

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA



ESTABILIDAD DE ESCOLLERAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
PRESENTA

ALDO DAVID MORALES MORALES

México, D. F.

1977



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA



ESTABILIDAD DE ESCOLLERAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A

ARIEL DAVID FRIEDMANN FREUNDLICH

MEXICO, D. F.

1979



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-31

Al Paciente señor ARIEL DAVID FRIEDMANN FREUNDLICH,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. José Antonio Masa Alvarez, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"ESTABILIDAD DE ESCOLLERAS"

1. Introducción
2. Diseño de escolleras
3. Modelo hidráulico de las escolleras de Laguna Verde
4. Pruebas efectuadas y resultados
5. Conclusiones y recomendaciones de diseño

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, 8 de febrero de 1979

EL DIRECTOR

ING. JAVIER JIMENEZ ESPINO

JSE/DELH/ser

1. INTRODUCCION

En esta tesis se describen experimentos realizados en el canal de olas del Instituto de Ingeniería de la UNAM-en los que participe como becario-con el fin de estudiar los efectos del oleaje sobre distintas escolleras diseñadas para la toma de agua de la central nucleoelectrónica de Laguna Verde, Ver. Con base en dichos experimentos se hacen recomendaciones de diseño para escolleras de enrocamiento y de dolos.

Las escolleras y rompeolas son estructuras que se construyen para proteger zonas costeras de los efectos adversos del oleaje. Sirven para reducir la altura del oleaje dentro de una zona en la cual se lleven a cabo operaciones portuarias o para detener el arrastre de sedimentos dentro de una zona dada. El estudio que aquí será descrito trata sobre el diseño de escolleras para proteger una toma de agua de la entrada de partículas de arena y de fluctuaciones pronunciadas e instantáneas del nivel del agua en la casa de bombas. Por esta razón se estudió el funcionamiento de la escollera como una estructura para el control del arrastre de sedimentos y en forma secundaria como una obra para reducir la altura del oleaje. Cabe aclarar que no se va a usar la zona protegida para resguardo de embarcaciones.

Típicamente las escolleras tienen una sección en forma trapezoidal. Generalmente se construyen depositando material rocoso de diversas graduaciones y en varias capas mediante el uso de camiones de volteo y grúas.

1.) Definiciones

En la figura 1.1 se puede ver un corte transversal típico de una escollera. Se denomina talud desprotegido a la cara de la escollera que mira hacia el mar abierto y talud protegido a la cara que queda en el lado que no es atacado directamente por el oleaje.

Las capas exteriores de los taludes, llamadas corona, están constituidas por material rocoso o artificial de gran tamaño ya que son las que reciben el embate del oleaje. La cara superior se denomina corona. Al centro de la sección se le denomina núcleo y está compuesto de los elementos más pequeños. Entre el núcleo y las caras exteriores se encuentran una o varias capas secundarias construidas con elementos de tamaño intermedio, que funciona como filtro e impide que sea extraído el material del núcleo.

Longitudinalmente, se define como morro a la parte final de la escollera, generalmente los últimos 50m., y al tronco o cuerpo de la escollera como el tramo de la playa hasta donde comienza el morro.

Se llama diseño convencional de escolleras al que sigue las normas establecidas por el manual CERC, 1977 (ref. 1). Estas normas están basadas en casos cuya estabilidad ha sido ampliamente comprobada. Este diseño asegura un daño menor al 5% y no permite el paso del agua sobre la escollera (roci6n).

Se llama daño de la escollera al porcentaje de elementos de coraza que son desprendidos por el embate de un oleaje dado.

1.2 Antecedentes, justificación y descripción general del estudio

Para satisfacer las necesidades de enfriamiento de la Planta Nucleoelectrónica de Laguna Verde se utilizará agua de mar captada mediante una obra de toma. Con el fin de proteger la zona de la toma y bombeo se vió la necesidad de construir escolleras. El diseño preliminar convencional de las mismas dió como resultado escolleras de alto costo.

Las escolleras de Laguna Verde se usarán principalmente para el control del arrastre litoral y para disminuir la magnitud del oleaje dentro de la zona de toma de agua. Por ello la CFE encargó al Instituto de Ingeniería, el estudio de escolleras diseñadas no convencionalmente cuyos costos no fuesen tan altos como los del diseño convencional.

Para lograr reducciones en el costo de la escollera se puede modificar la sección transversal de las siguientes formas: Reduciendo la elevación de la corona (permitiendo la rotación), reduciendo el ancho de la corona, aumentando la inclinación de los taludes, y usando elementos de coraza de tamaño inferior al obtenido por el diseño convencional. Esto último puede originar daños mayores al 5% pero, si quedan en un rango aceptable para la operación de la toma, el diseño de la escollera se puede optimizar económica-

mente minimizando el valor presente de los costos de construcción y reparación.

Además de alterar la sección transversal se pueden hacer cambios a la planta de la escollera para reducir su longitud y profundidad, controlando satisfactoriamente el arrastre litoral. En diversos proyectos del Instituto de Ingeniería se estudiaron las alternativas más atractivas (ref. 2, 3).

En esta tesis se describirán los estudios de estabilidad hechos mediante modelos probados en el canal de olas del Instituto de Ingeniería en relación con el diseño de la sección transversal del trazo de la escollera. En ellos se experimentó con reducciones del nivel de la corona y disminución del tamaño de los elementos de coraza.

