una barra sujeta a fuerzas de masa igualmente distribuidas.

Por eso la constante de elasticidad C_1 se determinó por $k = C_b$.

El resultado de C_b se da en la Fig. 19, en donde $l =$ longitud y $EI =$ factor elástico del barco.

Para un barco en el cual:

$l = 100 \text{ m}$	$C_{b1} = 9,600 \text{ t/m.}$
$I = 1.5 \text{ m}^4$	$C_{b2} = 3,600 \text{ t/m.}$
$E = 2 \times 10^7 \text{ t/m}^2$	$C_{b3} = 3,900 \text{ t/m.}$



Si además suponemos que sobre una carga de 10 tons. por m.l. y con una deflexión de 2 1/2 mm., no sufre ninguna alteración permanente en la forma del barco cuando C_p vale 4000 toneladas por m. l. del lado del barco, la elasticidad del barco C_B , con referencia a los casos de la Fig. 17, será;

Para el caso 17-a: $C_B = C_p = 90 \times 4000 = 360,000$ (Para 90 m.l. de superficie de contacto).

Para el caso 17-b: $C_B = \frac{C_p C_b}{C_p + C_b} = 2800$ y 4400 t/m. (Con una superficie de contacto (C_p) de 1 y 2 m. respectivamente).

Para el caso 17-c: $C_B = \text{idem}$ 2200 y 2500 t/m

Para el caso 17-d: $C_B = \text{idem}$ 2000 y 6000 t/m

La primera aproximación nos da una idea del valor de C_B , el cual depende de los distintos métodos de anarre.

En el cálculo a propósito del barco en cuestión (para el caso 17-a) el C_B se tomará siempre como 4000 t/m. por metro lineal del barco y en los casos restantes como 3000 t/m.

Debe tenerse en cuenta que en los casos anteriores, se considera al muelle desprovisto de defensas, amortiguadores, -----

etc., ni habrá capas de corcho (de efecto favorable), ni cuerdas de defensa, etc., ya que todos estos aditamentos se usarán en muelles donde atraquen barcos que deben proteger la pintura.

Ejemplo I.

Estudio sobre muelles que han sido construidos por la Marina Real Holandesa en el patio de muelles sobre el Dn. Helder.

Los muelles tienen un ancho de 15 m. y una longitud que varía entre 100 y 170 m. Su forma y dimensión se dan en la Fig. 20).

La subestructura consiste en pilotes de 20 m. de longitud, de concreto con secciones en forma de T, descansan sobre zapatas reforzadas.

Los muelles están divididos cada 22.5 m. y unidos por juntas en cruz, los cuales ensamblan tramo a tramo. A lo largo de las secciones del muelle, hay 3 pilotes separados uno del otro 7.5 m., y están unidos al tope por medio de trabes de concreto. Los 3 pilotes junto con la trabe forman un marco empotrado en el suelo.

La constante de elasticidad de los pilotes se determinó en el laboratorio de Mecánica de Suelos de Delft, y durante la construcción esta llegó a 8.5 m. con una deflexión de 1 cm. El barco que se tomó como tipo fué de 100 m. de longitud aproximadamente y con un desplazamiento de 4000 toneladas con una velocidad de atraque de 0.40 m/seg. Así la energía cinética del barco al empezar el impacto ($\frac{1}{2} m v^2$), aumenta hasta 18 toneladas por metro.

Los datos anteriores son necesarios para el cálculo; te--

niendo en cuenta las condiciones de la Fig.17-a:

$$m_1 = \text{masa de 112.50 m.l. de muelle} = \frac{5000}{g} = 500 \text{ ton/m/seg.}^2$$

$C_1 =$ constante de elasticidad de 112.50 m.l. de muelle o de 45 pilotes $= 45 \times 850 = 38,250 \text{ ton/m.}$

$$m_2 = \text{masa del barco} = \frac{4000}{g} = 400 \text{ ton/m/seg.}^2$$

$C_2 = C_B$ constante de elasticidad del barco, cuando 90 m.l. de superficie del muelle están en contacto con el barco $= 90 \times 4000 = 360000 \text{ t.}$

$v =$ velocidad de atraque del barco $= 0.30 \text{ m/seg.}$

Las ecuaciones diferenciales (I) serán ahora:

$$\begin{aligned} 400 \frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + 400 \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} + 360,000 y_2 &= 0 \\ 900 \frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + 400 \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} + 38,250 y_1 &= 0 \end{aligned}$$

Para lo cual se encontró que:

$y_2 \text{ máx.} = 0.31 \text{ cm.} =$ desplazamiento del centro de gravedad del barco con relación al centro de gravedad del muelle.

$y_1 \text{ máx.} = 2.9 \text{ cm.} =$ desplazamiento del C. de G. del muelle.

Las fuerzas que ocurren son las siguientes:

$$k_1 = C_1 y_1 \text{ máx.} = 38,250 \times 2.9 = \text{aprox. } 1,110 \text{ tons. (en la cimentación)}$$

$$k_2 = C_2 y_2 \text{ máx.} = 360,000 \times 31 = \text{aprox. } 1,110 \text{ tons. en el frente del del muelle.}$$

Esto corresponde alrededor de 10 toneladas por metro lineal de muelle.

Los valores k_1 y k_2 difieren muy poco, lo cual indica una vibración simple.

De la energía cinética total del barco, el muelle absorbe:

$$\frac{1}{2} m v_2^2 = 18 \text{ ton.}$$

$$\frac{1}{2} C_1 y_1^2 = \text{aprox. } 16 \text{ ton-m} = 89 \%$$

y el barco absorbe:

$$\frac{1}{2} C_2 y_2^2 = \text{aprox. } 2 \text{ ton} = 11 \%$$

$$\therefore 89 + 11 = 100 \%$$

Que será para el único caso en que $C_B = C_P$ y por tanto dan 100% de absorción de energía cinética entre los dos.

Si el C_1 del muelle = ∞ luego $k_1 = k_2 = v. \sqrt{m_2 C_1}$ lo cual da un valor de $k = 3,600$ tons. que es tres veces mayor que el valor calculado.

Si el C_2 del barco = ∞ , entonces $k_1 = k_2 = \sqrt{m_2 C_1}$ para lo cual $k = 1170$ ton. o sea sólo un poco mayor que el valor calculado.

Los datos para la situación indicada en la Fig. 17b son los siguientes:

m_1 = masa de 45 m.l. de muelle = $\frac{2000}{8} = 200$ ton/m/seg.².

C_1 = constante de elasticidad de 45 m.l. de muelle o de 18 pilotes = $18 \times 850 = 15,300$ ton/m.

m_2 = masa del barco = 400 ton/m/seg.²

$C_2 = \frac{C_P C_B}{C_1 + C_B} = 3,000$ ton/m.

Las ecuaciones diferenciales principales (1) serán ahora:

$$\begin{aligned} 400 \frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + 400 \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} + 3000 y_2 &= 0 \\ 600 \frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + 400 \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} + 15,300 y_1 &= 0 \end{aligned}$$

De donde se obtiene:

$y_2 \text{ máx} = 8.7$ cms. y $y_1 \text{ máx} = 2$ cms.

Las fuerzas serán:

$k_1 = C_1 y_1$ máx. = 300 toneladas (en la cimentación.)

$k_2 = C_2 y_2$ máx. = 260 toneladas (en el frente.)

De la energía total del barco = 18 tons.- m.

El muelle absorbe: 2.95 tons.-m = 16.7%

y el barco absorbe: 11.25 ton.-m = 62.3%

(Obsérvese que en este caso y los siguientes la energía cinética no es absorbida en su totalidad por el barco y el muelle, ya que entre los dos sólo absorben un 79%).

Si el muelle tiene una $C_1 = \infty$ luego:

k es otra vez: $v \sqrt{m_2 C_2} = 330$ tons.

Si C_2 es nuevamente considerada igual a ∞ entonces

$k = v \sqrt{m_2 C_1} = 744$ ton.

Para la posición de la Fig. 5C, los valores serán:

$m_1 = 200$ ton/m/seg.²: $m_2 = 100$ ton/m/seg.²

$C_1 = 15,300$ ton/m.

$m_2 = 400$ ton/m/seg.².

$C_2 = 3,000$ ton/m.