Adicionalmente la dificultad para explotar roca del tamaño necesario para los elementos de coraza sugirió la conveniencia de investigar la posibilidad de diseñar la coraza con elementos artificiales. Los principales elementos artificiales en uso son: tribars, tetrápodos, conáripodos y dolos (ver fig. 1.2). En el estudio se decidió emplear dolos debido a su mayor coeficiente de estabilidad (ver tabla 2.1) lo que permitiría reducir el peso de los elementos necesarios para resistir un oleaje dado respecto a los otros elementos artificiales.

Los resultados de los experimentos se utilizan para sugerir normas para el

diseño no convencional de escolleras utilizables en zonas que requieren menor protección que la de puertos o en las cuales se pueden aceptar daños mayores al 5%.

1.3 Contenido de los capítulos

El capítulo 2 trata sobre el diseño convencional de secciones con corizas de enrocamiento y de elementos artificiales. Se describen los parámetros determinantes del diseño y se detalla el dimensionamiento de cada capa, considerando las limitaciones impuestas al dimensionamiento por los procedimientos de construcción. Para las secciones con coriza de dolos se describe la determinación del tamaño óptimo de estos desde el punto de vista económico además del hidráulico.

El capítulo 3 trata sobre el diseño de los modelos probados en el canal de olas. Para estos diseños se tomaron en cuenta la capacidad de generación de oleaje del canal de olas, los materiales disponibles y las condiciones de oleaje que se querían reproducir.

El capítulo 4 trata de las pruebas efectuadas describiendo las características de las secciones empleadas, la forma en que se efectuaron las pruebas y sus resultados. Se discute el comportamiento de las secciones ensayadas desde el punto de vista del daño causado por el oleaje y la estabilización de la sección.

En el capítulo 5 se utilizan los resultados de las pruebas junto con las normas convencionales para hacer recomendaciones para el diseño de la sección transversal de escolleras.

2. DISEÑO DE SECCIONES TRANSVERSALES DE ESCOLLERAS

2.1 Aspectos Generales

2.1.1 Determinantes del diseño. - Como plano de referencia para el dimensionamiento de la escollera se escoge generalmente el nivel medio del mar (NMM en la fig.1.1) definido como el nivel medio del mar durante un año.

En base a este plano de referencia se determina la profundidad de la escollera como la altura desde el pie de esta hasta el NMM.

El tipo de oleaje que llega a la escollera puede ser de tres tipos. Sobre el tronco de la escollera se tiene el oleaje rompiente y el oleaje no rompiente. Sobre el morro de la escollera se tienen estos mismos oleajes pero además se tiene un efecto más severo del oleaje debido a que este llega en todas direcciones y de esta forma puede arrastrar más fácilmente a los elementos de coraza. El rompimiento del oleaje depende de la profundidad de la escollera y de la altura y periodo del oleaje en aguas cercanas a la escollera (cuando la altura de la ola es 0.73 de la profundidad esta rompe generalmente).

La altura y periodos del oleaje se determinan en base a estudios de generación de oleajes como los descritos en la ref.6 o en base a un espectro de oleaje medido en el sitio donde se van a construir las escolleras. Para el diseño de escolleras y otras obras portuarias se usa como altura del oleaje

de diseño la media del tercio superior de todas las alturas registradas a la que se la llama altura de oleaje significativa o $H_{1/3}$.

El método empleado en la construcción de las escolleras es otra determinante del diseño debido a las restricciones que impone al nivel y al ancho de la corona. Para la mayoría de las escolleras se emplea un método de construcción que consiste en colocar con camiones el material del núcleo y de las capas secundarias. Ello impone un ancho mínimo de la parte superior del núcleo de 3.05m y que esta quede sobre el nivel máximo de la marea alta (pleamar máxima) para que no se interrumpa la construcción.

2.1.2 Tipos de secciones. - Al diseñar las secciones transversales de las escolleras se toma en cuenta: a) El tipo de oleaje al que están sometidas, b) el material de construcción que se empleó en la coraza, y c) su posición sobre el eje longitudinal de la escollera.

Según el tipo de oleaje se tienen las secciones correspondientes a oleaje rompiente y no rompiente. Las secciones sometidas a oleaje rompiente son aquellas en las cuales la ola rompe al pie de la escollera o antes de llegar a esta causando daños mayores que una ola de la misma amplitud que no rompa por el efecto del talud de la escollera (llamada no rompiente). Las secciones y materiales recomendados para oleaje rompiente son distintas a las dadas para oleaje no rompiente. Como se verá más adelante, el peso de las rocas de coraza varía según la condición del oleaje (ver

fig. 2.1 y 2.2)

Según los materiales empleados en la construcción de las capas de coraza se tienen secciones con coraza de enrocamiento, corazas mixtas y corazas de elementos artificiales. Las de enrocamiento están construidas enteramente con roca de cantera. Las de elementos artificiales tienen la coraza construida enteramente con elementos artificiales de concreto. Las escolleras de coraza mixta tienen el talud desprotegido y la corona construidos con elementos artificiales y el talud protegido con rocas. Los elementos artificiales de concreto son de muy variadas formas como se ve en la figura 2.

Según su posición sobre el eje longitudinal se distinguen las secciones del tronco y del morro. En las primeras el embate del oleaje es menos dañino que en las segundas debido a que la forma redondeada del morro es menos resistente al oleaje que la del tronco.

2.2 Diseño convencional

2.2.1 Componentes de una sección típica (ver fig. 1.1). - Una sección típica del tronco de la escollera consta de varias capas de distinto material. Al material central, el más pequeño, se le llama núcleo, a las capas de material más pesado, ubicadas sobre el núcleo, se les llama capas de material secundario o capas secundarias, y a las capas exteriores - expuestas al embate directo del oleaje - se les llama capas de material de coraza. El

material del talud desprotegido debe ser más pesado que el del talud protegido por recibir el oleaje más intenso. Aunque el material de las capas de coraza del talud desprotegido también cubre la parte superior de la escollera recibe el nombre de material de corona.