Las ecuaciones diferenciales principales (II) serán ahora:

$$100 \frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + 100 \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} + 3,000 y_2 = 0$$

$$300 \frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + 100 \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} + 25,000 y_1 = 0$$

Para lo cual el resultado fué: y_1 máx. = 1.05 cms. y $k_2 = 160$ tons. en la cimentación.

y_2 máx. = 4.15 cms. y $k_1 = 125$ tons. en el frente.

De la energía del barco de 18 ton. el muelle absorbe:

1.31 ton. $m=7.3\%$ y el barco absorbe 2.6 ton. $m=19.5\%$; aproximadamente 22% entre los dos.

Mientras que la energía usada para el balanceo del barco es: - 14.09 ton. $m=78.1\%$.

Si $C_1 = \infty$ entonces $k = 1/2 \sqrt{m_2 C_2} = 165$ ton.

Si $C_2 = \infty$ entonces $k = 1/2 \sqrt{m_2 C_1} = 372$ ton.

De los cálculos vistos anteriormente se observa que el % de energía cinética total del barco ($1/2 m v^2$), es absorbida por el atracadero y el barco en forma de energía potencial la que depende totalmente de las constantes de elasticidad del barco y del atracadero.

Es por lo tanto incorrecto, como base de cálculo, suponer que únicamente un 1/3 o 1/5 de la energía cinética total del barco será efectiva y que únicamente esta porción efectiva se convertirá en energía potencial del barco.

EJEMPLO II.

El siguiente ejemplo da el resultado del cálculo de los Duques de Alba, construídos en el New Waterway, cerca de Rotterdam.

La forma y dimensiones del Duque de Alba se pueden ver en la Fig. 21.

Un molde de acero (tablaestacas Belval sección IV m.) se fija al tope con un macizo de concreto reforzado, el cual pesa 50 ton. incluyendo el refuerzo. Una defensa basculante va suspendida a este macizo.

Para un empuje de 80 ton. el bloque tendrá un desplazamiento horizontal máximo (δ_h) de 0.25 m. y una elevación de 0.18 m. (δ_v) (trabajo hecho $= \tau = W \cdot \delta_v = 50 \times 0.18 = 9$ ton/m.)

La defensa basculante sirve de intermediaria en la construcción.

La constante de elasticidad aumenta sobre el promedio a:

Los datos para el cálculo son: $\frac{1}{2} C_D (0.25)^2 = 9 C_D = 288 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$

m_1 = masa del Duque del Alba = 0 (la masa del Duque se considera = 0, con relación a la gran masa del barco.)

C_1 = constante de elasticidad del Duque de Alba = aprox. 10,000 t/m.

m_2 = masa del barco = 1,700 t/m.

C_B = constante de elasticidad del barco = 2000 t/m.

C_D = constante de elasticidad de las defensas = 288 t/m.

V = velocidad de atraque del barco = 0.20 m/seg.

En el caso del punto de impacto:

$$\frac{1}{C_2} = \frac{1}{C_B} + \frac{1}{C_D} = \frac{1}{2000} + \frac{1}{288}; \text{ de donde:}$$

$$C_2 = 255 \text{ ton/m} \quad C_1 = 10,000 \text{ ton/m.}$$

Cuando la constante de elasticidad se vuelve decisiva, entonces $C_2 = C_D$

$$\text{La fuerza será entonces: } K = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{m_2 C_1 C_2}{C_1 + C_2}} = 0.1 \sqrt{\frac{1700 \times 10,000 \times 255}{10,000 + 255}} = 66 \text{ ton.}$$

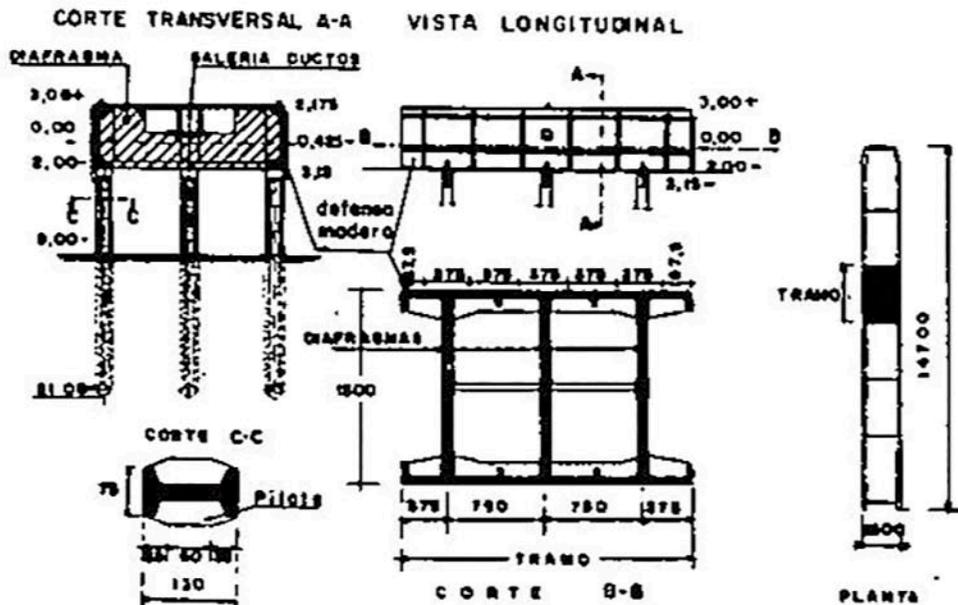


FIG. 20

EJEMPLO III.

Duques de Alba de construcción elástica, hechos en una Bahía de Rotterdam, consistentes de 3 secciones Peine (Fig. 22). Cada pared consiste de 6 placas Peine (con una fatiga de ruptura de 5,000 a 6,000 Kg/cm² y un límite elástico de 3,600 Kg/cm²).

Las paredes están unidas en 3 puntos cerca del tope por medio de tres soportes.

Para el cálculo se supone que un barco tanque de 36,000 ton. de desplazamiento, golpea al Duque de Alba con una velocidad de 0.24 m/seg.

Los datos para el Duque de Alba son:

$$E = 2.1 \times 10^7 \text{ t/m}^2$$

$$I = 0.0235 \text{ m}^4$$

l = 20 m. (longitud libre).

La constante de elasticidad será:

$$C_1 = \frac{3EI}{l^3} = 185 \text{ ton/m.}$$

Con respecto al barco las constantes de elasticidad se consideran:

a). -C_p = 4000 t/m por metro lineal de costado por 2 1/2 m.l. de superficie de contacto.

b). -C₂ = 3,000 t/m. (incluyendo la flexibilidad en el eje longitudinal).

c). -C₂ = ∞.

La fuerza máxima ejercida sobre el Duque de Alba será:

Para los casos (a) y (b): $K = \sqrt{\frac{m_1 C_1 C_2}{C_1 + C_2}} = 196 \text{ ton. y } 190 \text{ ton. respectivamente.}$

Para el caso (c): $K = \sqrt{m_2 C_1} = 197 \text{ ton.}$

Como ya se había dicho previamente en el caso de los Duques de Alba elásticos, la constante de elasticidad del barco tiene sólo una influencia insignificante sobre la magnitud de la fuerza.

La deformación aumenta a:

$$y_{m\acute{o}x.} = \frac{K}{C} = 1.06 \text{ m.}$$

La longitud libre del Duque de Alba fué calculada según el método del Dr. Blum (Bautechnik 1932, Part. V), el cual dice que para grandes desplazamientos las presiones pasivas del suelo son excesivas.

El punto de presión nula desciende cuando la fuerza aumenta.