La sección del morro consta de las mismas capas que la del tronco pero el material de coraza es el mismo en ambos taludes y también cubre la punta de la escollera. Además es de mayor peso que el tronco por su menor resistencia al embate del oleaje.

2.2.2 Determinación del peso del material de cada capa. - Debido a que las capas secundarias sirven de filtro entre el material de coraza y el núcleo, el peso de los elementos de las capas secundarias y del núcleo depende del peso de las rocas o elementos artificiales de las capas exteriores. Por ello se indica primero el cálculo de los tamaños de los elementos de las capas exteriores.

a) **Coraza y corona:** El peso de los elementos que deben colocarse en las capas de corona y del talud desprotegido se obtiene con la fórmula de Hudson (ref. 1), la cual establece

$$W = \frac{w_s H^3}{\left(\frac{w_s}{w_a} - 1\right)^3} \cot(\alpha) K_D$$

en donde:

W = peso del elemento de coraza, en toneladas.

H = Altura del oleaje de diseño en m.

w_g = peso específico del elemento de coraza en ton/m^3 .

w_a = peso específico del agua en ton/m^3 . (Para el caso de agua de mar se suele tomar como 1.025 ton/m^3).

K_D = coeficiente de estabilidad del elemento de coraza.

$\cot(\alpha)$ = a la inclinación del talud.

El oleaje de diseño se hace en base al criterio llamado de $H1/3$. Este criterio supone que el daño causado por un tren de oleaje dado equivale al que sería causado por un oleaje monocromático (de alturas iguales) actuando durante un tiempo igual a la del tren de oleaje dado y teniendo una altura igual a la media del tercio mayor del oleaje del tren de oleaje.

La elección del coeficiente de estabilidad debe hacerse considerando muchos factores. Depende de la geometría del elemento, la inclinación del talud, las condiciones del oleaje, el ángulo de incidencia de este, el número de capas usadas en la coraza, y del daño permitido a la coraza.

Algunos factores como el talud ya se consideran en otros términos de la fórmula, por lo que se debe cuidar mucho la selección de este parámetro.

La forma en que se colocan los elementos también influye en la estabilidad y para el caso de corazas de enrocamiento se recomienda el uso de dos capas como mínimo colocadas al azar. El valor de K_D también depende del

tramo de la escollera siendo menor para el morro que para el tronco.

En resumen K_D se deberá seleccionar tomando en cuenta:

- a) El tipo de elemento de coraza en cuanto a su forma.
- b) El número de capas de coraza y la forma de colocación de los elementos.
- c) Las características del oleaje frente a la obra (rompiente o no rompiente).
- d) La inclinación del talud.
- e) Tipo de sección (morro o tronco).

En la tabla 1 se dan los valores del coeficiente K_D para distintos tipos de elementos, oleajes, formas de colocación de los elementos e inclinación de los taludes. La tabla 2.1 solo contempla el caso en que no se permite rotación y se tolera hasta un 5% de daño.

Coraza del talud protegido: Para oleaje no rompiente se recomienda el uso de piedras con peso W hasta el nivel de aguas tranquilas mínimo (bajamar mínima) y de piedras con peso $W/2$ hasta el nivel $-H$ desde el nivel medio del mar pudiéndose usar roca de $W/10$ a $W/15$ más abajo como se vé en la fig 2.1. Para oleaje rompiente se recomienda usar la misma roca en el talud protegido que en el desprotegido (fig. 2.2).

b) Capas Secundarias: Para el diseño de las capas secundarias del talud desprotegido y corona se emplean normas dadas por el manual CERC (ref. 1). De acuerdo a ellas las capas secundarias deben consistir de a lo menos dos

capas de roca con peso igual a $W/10$ si el coeficiente de estabilidad del elemento de la capa de coraza es menor de 12 y de $W/5$ si este es mayor de 12. Además se recomienda el uso de una tercera capa, con elementos de peso $W/20$, ubicada debajo de las anteriores (W es el peso de los elementos del talud desprotegido como se definió anteriormente). El peso de las rocas de las capas secundarias del talud protegido se calcula en la misma forma pero usando para W el peso de los elementos de coraza del talud protegido.

c) Núcleo: El núcleo está formado por material de pedacera con los siguientes rangos para el peso del material:

oleaje rompiente: $W/5000$ a $W/200$

oleaje no rompiente: $W/4000$ a $W/200$

en donde W es el peso del material de coraza del talud desprotegido para corazas mixtas, artificiales y de enrocamiento.

Tolerancias: Cuando se colocan dos o más capas de roca en las capas exteriores se tolera que se utilicen rocas que sean hasta un 25% más pesadas o livianas que lo calculado con la fórmula de Hudson. La media de los pesos debe ser, en todo caso, W ya que esta tolerancia se permite porque es muy difícil obtener roca de peso uniforme. Para el caso de elementos artificiales no se presenta el problema de variación de peso dada la forma en que se construyen. Para las rocas de las capas secundarias también se tolera una variación del 25% en sus pesos. Para las piedras del núcleo se

acepta un rango muy amplio de peso, como se vió en el inciso c.

Por supuesto, por razones económicas o para mayor seguridad pueden emplearse elementos de coraza de peso mayor al W calculado con la fórmula de Hudson. En todo caso el peso de las rocas de las capas secundarias y las del núcleo deben seguir siendo una fracción del peso medio del elemento empleado en la coraza.

2.2.3 Dimensionamiento de una sección convencional.--

a) Taludes: Según las normas del manual CERC (ref. 1) los taludes mínimos se determinan con criterios de estabilidad estática. Esto se puede hacer por medio de círculos de falla u otros métodos para el cálculo de estabilidad de taludes (ver ref. 4). Como el peso de los elementos de coraza aumenta al disminuir el talud normalmente no resulta mucho más económico usar taludes muy pronunciados.

b) Ancho y elevación de la corona: El ancho de la corona queda determinado por una de dos normas, tomándose el ancho mayor para el diseño.

La primera, recomendada en manual CERC (ref. 1), establece que al ancho de la corona debe ser como mínimo equivalente a tres veces el diámetro medio de la roca de coraza. La otra norma es la impuesta por razones de construcción: debido a que el núcleo se construye depositando material de

camiones de volteo, el ancho mínimo al nivel del tope del núcleo se fija en 10 pies (3.05m). El ancho de la corona al nivel de la coraza se determina con la geometría de la sección.

La elevación de la corona se determina también en base a dos criterios. Si el diseño no permite roci6n (paso de agua sobre la corona) la altura de la corona queda determinada por la altura a la que sube la ola sobre la estructura, llamada en la literatura "run-up". (Ver fig. 2.3).

La elevaci6n m6nima de la corona puede quedar determinada por el procedimiento de construcci6n de la escollera ya que el nivel de la corona del n6cleo debe quedar sobre la pleamar m6xima para permitir el paso de los camiones de volteo. A partir de esta elevaci6n se determina la elevaci6n de la corona sum6ndole a la elevaci6n del n6cleo el grosor de las capas secundarias y de corona. Se toma como elevaci6n de la corona el mayor de los valores dados por la construcci6n y la norma que no permite roci6n si el dise1o no permite roci6n.

c) Espesores de las capas: Una vez determinados los pesos medios de los elementos para las capas de coraza y secundarias se determina el espesor de estas capas con la siguiente f6rmula:

$$r = nK \left(\frac{w}{w_s} \right)^{1/3}$$

en donde:

r = espesor de la capa en mts.

n = número de capas del material (2 para todas las secciones probadas).

K = coeficiente de forma (ver tabla 2.2).

w = peso de los elementos de la capa en cuestión.

w_s = peso específico de los elementos.

d) Número de elementos de las capas exteriores y secundarias: El número de elementos por unidad de área queda definido como:

$$N_r = nKA \frac{1-P}{100} \left(\frac{w}{w_s} \right)^{2/3}$$

φ

en donde:

N_r = número de elementos por unidad de área.

P = porosidad del elemento (ver tabla 2.2).

K , n , w y w_s = como se definieron anteriormente.

2.3 Criterio Económico para la determinación del peso del elemento artificial de corona

Para la seterminación del peso óptimo del elemento artificial de corona se deben considerar los siguientes costos:

- a) acarreo y colocación de los elementos
- b) cimbrado de cada elemento
- c) concreto

A medida que aumenta el tamaño de los elementos artificiales de coraza se requiere de mayor volumen de concreto y menor número de elementos por metro lineal de escollera.

Como el costo de colocación depende del número de elementos y del peso de estos se tiene en algunos casos de que este costo se reduce al aumentar el tamaño de estos. Lo mismo ocurre con las cimbras ya que se requiere de menor número de ellas. Tomando en cuenta los costos anteriores se obtiene el tamaño óptimo de los elementos. Este no puede ser menor que el dado por la fórmula de Hudson y se debe revisar la estabilidad del talud para este tamaño como se describe en la sección 2.2.3.

3. MODELO HIDRAULICO DE LAS ESCOLLERAS DE LAGUNA VERDE VER.

3.1 Equipo disponible

La instalación de que dispone el Instituto de Ingeniería es un canal de olas de 60 cm de ancho, 120 cm de profundidad y 70 m de longitud. Tiene en uno de sus extremos un generador de ondas monocromáticas (de altura y periodo constantes), que produce oleaje de periodos comprendidos entre .8 y 3.2 seg y alturas de oleaje de hasta 20 cm. Este generador es accionado por un motor eléctrico de 5 HP que tiene una polea cónica y una serie de engranes que reducen el número de revoluciones de la flecha del motor, de manera que los periodos estén en el rango arriba señalado; la altura del oleaje se controla mediante un excéntrico, que, conectado a un batidor, genera para un periodo dado diferentes alturas de oleaje.

3.2 Parámetros de diseño y secciones ensayadas

Se determinó en el tercer informe de Laguna Verde (ref. 5) las alturas probables del oleaje según sus periodos de retorno.

Se estimó el daño causado a la obra por diversas alturas de oleajes y su distribución en el tiempo. En la tabla 3.1 se da el costo en valor presente por metro lineal de escollera para distintas alturas de oleaje de diseño. Se vé la conveniencia de diseñar para un oleaje de 5.0 m. Para conocer el efecto

de oleajes mayores que el de diseño se probaron secciones con oleaje de hasta 7 m de altura.

El periodo del oleaje generado por ciclones varía de 12 a 14 seg. y el generado por nortes varía de 6 a 14 seg (ver ref. 5) en la zona de Laguna Verde. En ñps experimentos se emplearon periodos entre 8.45 y 14 seg., debido a que el sistema de transmisión del motor no permitía generar oleaje con periodos menores a 8.45 seg para la escala de tiempos empleada.