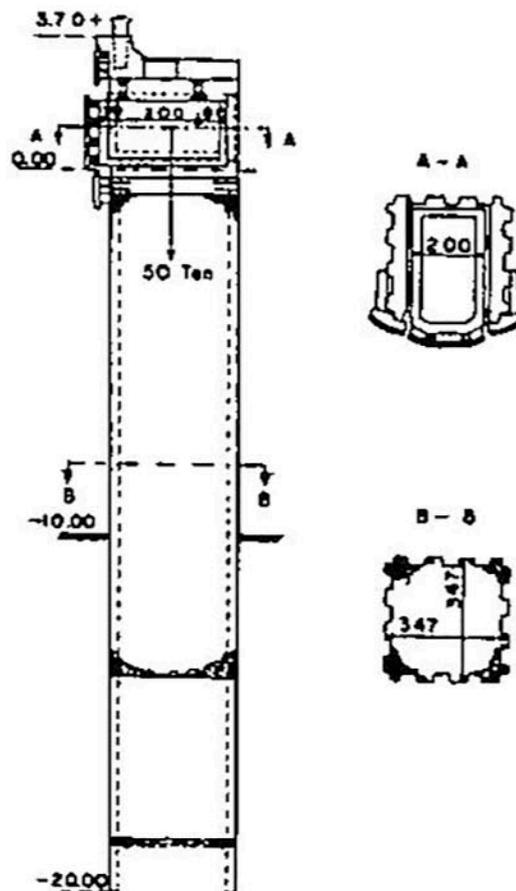


FIG. 21

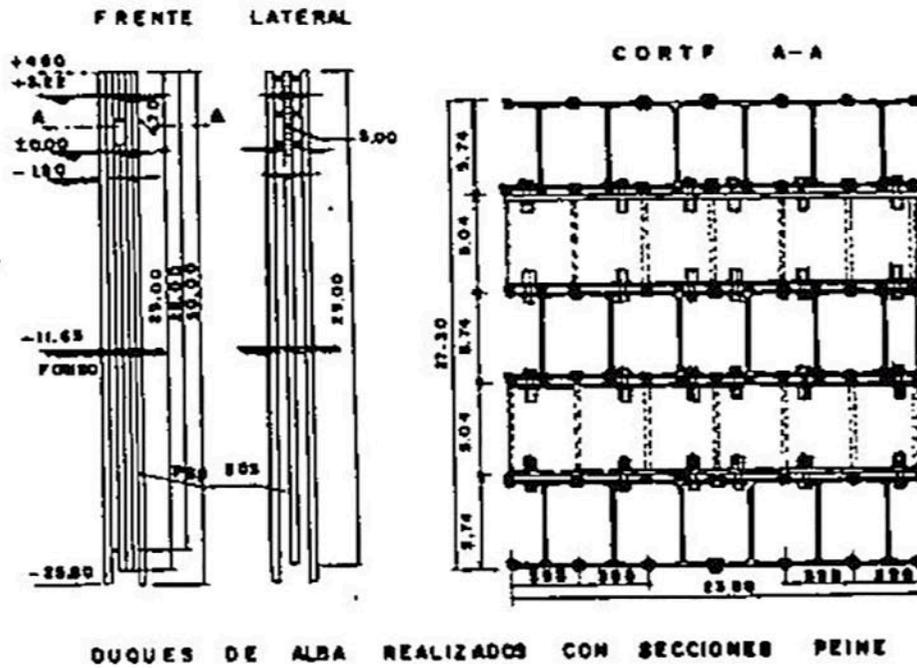


FIG. 22

El Dr. Blum da el momento como sigue:

$$M_x = K(h+x) - \int_w \left(\frac{bx^3}{6} - \frac{x^4}{24} \right)$$

h =distancia libre hasta el suelo;(para el caso de la Fig.:22:

$h=13.5$ m).

x =distancia del suelo hasta el punto de presión nula.

f_w = s.g.del suelo por el empuje pasivo del suelo ($\gamma \cdot \lambda_p = 1 \times 2.47$)

b =ancho del Duque de Alba (en este caso 2.5 m.)

Si $K=200$ ton., x será aproximadamente 6.50 m. y 1 20 m.

El diagrama de trabajo fué dibujado de acuerdo con el método del Dr. Blum y difiere muy poco de la gráfica triangular. Por lo tanto, es admisible suponer una constante elástica uniforme para este caso.

CAPITULO III.

APLICACION AL ATRACADERO DE PEMEX EN EL PUERTO DE ENSENADA, B. C.

Antecedentes: Petróleos Mexicanos tiene una gran cantidad de tubos que podemos usar en la construcción.

Ensenada, el puerto más septentrional de la República, se encuentra localizado en el sitio más abrigado de la Bahía de Todos Santos, a los $116^{\circ} 38'$ de longitud Oeste y a los $31^{\circ} 51'$ de latitud Norte, con una población de 45,000 habitantes, según el último censo.

El incremento de este puerto data de 1951 en que se empezaron a construir obras de gran importancia, pues antes se consideraba sólo como fondeadero.

Entre las obras que ahora se construyen, está el Rompeolas que tiene 1,200 metros de longitud construidos, con proyecto de 2,000 metros, que arranca del escarpado promontorio que define Punta Ensenada, proporcionando abrigo para los vientos del Noroeste y para la marejada consecuente que, con esta obra, se amortiguó hasta hacer cómoda la estadía y las maniobras de carga y descarga de los barcos.

Sobre el Rompeolas se construye el Muelle de Altura localizado a los 500 metros del arranque del citado Rompeolas y se tiene en proyecto el atracadero de Pemex que se situará a los 1,050 metros del arranque del Rompeolas. Se escogió este sitio por las siguientes razones:

1a.-Porque a mayor distancia de las playas se tienen mayores profundidades para el atraque de barcos petroleros, para los cuales existe la probabilidad de que su calado aumente en el futuro.

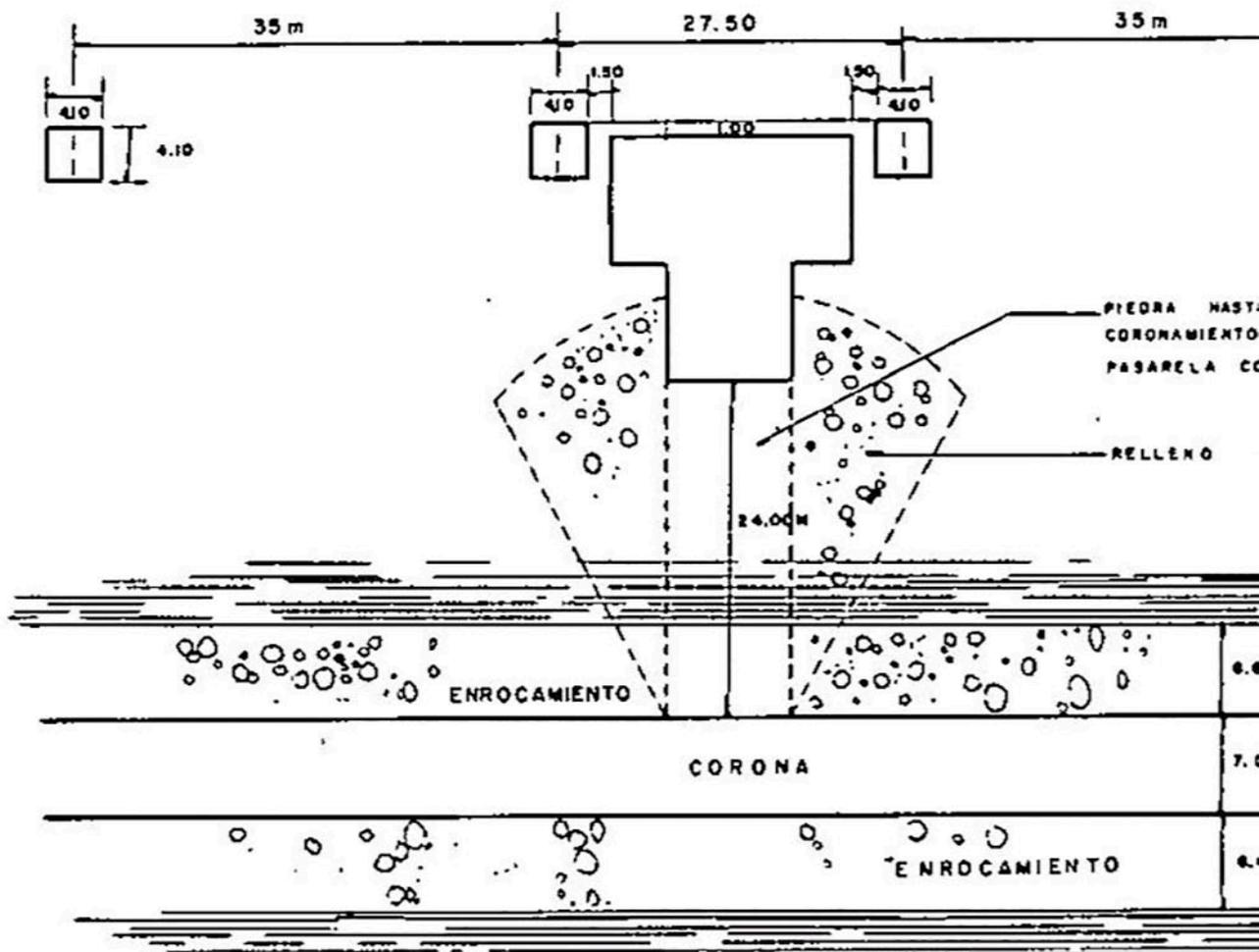
2a.-Porque siendo un atracadero de Petróleos se evitará - que el petróleo que caiga de los barcos al cargar o descargar, ensucie las aguas de la playa y las obras del puerto mismo.