3.3 Selección de escalas

3.3.1 Escala de líneas. - De acuerdo con el equipo disponible y con las condiciones de oleaje a reproducir se escogió el valor de 45:1 para la escala de líneas en las pruebas de enrocamiento y de 42.74 :1 y 54:1 para las pruebas con dolos de 3.6 y 6 ton. Estos pesos de los dolos en prototipo se determinaron usando el criterio de fórmula de Hudson para el primer valor y el criterio económico para el segundo valor. Debido al alto costo de los dolos usados en el modelo se ópto por cambiar las escalas usando el mismo material de coraza en las dos secciones.

3.3.2 Números adimensionales usados en el dimensionamiento del modelo .-

Para el dimensionamiento del modelo y la determinación de las otras escalas se usó como criterio de similitud el que los números de Froude y Euler fueran los mismos en el modelo y en el prototipo.

El número de Froude toma en cuenta las fuerzas de inercia y gravitacionales y se define como:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

en donde : Fr es el número adimensional de Froude, V es una velocidad característica del modelo o del prototipo, g es la aceleración de la gravedad y L es una longitud característica. (Por ejemplo el diámetro medio de los elementos de coraza y de las otras capas.) Todas las unidades deben de ser homogéneas. Por ejemplo si la velocidad se mide en m/seg g valdría 9.8m /seg², la longitud debe estar en metros.

El número de Euler toma en cuenta las fuerzas de presión y las de inercia y esta dado como:

$$Eu = \frac{V^2}{\rho p}$$

en donde : Eu es el número adimensional de Euler, V es una velocidad como la definida para el número de Froude, p es una presión característica (por ejemplo que produce el empuje sobre los elementos de coraza) y ρ es la densidad del fluido.

Debido a que el flujo alrededor de los elementos de coraza es el que hace que fallen estos también se debe de considerar el número de Reynolds que es el que toma en cuenta las fuerzas de viscosidad y de inercia dado como:

$$Re = \frac{VL}{\nu}$$

en donde: Re es el número adimensional de Reynolds, V y L son los mismos que para el número de Froude y ν es la viscosidad cinemática del fluido.

Para valores de Re mayores a 40,000 se ha encontrado de que los efectos viscosos no son muy importantes ya que el coeficiente de arrastre C_D no varía mucho. (Ref. 1 y fig. 3.1).

Fijando la escala lineal y usando los números de Froude y de Euler se determinaron las otras escalas como sigue;

3.3.3 Escalas de velocidades, celeridades y tiempos. - Las ondas a reproducir son gravitacionales, por lo que las fuerzas preponderantes son las de gravedad, inercia y presión. Por esto las condiciones de similitud que se deben de cumplir están impuestas por los números de Froude y de Euler.

La condición de Froude implica que $V_e/(g_e L_e)=1$ y la de Euler implica que $\rho_e V_e^2 / p_e=1$, en donde los subíndices e se refieren a la escala. Como el modelo es no distorsionado (i.e. su escala de líneas verticales es igual a su escala de líneas horizontales) y recordando que $g_e=1$, la escala de velocidades es: $V_e=L_e^{1/2}$. Para la escala de celeridades obtienen dimensiones iguales a las de la escala de velocidad (distancia/tiempo) por lo que la escala de celeridades es $C_e=L_e^{1/2}$.

La escala de tiempos sería: $t_e = L_e / V_e = L_e / L_e^{1/2} = L_e^{1/2}$

3.3.4 Escalas de áreas y volúmenes. - Por definición de relación de escala

$$A_e = L_e^2 \quad \text{y} \quad V_e = L_e^3.$$

3.3.5 Escalas de densidades y pesos. - La escala de densidades queda definida por la relación de densidades del agua en el prototipo y la del líquido que se usará en modelo. La densidad del agua salada del prototipo se supone de $\rho_p = \frac{1025 \text{ Kg Seg}^2}{\text{g m}^4}$ y la del modelo se tomará igual a la del agua dulce por lo que la escala de densidades y de pesos específicos será de $\rho_e = \rho_e = 1.025$.

El segundo número adimensional, que se utilizará es el de Euler por lo que:

$$F_e = \rho_e L_e^3$$

en donde F_e representa la relación de escalas de fuerzas o peso, por lo tanto puede finalmente escribirse como $W_e = \rho_e L_e^3$.

Por las magnitudes del oleaje a representar y con el equipo disponible, para la escollera con coraza de enrocamiento y taludes de 2: 1, para oleaje no rompiente en el morro, se escogió $L_e = 45$, quedando para este caso

$$W_e = 1.025 (45)^3 = 97,403$$

lo que implica que para un peso del elemento de la coraza para las condiciones anteriores y para un peso de roca de coraza de 16 ton se obtiene una roca de coraza de 173 gr en el modelo para las pruebas de secciones de enrocamiento.

3.3.6 Resumen de las escalas empleadas. - Para todas las secciones de enrocamiento se usó una escala lineal de 45:1 quedando determinadas las escalas de velocidad, tiempo, periodos, áreas, volúmenes y pesos a partir de esta y de la escala de densidades. Se tomó el valor de 2.6 ton/m^3 como el peso específico del material de cantera. Los valores de estas escalas están dados en la tabla 3.2. Para las secciones con coraza de dolos se usaron los mismos materiales que para las secciones de enrocamiento en las capas del talud protegido y en el núcleo. Se supuso un peso específico de 2.4 ton/m^3 para el concreto empleado en la construcción de los dolos.

Para los modelos de las secciones con corazas de dolos de 2.8 y 6 ton determinados por los criterios de estabilidad dado por la fórmula de Hudson y económico respectivamente, se usó un solo dolo en el modelo. Por esto en el modelo se emplearon las escalas de 42.74:1 y de 54:1. Nuevamente con base en esta escala de líneas se determinaron las otras escalas como se vé en la tabla 3.2.