3a.-Porque en caso de siniestro éste no alcanzará otras - entidades del puerto y evitará asimismo el peligro de muerte - a personas en caso de que se extendiera el citado siniestro.

Se hizo necesario hacer un atracadero para Petróleos, da- do el incremento del puerto en los últimos 8 años. El atrac- adero tiene la forma de T con 44.60 metros de longitud de los - cuales los primeros 24 metros (a partir del Rompeolas) son de enrocamiento aprovechando el relleno del talud de dicho Rompe- olas, y los siguientes 10.30 metros son el atracadero propia- mente dicho (muelle) construído con pilotes; el muelle tiene - un ancho de 10.30 metros y los últimos 10.30 metros restantes del atracadero son el ensanchamiento del muelle, es decir, don- de se hace la tilda de la T, que tiene 18.60 metros de ancho - como puede verse en la Fig. 24 (prácticamente el Muelle de Pe- mex es sólo una pasarela con duques de Alba).

Por conveniencia se escogió una distribución de 4 Duques de Alba que permita el atraque y amarre de barcos petroleros - que cargarán y descargarán en dicho muelle tal como se ve en - la Fig. 24.

La sección transversal que se eligió para el bloque de -- concreto de los Duques de Alba, fué de 4.10 por 4.10 metros, - ya que barcos de gran masa deben atracar en estos y además, es- tas dimensiones quedaron determinadas por tener un peso de 20 toneladas del bloque de concreto para resistir un empuje deter- minado (25 toneladas) ya que se tenía limitada la altura del -



ESQUEMA DE LA PASARELA Y DE LOS DQUES DE ALBA DEL ATRADERO PE
ENSENADA B.C.

FIG. 24

bloque por el nivel del agua y por otra parte teniendo en cuenta la colocación adecuada de los pilotes y el acomodo que éstos requerían para dicha sección.

El bloque se reforzó con acero de temperatura y previo cálculo de los pilotes de concreto que van en fundas de acero de 50 cms. de diámetro, formando un cajón que va relleno de piedra (Fig. 26); para la hincas se hicieron estudios previos de sondeo encontrando en el suelo 2 metros de arena y se calcularon 2 metros de longitud de hincas en el conglomerado que existe a partir de los 2 metros de arena. (Fig. 25).

Tenemos como datos estadísticos que:

BARCOS TANQUE MEXICANOS.	Tonelaje T	Largo E	Manga M	E/M
PTE. MIGUEL ALEMAN.	8355.54	148.53	18.98	7.83
ATZCAPOTZALCO.	7218.83	125.45	17.37	7.20
CACALILAO.	6913.00	142.40	17.08	8.32
CERRO AZUL.	5873.00	124.44	16.78	7.41
CIUDAD MADERO.	7218.31	125.45	17.37	7.21
EBANO.	6962.60	134.52	17.07	7.89
POTRERO DEL LLANO II.	7010.74	135.50	17.30	7.82
POZA RICA.	7884.26	147.31	18.03	8.17
REYNOSA.	7218.83	125.45	17.37	7.22
TOTECO.	6752.00	132.59	17.02	7.79

$$\bar{x} = 76.86$$

De donde vemos que el barco de mayor tonelaje es el de 8355.54 ton., pero sin embargo, consideramos para el cálculo un barco de 12,000 ton. de desplazamiento como máximo, -- previendo así el atraque imprevisto de algún barco tanque ex--

tranjero o la construcción futura en México de algún barco de mayor tonelaje.

La masa del barco será:

$$m_2 = \frac{12000}{g} ; \quad g = 9.81 \text{ m/seg}^2 \approx 10 \text{ m/seg}^2$$
$$m_2 = \frac{12000}{10} = 1200 \text{ ton/m/seg}^2.$$

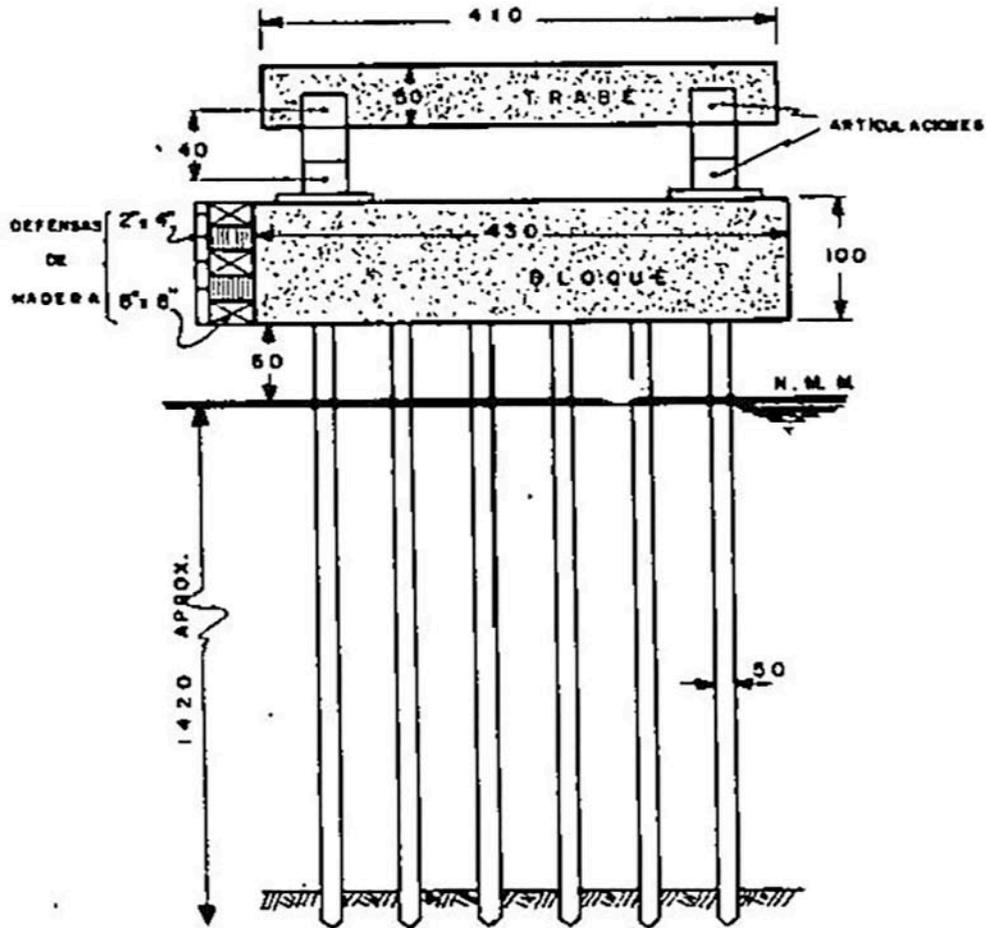


Fig. 25

CORTE VERTICAL DE UN DUQUE DE ALBA EN
ENSENADA, B.C. (ATRACADERO DE PEMEX)

Por sondeos hechos en el lugar de la construcción sabemos que se tendrá una longitud libre de pilotes aproximadamente de $l=16.50$ m.

Supondremos un empuje inicial de $k=25$ ton.

Los pilotes tendrán un diámetro de 50 cms. y se hará uso de los tubos que tiene Pemex, que servirán como funda a los pilotes de concreto, teniendo en cuenta que el colado se hará después de colocados los tubos.

La constante de elasticidad la tomamos de acuerdo con las experiencias según lo especificado en el Capítulo III inciso G de donde C_B 2350 ton/m (promedio), y la velocidad promedio la tomaremos de $v=0.30$ m/seg.

El volumen del bloque de concreto que va al tope pesa -- aproximadamente 20 ton. (dadas sus dimensiones).

Primer tanteo. Revisión al empuje supuesto (Fig. 27).

$$\tan \varphi = \frac{25}{20} = 1.25 \quad \therefore \quad \varphi = 51^\circ 22'$$

$$\text{sen } \varphi = 0.781 \quad ; \quad \text{cos } \varphi = 0.623$$

Desplazamiento horizontal del bloque:

$$\delta_h = 40 \times \text{sen } \varphi = 40 \times 0.781 = 0.312 \text{ m.}$$

Desplazamiento vertical del bloque:

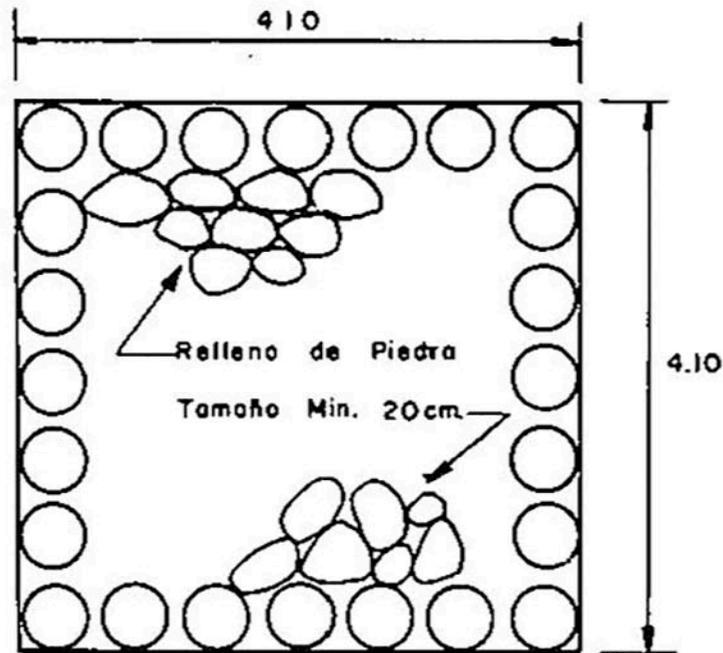
$$\delta_v = 40 \times (1 - \text{cos } \varphi) = 40 \times 0.377 = 0.151 \text{ m.}$$

El trabajo será: $\tau = W \delta_v$

$$\tau = 20 \text{ ton} \times 0.151 \text{ m} = 3.02 \text{ ton-m.}$$

La constante de elasticidad de las defensas será:

$$C_d = \frac{2\tau}{\delta_h^2} = \frac{6.04}{0.097} = 62.3 \text{ ton/m.}$$



PLANTA DEL DUQUE DE ALBA

Fig. 26

La rigidez de un pilote, dadas las condiciones de cimentación, se considera: $r = \frac{3EI}{l^3}$. Como tenemos 24 pilotes, luego la constante de elasticidad del Duque de Alba (C_1) será:

$$C_1 = \sum r = 24 \times \frac{3EI}{l^3} = \frac{72 \times 2'100,000 \times 307,000}{16.50^3} = 1032 \text{ Kg/m.} \therefore C_1 = 103.2 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$C_2 = \frac{C_D}{1 + C_D/C_B} = \frac{62.3}{1 + \frac{62.3}{2350}} = \frac{62.3}{1.0265} = 60.6 \text{ ton/m.}$$

El empuje será:

$$K = \frac{v}{2} \sqrt{\frac{m_2 C_1 C_2}{C_1 + C_2}} = \frac{0.30}{2} \sqrt{\frac{1200 \times 103.2 \times 60.6}{163.8}} = 30.3 \text{ ton.}$$

como el empuje resultó mayor que el supuesto, haremos un segundo tanteo.

Segundo tanteo: Si consideramos ahora un empuje de $k=34$ - Ton., y siguiendo la misma secuela:

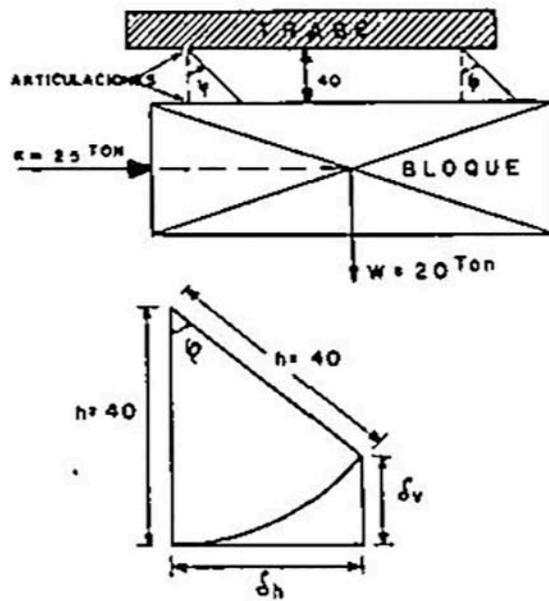


FIG. 27

$$\tan \varphi = \frac{34}{20} = 1.7 \therefore$$

$$\varphi = 59^{\circ} 30' \left\{ \begin{array}{l} \text{Sen } 59^{\circ} 30' = 0.8616 \\ \text{Cos } 59^{\circ} 30' = 0.5075 \end{array} \right.$$

$$\delta_h = 0.40 \times \text{sen } 59^{\circ} 30' = 0.40 \times 0.8616 = 0.345 \text{ m.}$$

$$\delta_v = 0.40 \times (1 - \text{cos } 59^{\circ} 30') = 0.40 \times 0.4925 = 0.197 \text{ m.}$$

De donde el trabajo será: $\tau = 20 \times 0.197 = 3.94 \text{ Ton.-m.}$

$$C_D = \frac{2\tau}{\delta_h^2} = \frac{7.88}{0.1185} = 66.6 \text{ ton/m.}$$

$$C_2 = \frac{C_D}{1 + C_D/C_B} = \frac{66.60}{1 + \frac{66.60}{2350}} = \frac{66.60}{1.0284} = 64.8 \text{ ton/m.}$$

$$K = \frac{v}{2} \sqrt{\frac{m_2 C_1 C_2}{C_1 + C_2}} = \frac{0.30}{2} \sqrt{\frac{1200 \times 103.2 \times 64.8}{168}} = 33 \text{ ton} \approx 34 \text{ ton.}$$

se acepta este último cálculo ya que el empuje supuesto resultó igual al obtenido.