3.4 Determinación del tamaño de los elementos de coraza

Debido a que las profundidades frente a la escollera producen oleaje que puede ser rompiente o no rompiente, y, tomando en cuenta que el ataque del oleaje es más severo en el morro que en el tronco de la escollera, se tendrían distintos pesos de elementos de coraza en las diferentes secciones de la escollera. En el diseño del modelo se supuso que se probarían las secciones del morro con oleaje rompiente, o sea con un $K_D=2.6$ tomado de la tabla 2.1 y reemplazando en la fórmula de Hudson una altura de 5m

de la escoliera. En el diseño del modelo se supuso que se probarían las secciones del morro con oleaje rompiente, o sea con un $K_D=2.6$ tomado de la tabla 2.1 y reemplazando en la fórmula de Hudson una altura de ola de 5m y una $w_s=2.65\text{ton}/\text{m}^3$ para las rocas de cantera se obtiene un $W=16$ ton que según la escala de peso para una escala de líneas de 45:1 da una piedra de coraza en el modelo de 171.3 gr. Debido a que para probar secciones del tronco de la estructura se deben de usar piedras más pequeñas ya que el K_D es mayor se probó la sección del morro con oleajes mayores al de diseño para obtener el K_D de la sección del tronco usando la misma sección en el modelo para las dos secciones del prototipo.

Para el caso de los dolos se supuso una $w_s=2.4$ y una $H=5\text{m}$ en el prototipo con una $K_D=22$ para la sección del tronco con oleaje rompiente dando un peso de 35.5 gr para los elementos de coraza de l modelo. Apartir de estos pesos se determinaron los pesos de los elementos de la capa secundaria y del núcleo. Con los pesos de todos los elementos se determinaron los espesores de las capas con las fórmulas del capítulo 2 y se procedió al dimensionamiento de las secciones a probar en el canal de olas.

3.5 Calibración del batidor

Para realizar el estudio, se hace indispensable conocer el funcionamiento del generador de oleaje, para lo cual se calibra el batidor, es decir, se determina para cada periodo que interesa analizar, las excentricidades necesarias par reproducir los oleajes deseados:

3.5.1 Equipo de medición. - El equipo con que cuenta el Instituto de Ingeniería para obtener los registros del oleaje producido por el generador de oleaje es un oleómetro modelo RD5621-01, marca Brush Electric Company.

Cabe aclarar que la necesidad de calibrar el batidor, se debe, además de lo antes expuesto, a que el sistema en el modelo es cerrado y al llegar el oleaje a la estructura, parte de la energía se regresa en forma de oleaje, recorriendo todo el canal en dirección contraria a la que tiene el oleaje al ser generado, produciéndose la suma de las amplitudes alguna s veces y restándose en otras, dependiendo del desfazamiento de l as ondas en cada sección del canala través del tiempo. Como no se puede determinar cuanta energía se disipa al llegar el oleaje a la estructura y si el oleaje generado y reflejado al pasar el tiempo de la prueba tendrá algún valor estable, para condid ones dadas de periodo y excentricidad, se tomaron registros de oleaje con el oleómetro determinándose para cada registro su media, altura significativa y desviación standard.

Con estos registros se determinó la altura de la ola que llegaba a la estructura una vez que había pasado el tiempo suficiente para que las olas l que llegaban fueran prácticamente iguales, comenzandose en ese instante la prueba.

3.6 Materiales usados en la construcción del modelo

La escala de pesos específicos de 1.025 implica que el peso específico de los elementos que se usarán en el modelo es de $2.6/1.025=2.537\text{gr/cm}^3$ para los elementos de enrocamiento y de $2.4/1.025=2.341$ para los elementos prefabricados como los doios. El material que tiene esta última densidad es un compuesto epóxico que fabrica la compañía Especialidades Epóxicas e Industriales, S.A., misma que construyó los doios para usarse en la construcción del modelo, teniendo una tolerancia en el peso específico de + 4%.

En la tabla 3.3 se encuentran los pesos, tamaños y las principales dimensiones para la construcción de las secciones transversales del modelo y las correspondientes al prototipo.

4. PRUEBAS EFECTUADAS Y RESULTADOS

4.1 Descripción de las pruebas

4.1.1 Disposición del modelo y equipo. - La ubicación en el canal de las secciones probadas se muestra en la fig. 4 .1. El talud ubicado delante de la rampa en donde se colocó la sección se de 10:1 debido a que un talud de 200:1, el representativo del fondo marino par el caso de Laguna Verde, implicaba un relleno muy voluminoso y de grán longitud. Debajo de esta rampa se instaló una canaleta de aluminio que permitía el flujo de agua entre la parte posterior (protegida) y la parte delantera (desprotegida) de la sección para que el nivel del agua en ambos lados de la sección fuera el mismo como ocurre en el prototipo. El reflujó producido por este conducto no fué suficiente por lo que adicionalmente en algunas pruebas se utilizó bombeo.

En ambos extremos del canal se colocaron piedras para absorber energía y cerca del batidor se colocó una batería de 16 láminas de aluminio para absorber el oleaje en dirección normal al eje del cana producido por la vibración del batidor. Conjuntamente con este filtro de láminas se usó en las pruebas en las cuales variaba mucho la altura del oleaje, un filtro de malla cercano a la sección probada.