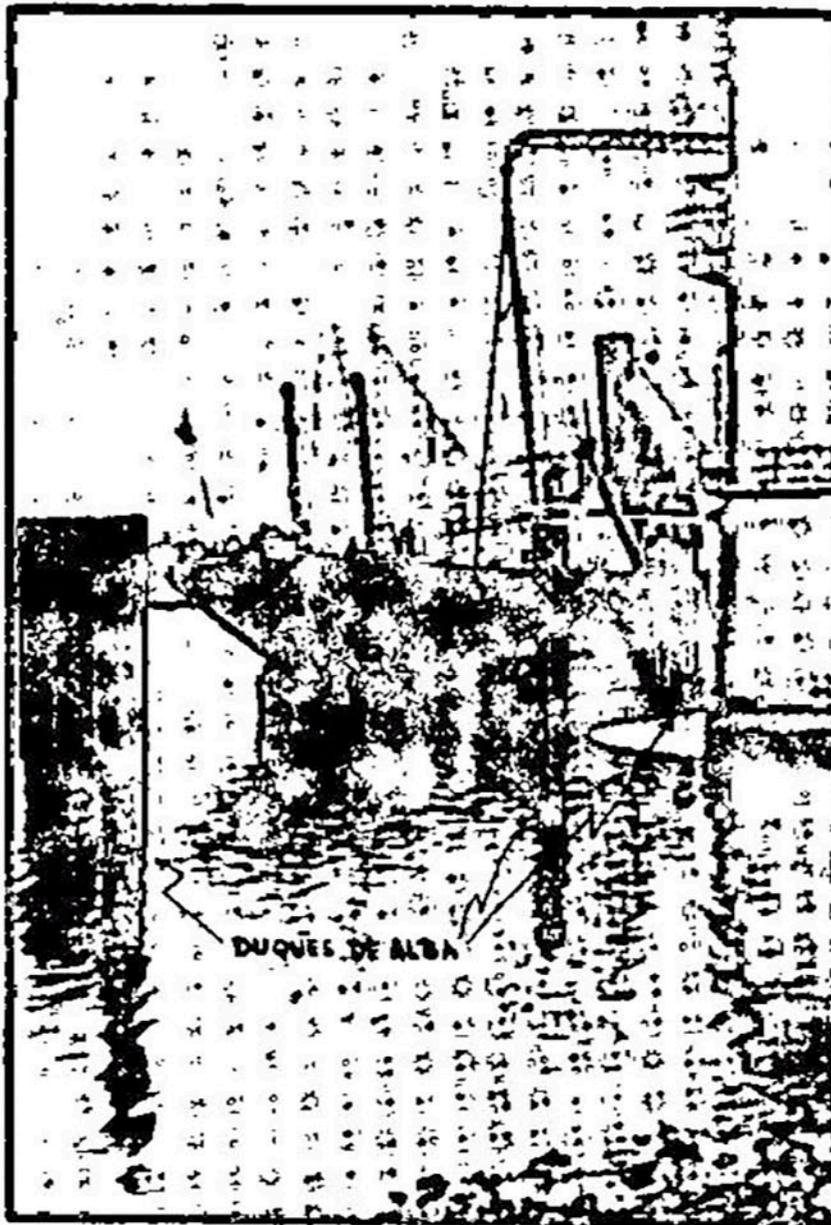


Fig. 27 Bis.
Duques de Alba pertenecientes a los silos de Pa. Mackprang situados en el canal de Retha en Hamburgo.

CAPITULO IV.

PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCION DE DUQUES DE ALBA.

Según el material de que esté hecha la cimentación de los Duques de Alba será el procedimiento de construcción a seguir.

Para los Duques de Alba de madera, se transportan los pilotes en chalán hasta el sitio en que se colocará el Duque de Alba y se clavan en el suelo hasta alcanzar la longitud de hincada calculada. El clavado se hace por medio de un martinete que va en el mismo chalán; dando a los pilotes la inclinación que sea necesaria para su estabilidad, una vez hincados se amarran por medio de cadenas metálicas a diferentes niveles, para obtener mayor resistencia y eficacia.

Los Duques de Alba de acero en los cuales se emplea como material de construcción tablaestaca metálica o rieles usados, etc., se usa el mismo procedimiento de construcción con una ligera variante, es decir, el hincado se hace por medio de martinetes de caída libre en forma de caballete hasta formar un cajón con los perfiles; una vez hecho el cajón se golpea la tablaestaca con martillo neumático en diferentes partes del cajón para hincarlo, procurando que los lados del cajón queden al mismo nivel; para lograr esto se golpea el lado de la tablaestaca (del cajón) que haya quedado más levantada y se hace este mismo golpeo al rededor del cajón hasta que todos sus lados tengan la misma altura, procurando darle la longitud de hincada necesaria. Los perfiles se unen por medio de ganchos especiales que tiene la tablaestaca y en algunos casos soldadura o tornillos. El agua se saca del cajón por medio de bombeo. Luego se hace el relleno de

tierra o grava vaciando estos materiales dentro del cajón.

En Duques de Alba de concreto se emplean pilotes precolados o hincados por martinete como en el caso de los pilotes -- de madera, o bien se usan fundas de acero y se cuela el concreto después de haber hincado los tubos de fierro (fundas). Para colar en el sitio luego de colados los pilotes, se construye -- la superestructura del Duque de Alba, es decir, el bloque de -- concreto que recibirá el impacto de los barcos, el cual está -- sentado sobre articulaciones móviles para permitir cierto móvimiento elástico y de esta forma restar rigidez a la construc--ción.

Todos los Duques de Alba deben llevar defensas que amortigüen el golpe tanto para el barco como para la construcción. -- Las defensas pueden ser de hule en forma de tubos fabricados -- especialmente para desempeñar esta función; de madera, en forma de tableros, o bien se pueden usar las defensas mecánicas com--puestas en su mayor parte por medio de resortes metálicos, es--tos no son muy recomendables de usar en los trópicos a causa de la oxidación.

Estas defensas son colgantes en los costados de los Duques de Alba o de los muelles, para no recibir directamente el impacto, sino que éstas sirvan como intermediarias del choque entre la construcción y el barco.

Las defensas más eficientes son las de madera que aunque no absorben prácticamente la energía en el caso de un ataque nor--mal, no ocasionan sin embargo, averías al barco. Por otra parte en el caso de un ataque brutal pueden por destrucción parcial -- absorber una energía notable y a la vez aumentar la superficie --

de contacto, disminuyendo así las averías del barco.

Las defensas de hule son más utilizables para muelles. Tienen el inconveniente de estarse reemplazando constantemente.

Se ha tratado en varios puertos de reemplazar las defensas de madera por otro material capaz de absorber mayor energía por unidad de volumen; con este fin se idearon los tubos de hule; este tipo de defensas tiene sin embargo el inconveniente de absorber la energía cinemática, principalmente bajo la forma elástica, lo que trae por consecuencia un rebote del barco.

De las defensas mecánicas no trataremos, ya que son inutilizables en nuestro clima.

Debemos hablar aunque sea de paso, de las defensas de gravedad para Duques de Alba, entre las cuales, resulta muy interesante la de campana que como se ve en la Fig. 28 es un dispositivo especial que está colocado en el tope del Duque que es giratoria y cuya estabilidad estudiaremos a continuación, aunque no en forma minuciosa:

Las fuerzas que obran en la campana, (Fig. 28) son W su peso, H la presión del barco, y R la reacción en el punto de apoyo (o cojinete) la cual incluye la fricción.

Estas tres fuerzas deben interceptarse en un punto O y sus valores relativos se determinan por medio del triángulo de fuerzas; Fig. 28 (b). La forma de los perfiles de los cojinetes inferior y superior deben determinarse por medio de ensayos de modo que:

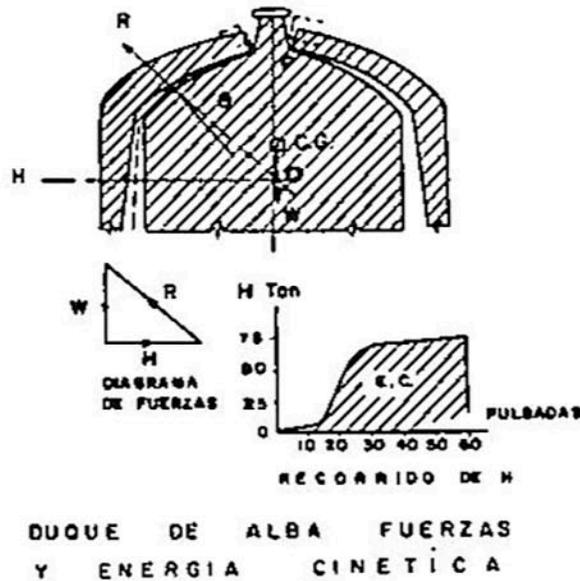


FIG. 28

1.-En cada punto de apoyo para todas las posiciones de H, el ángulo de fricción no ser demasiado grande.

2.-El diagrama de movimiento-presión, Fig. 28 (c) está -- conformado de modo que la resistencia a la presión es pequeña para un movimiento tal como de 6" a 12" correspondientes a un trabajo normal, pero entonces aumenta rápidamente de modo que la absorción del choque ascequible representada por el área - sombreada tiene un valor máximo.

3.-La superficie (cara) de la defensa es vertical o en - algunos casos tiene un ligero talud en la presión normal y al retroceder totalmente, se evita satisfactoriamente el choque, sin que la superficie de la defensa desarrolle una inclina--- ción excesiva interior.

4.-El punto P debe viajar libremente del (pintol) cen--- tral, el cual debe ser cónico para que la campana se centre -

sola si es que ocurre un deslizamiento en el punto de apoyo.