Como se describió en el capítulo 3 el control del periodo del oleaje se efectuó

por medio de un motor sincrónico con una polea cómica. Como la velocidad de este tipo de motor solo depende del ciclaje de la línea de corriente y este se mantiene constante el periodo del oleaje es muy fácil de controlar. La altura del oleaje fué más difícil de controlar debido a que cambiaba con el tiempo. En algunas pruebas, especialmente para los periodos de 12 y 14 seg en prototipo con alturas de oleaje de 6 y 7 m en prototipo se producía a corto plazo un efecto cíclico en el que en un tré de alrededor de 10r olas la altura de estas variaba casi en un 100%. El efecto a largo plazo fué el causado por el reacomodo de la estructura que producía olas gradualmente crecientes. Con la ayuda del filtro de malla se redujeron estos efectos considerablemente pero se presentó una variación de la altura del oleaje respecto al eje longitudinal del canal. O sea, a cambio de que la altura del oleaje no variara con el tiempo se obtuvo un oleaje con distintas alturas a lo largo del canal por lo que la altura al pié de la sección era distinta de la medida a corta distancia de ésta.

4.1.2 Medición y ajuste del oleaje. - Las mediciones de alturas de oleaje se hicieron al pié de la sección registrando los niveles de la cresta y valle de las ondas con una cinta métrica fijada por fuera a una ventana. La refracción ocasionada por la ventana puede producir un error de medición. Adicionalmente se efectuaron medidas con un oleámetro (descrito en el capítulo 3) que se calibra en forma estática subiendo o bajando las puntas de medición. Durante los experimentos, el oleámetro, que utiliza un filtro amortiguador

para pasar del amplificador al graficador las señales de la altura del oleaje graficaba alturas menores a las reales. Esto se debió a que el amortiguamiento del filtro aumentaba con la frecuencia del oleaje. Por esta razón se tomó como altura del oleaje la dada por las mediciones con cinta, calculando un promedio ponderado de la altura del oleaje con una regla de integración trapezoidal.

El periodo del oleaje solo se midió al inicio de las pruebas ya que como se mencionó la velocidad del motor no cambiaba. Para ajustar el periodo se usó un cronómetro con divisiones de 0.2 seg. Se contaron a lo menos 30 olas en cada caso para obtener un error máximo de 0.5% por la lectura del cronómetro.

4.1.3 Medición del daño .- Sobre el talud desprotegido se consideró la falla de un elemento su volcadura o deslizamiento sobre el talud a una distancia de a lo menos un diámetro, ya sea hacia arriba o hacia abajo del talud. Se contó a lo más una falla por elemento. En las pruebas con el talud desprotegido de dolos se usaron diferentes colores en las hileras para evaluar más fácilmente el daño. La forma como se calculó el porcentaje de daño en cada prueba se describe más adelante.

4.2 Materiales empleados

Como se mencionó anteriormente, debido a la escala de densidades de 1.025, la densidad de las rocas de coraza y de las capas secundarias fué de 2.54 en las pruebas de enrocamiento. La densidad de los elementos de coraza del talud desprotegido en las pruebas con dolos fué de 2.34 gr/cm^3 . Las piedras empleadas en la coraza de enrocamiento, debido a su origen volcánico, presentaban mucha porosidad externa. Esta repercutía en la mayor rugosidad exterior de la piedra del modelo respecto a la de Laguna Verde que es menos rugosa.

Se pesaron todas las rocas de las capas secundarias y de coraza par que estuvieran en el rango de $\pm 25\%$ del peso teórico dado por el manual CERC. Los rangos de pesos fueron: para la roca de coraza "W" de 130 a 216 gr, para la de "W/2" de 65 a 108 gr, la de "W/10" de 13 a 21.6 gr y la de "W/20" de 6.5 a 10.8 gr.. Los dolos presentaron una variación muy pequeña de pesos debido a la homogeneidad del material en cuanto al tamaño siendo los más livianos de 33 gr y los más pesados de 39 gr con un peso medio de 35.5 gr.

4.3 Pruebas efectuadas

Sobre las secciones de diseño convencional de enrocamiento se efectuaron pruebas con oleajes con períodos de 8.45, 10, 12 y 14 seg y alturas de 5 a 8m en prototipo con una escala de líneas de 45:1. Sobre las secciones de diseño no convencional de enrocamiento se efectuaron pruebas para oleajes de 5m

de altura con periodos de 10, 12 y 14 seg. en prototipo.

Las pruebas con una sección mixta de dolos y enrocamiento se llevaron a cabo para periodos de 10 y 14 seg con oleajes de 5 a 6 m para los dolos de 3.6 ton en prototipo. y para periodos de 12 y 14 seg para los mismos oleajes para los dolos de 6 ton. Como se usó un solo tipo de dolo en el modelo se empleó una escala de líneas de 42.74: 1 para los dolos livianos y de 54.84: 1 para los dolos de 6 ton. Debido a la dificultad de conseguir y pesar piedras por falta de tiempo, la coraza y capas secundarias del talud protegido de estas secciones fueron las mismas que las que se emplearon en las secciones con coraza de enrocamiento por lo que su escala fué de 45:1.

Se utilizó bombeo solo en las pruebas con secciones de enrocamiento no convencionales y con secciones mixtas, por no disponer del equipo de bombeo durante el periodo en que se efectuaron las pruebas sobre secciones convencionales.

Se hicieron algunas pruebas que consideraron dos niveles de aguas tranquilas; el primero correspondió al nivel medio del mar / el segundo al nivel +1.1m sobre el nivel medio del mar (snmm). Este segundo valor se utilizó debido a la sobreelevación que se presenta generalmente durante las condiciones meteorológicas que generan la ola de diseño. (Ver ref. 6 sección 2.6).