5.-La cabeza de la defensa debe quedar suficientemente debajo del punto más bajo del cojinete para evitar que el valor H se haga excesivo, y la campana arriba de este punto deberá estar libre del barco, bajo todas las condiciones de -- carga y marea. La condición crítica es comunmente la marea -- alta cuando se aproxima o sale del atracadero un barco des-- cargado, particularmente aquellos barcos de alto nivel de -- proyección o de popa grande.

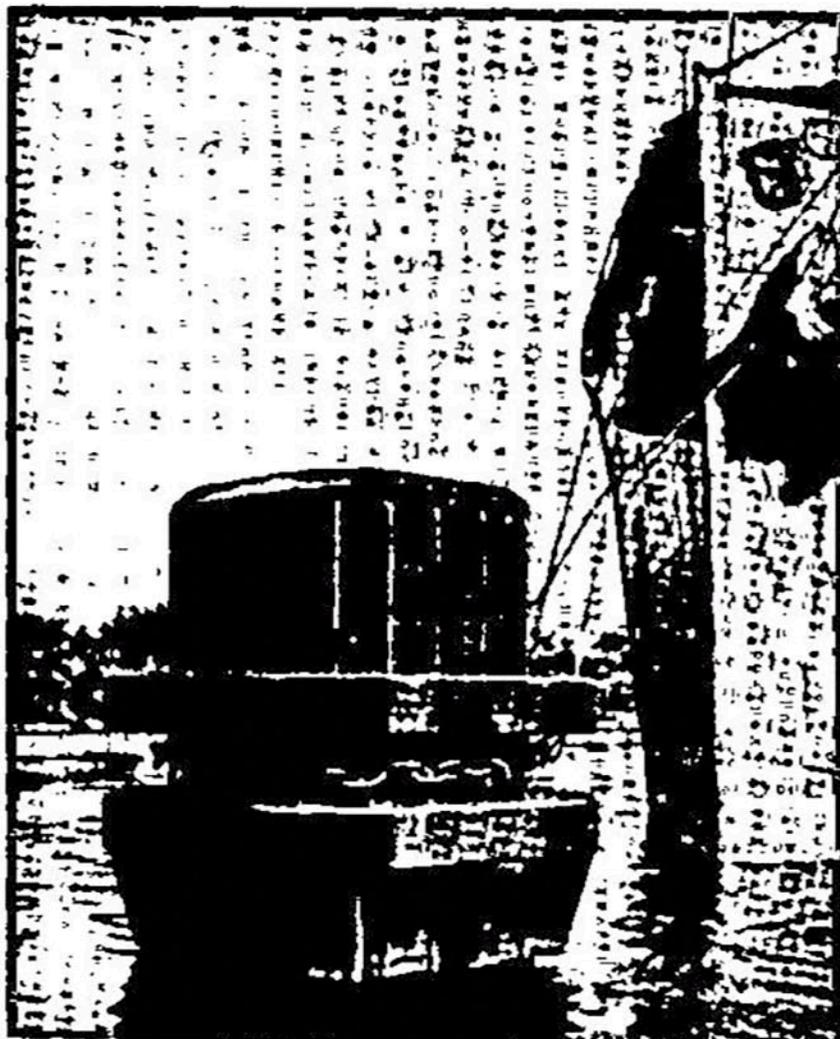


Fig. 28 Bis.
Duques de Al
ba de PSp30
en el puerto
de Stettin.

CAPITULO V.

COSTOS.

Análisis de costos de los 4 Duques de Alba para el Muelle de Petróleos en Ensenada, Baja California.

CANTIDADES DE MATERIAL.

Concreto:

Losas	=	4.10 x 4.10 x 0.15 x 8	=	20.2 m ³
Zapatas	=	6.60 x 6.10 x 1.20 x 4	=	193.0 m ³
Pilotes	=	0.785 x 16 x 4 x 14	=	705.0 m ³
		0.785 x 13 x 4 x 10	=	408.0 m ³
Trabes	=	5 x 0.30 x 0.50 x 4	=	<u>3.0 m³</u>
				1329.2 m ³

Fierro:

Losas:	{	4.10 x 7 x 4 x 0.566 = 65.00 Kg.
	{	2.10 x 14 x 4 x 0.566 = 66.50 "
	{	2.40 x 13 x 4 x 0.566 = <u>76.00</u> "
		207.50 Kg.
Varillas:	{	5/8" { 4 x 4.10 x 4 x 1.566 = 103.00 Kg.
	{	de { 9 x 4.10 x 4 x 1.566 = 231.00 "
	{	3/4" { 8 x 4.10 x 4 x 2.262 = 300.00 "
	{	φ { 4 x 2.10 x 4 x 2.262 = 77.00 "
Estribos:	{	1/4" { 20 x 1.80 x 4 x 0.248 = 36.00 "
	{	φ { 10 x 1.80 x 4 x 0.248 = 16.00 "
	{	3/8" { 28 x 1.90 x 4 x 0.566 = <u>120.00</u> "
	{	φ { 885.00 Kg.

Total fierro: 1092.50 kg. = 1.0925 Ton.

Total concreto: = 1329.2 m³

ANALISIS DE COSTOS.

CONCRETO.

1.-Materiales.

350 kg. cemento -----	\$ 336.00/ton.-----	\$ 117.60/m ³
0.5 m ³ arena -----	" 10.00/m ³ -----	" 10.00/m ³
1 m ³ grava -----	" 25.00/m ³ -----	" 25.00/m ³
0.3 m ³ agua -----	" 6.00/m ³ -----	" 2.00/m ³
		\$ 154.60/m ³
5% de desperdicio -----	" 7.73 "	" 7.73 "
		\$ 162.33/m ³

2.-Equipo.

Renta revoladora 2 sacos -----	\$150.00/turno de 1 día.
Renta de 1 vibrador -----	" 50.00/turno de 1 día.
	\$200.00/turno.
Rendimiento: 20 m ³ /día: $\frac{\$200.00/\text{día}}{20/\text{m}^3/\text{día}}$ = -----	\$ 10.00/m ³

3.-Personal.

1 Operador -----	\$ 40.00/día.
1 Ayudante -----	" 20.00 "
1 Vibrador -----	" 25.00 "
2 Peones cemento ----	" 30.00 "
4 Peones arena -----	" 60.00 "
5 Peones grava -----	" 75.00 "
1 Peón agua -----	" 15.00 "
	\$280.00/día.
7/o. día -----	" 47.00 "
	\$327.00/día.

De donde \$327.00/día = ----- \$ 16.35/m³

4.-Herramienta.

Cuesta la herramienta \$ 1,600.00
se deprecia 400 m³ ..

$$\frac{1600}{4} = \text{-----} \$ 4.00/\text{m}^3$$

5.-Mano de Obra de colado de Pilotes y demás:

8 Peones ----- \$ 160.00/día.

1 Ayudante ----- " 20.00 "

\$ 180.00/día.

$\frac{\$180/\text{día}}{20 \text{ m}^3/\text{día}}$ ----- \$ 9.00/m³

6.-Transporte al sitio de colado.

Chalán ----- \$ 40.00/día

1 remolcador ----- " 40.00/día

\$ 80.00/día.

$\frac{\$80.00/\text{día}}{20 \text{ m}^3/\text{día}}$ ----- " 4.00/m³

Total: ---- \$ 215.68/m³

A esto se debe agregar un 30% de los precios, tomando en cuenta que en Ensenada los precios aumentan más o menos en esta proporción ya el análisis de precios sería para un puerto como Veracruz o Tampico.

más 30% $\frac{\$ 215.60 \cdot \text{m}^3}{63.70/\text{m}^3}$
\$ 279.38/m³ ----- \$ 279.38/m³

más 15% por administración ----- " 41.91
\$ 321.29/m³

más 15% de utilidad ----- " 48.19
\$ 369.48/m³

si son 1329.2 m³ a \$370.00/m³ el concreto costará -----

\$ 491,804.00

Costo de fierro de refuerzo:

Precio por tonelada ----- \$ 2150/ton.

Flete a Ensenada ----- " 500.00/ton.

\$ 2650.00/ton.

10% por cortes ----- " 265.00

\$ 2915.00/ton.

Mano de obra por armado incluida-utilidad---	₡ 400./ton.
Alambre del No. 16.26 K/ton. a ₡4.00/kg.-----	" 104./ton.
Depreciación herramienta-----	" 20./ton.
Más lo que se había obtenido antes-----	" <u>2,915./ton.</u>
Total:	₡3,439./ton.

Como se emplearán 1.0925 toneladas de fierro del refuerzo en la obra, tendremos que 1.0925 toneladas a ₡3,439.00/ton. dan un total de ₡3,757.11.

Renta del chalán con grúa para el clavado de los pilotes (fundas de acero).

Renta del chalán con martinete hidráulico	₡ 340.00/día.
Renta remolcador -----	" 40.00/día.
	₡ 380.00

Por 10 días que dura el hincado ₡3,800.00

Concreto: ₡491,804.00

Fierro refuerzo: " 3,757.11

Chalán para hincado: " 3,800.00

COSTO TOTAL DE LA OBRA: ₡499,361.11

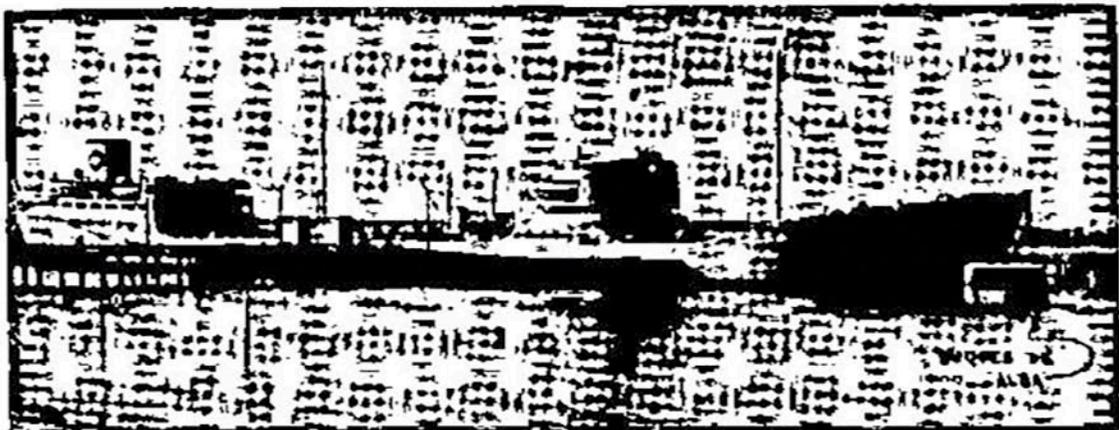


Fig. 29. Muelle de concreto armado y Duques de Alba para el atraque de barcos petroleros, en Alemania.

CAPITULO VI.

CONCLUSIONES.-

Como hemos visto a través de este estudio sobre Duques de Alba, éstos tienen una gran cantidad de usos, entre los cuales citaremos nuevamente a grandes rasgos, que se emplean como --- guías a las entradas de las esclusas o en los desembarcaderos de ríos de gran calado, donde los barcos pueden entrar tierra adentro y en los cuales los Duques de Alba hacen de guía a lo largo del canal dragado del río mismo; para proteger atracaderos livianos, diques flotantes y puentes giratorios; para soportar siniestros en los muelles, donde desde luego los barcos pueden atracar momentáneamente (mientras cesa el siniestro) en los Duques de Alba; se emplean como obras de atraque o de amarrre en ciertos tipos de muelles como en los petroleros por --- ejemplo, donde el atracadero propiamente dicho son los Duques de Alba, siendo el muelle sólo una pasarela; se emplean también los Duques de Alba como punto donde pueden colocarse señas marítimas en sitios estratégicos cercanos a los puertos.

Como se observa, los Duques de Alba tienen gran cantidad de usos, y sus precios varían según el material de que estén hechos y de la utilidad que tengan; ya que lógicamente no tendrá el mismo costo un Duque de Alba que servirá para colocar señales marítimas, que otro que sirva para atracar barcos aun cuando los dos estén hechos del mismo material, ya que entran diversos factores en uno y en otro en que su precio varía según la resistencia que tengan que vencer y de que su construcción sea más o menos elaborada.

Sin embargo, comparativamente con un muelle siempre resulta mucho más económica la construcción de Duques de Alba, como en el caso del muelle de Petróleos de Ensenada, B. C., donde el muelle a pesar de ser sólo una pasarela, aumenta su costo casi al doble en comparación con los Duques de Alba que son el atraqueadero.

Es de vital importancia que en nuestro país se tomen en cuenta las utilidades que representan este tipo de construcciones para obtener máxima economía y eficacia en los puertos mexicanos; ya que como hemos visto a través de este estudio de Duques de Alba, estas construcciones se hacen indispensables en los puertos mejor trazados y más funcionales del mundo, como por ejemplo en los puertos Holandeses, Belgas, Alemanes y Franceses y en los canales marítimos de Holanda y Bélgica.

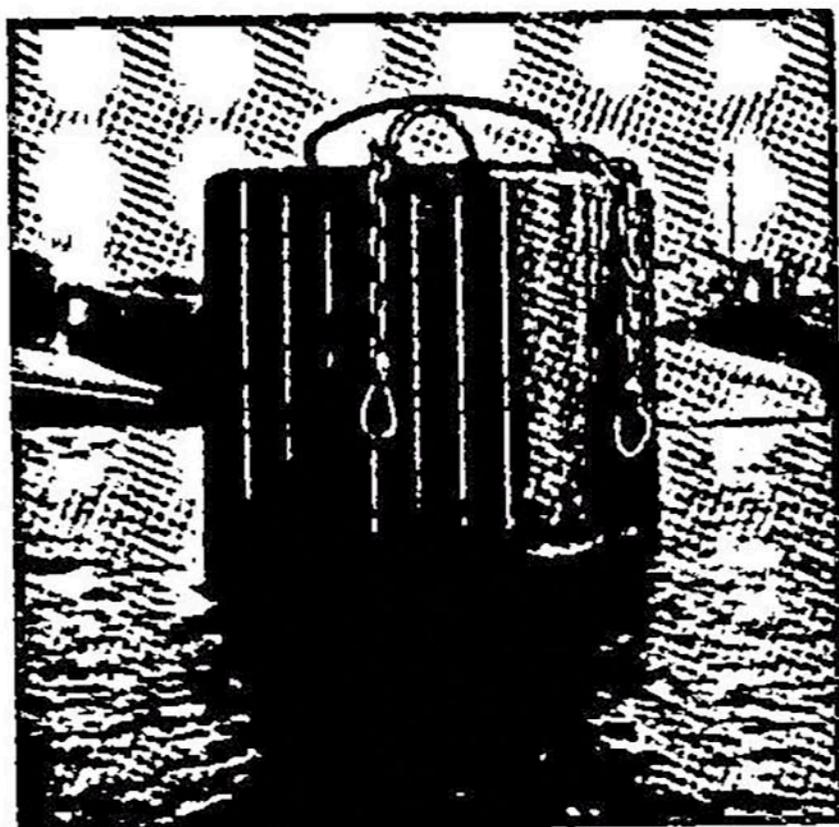


Fig. 30.
Duque de Alba -
pesado en el --
puerto interior
de Emden.

BIBLIOGRAFIA.

Peiner Kastenspundwand-Peiner Stahlpöhle Handbuch.

Por Entwurf y Ausführung.

Palplanches Metalliques Bombas - Unión Siderurgique Lorraine.

Enciplopedia de la Construcción.

Reporte de P. Müller - Reg. Baurat, Wasserbauamt -Kiel - Hol-
tenau.

Reporte del Dr. Ing. Förster.-Obserbaurat in Hamburg y el ---
Dipl. Ing. R. Lutz.-Hafenbaudirektor in Bremen.

Reporte por el Prof. A. L. L. Baker. B. Sc., (Tech.), M.I.C.E.,
City Guilds College, London.

Estudio sobre la estabilidad de los Duques de Alba por el Ir.
A. Eggink.-Engineer - in - chief A. to the Rijkswaterstaat, --
Utrecht.

Revista "OBRAS MARITIMAS". Editado por la Secretaría de Marina.

Estudio sobre la estabilidad de los Duques de Alba. Revisado y
corregido por el Ing. Melchor Rodríguez Caballero.