4.4 Resultados de las pruebas

4.4.1 Alternativa de diseño convencional. - (Ver fig.4 .2) En las alternativas con coraza de enrocamiento hasta el nivel de la corona, la sección transversal fué la misma, variando únicamente las condiciones del oleaje, es decir, para cada uno de los periodos estudiados; se generaron en el canal de olas diferentes alturas de oleaje.

En estas pruebas las olas generalmente rompían sobre la estructura, excepto para oleajes de 5 m con periodos de 8.45 y 10 seg, produciendo daños que tienden a estabilizarse con el tiempo. La mayor parte del daño ocurre en los primeros diez minutos de la prueba lo que equivale a 67 min en prototipo, disminuyendo el avance del daño a medida que transcurre el tiempo. Esta tendencia es asintótica; físicamente representa el aumento de estabilidad que experimenta la escollera debido al reacomodo de los elementos de la coraza y al tendido del talud. En otras palabras, la coraza tiende a estabilizarse al fallar algunos de sus elementos por acomodarse estos más convenientemente. Durante la construcción, no llegan a tener un acomodo completamente estable para el oleaje de diseño y por lo tanto, al presentarse este oleaje algunos elementos cambiarán de lugar para colocarse en sitios en donde alcanzan una mayor estabilidad.

En las figuras 4.7- 4.10 y en las tablas 4.1 a 4.13 aparecen los resultados

de estas pruebas. En las gráficas se dibujó el daño sobre el talud contra el número de olas, obteniéndose, en cada una de las pruebas un valor diferente del coeficiente de estabilidad. En las tablas se tabulan los daños contra el número de olas y el tiempo en prototipo. El porcentaje de daño se calcula como el número de elementos de coraza del talud desprotegido que fallaron entre el número total de elementos de coraza de ese talud.

En los ensayos con oleaje mayor al de diseño el daño aumentó como lo indican las mismas gráficas y tablas; produciéndose la misma tendencia de estabilización del daño observado para el oleaje de diseño. También se observó el efecto que tiene el oleaje a medida que se hace más irregular; hubo mayor daño con igual altura media de oleaje. En estas pruebas la moción hizo que el nivel del agua aumentara en la zona protegida, a pesar de que se contaba con un tubo que comunicaba la zona protegida con la desprotegida, ya que para la diferencia de cargas de agua el diámetro del tubo no era suficiente para evacuar el agua que se almacenaba en la zona de calmas. Esto provocaba un flujo a través de la escollera de la zona protegida a la desprotegida. Como consecuencia de este puede suponerse que los daños obtenidos y graficados de estas pruebas son mayores a los que se hubieran obtenido en el prototipo. Por ello se repitió un ensayo en las condiciones y con los resultados que a continuación se describen.

Para mantener el nivel del agua en la zona protegida se bombeó el agua en la parte final del canal, regresando esa agua a la zona con oleaje. Como se

anticipaba se observó que el daño en el talud desprotegido disminuye para condiciones idénticas de oleaje debido a que no se presentó el flujo antes mencionado. El daño en el talud protegido aumentó con respecto a las pruebas que no utilizaron bombeo, pues al bajar el nivel del agua esta ya no cubría la parte superior del talud protegido.

En la tabla 4.37 se da un resumen de las pruebas efectuadas sobre secciones de diseño convencional. En esta tabla se observa que los daños más fuertes ocurren para periodos de 12 y 14 seg y que un $K_D=4.5$ asegura un daño menor al 5% para todos los periodos con excepción del de 12 seg (prueba no. 8). En esta ésta prueba no se efectuaron muchas medidas de la altura del oleaje por lo que se cree que el daño registrado se debe a oleaje mayor al registrado.

4.4.2 Alternativas con secciones de coraza no convencionales. - Se probaron cuatro alternativas con diseño no convencional. Todas tenían en las capas externas del talud protegido piedras con peso de $W/10$ en vez de $W/2$. La primera alternativa no tenía piedras de coraza en la corona (ver fig. 4.3). La segunda alternativa tenía una capa de piedras con peso $W/2$ sobre la corona como se vé en la fig. 4.4. La tercera alternativa tenía una capa de piedras con peso W sobre la corona y la cuarta tenía dos capas con peso W sobre la corona. (Ver figs. 4.5 y 4.6). Las primeras tres alternativas se probaron para el NMM y para 1.1 m sNMM.

a) Primera alternativa. - Estas pruebas evaluaron el daño ocasionado a la sección al presentarse la ola de diseño cuando la corona no tiene elementos de coraza, sino únicamente de la capa secundaria con peso igual a $W/10$. El talud protegido se construyó con elementos de coraza de peso W , mientras que el talud protegido se formó con elementos de peso igual a $W/10$. (fig. 4.2). El nivel medio del mar se consideró como el nivel de aguas tranquilas del canal de olas.

La razón de estos cambios respecto al diseño convencional fué la de verificar si era posible reducir el costo al disminuir el número necesario de elementos de coraza W y $W/2$ empleados en la construcción de la escollera.

En esta alternativa se observaron los siguientes comportamientos:

- 1) En el talud desprotegido, los daños fueron menores al 2%. Se tomaron en cuenta los elementos que rodaron por el talud desprotegido o que cambiaron de lugar en el mismo talud.
- 2) En la corona y en el talud protegido el daño fué mayor; los elementos de la capa secundaria de la corona se movieron aproximadamente en un 70% por efecto de la rotación y se depositaron sobre el talud protegido, motivo por el cual se descubrió en algunas partes el núcleo. Cuando esto ocurre se mueven elementos del mismo hasta, que, por el asentamiento de la capa secundaria de la corona, elementos de la coraza se depositan en la corona cubriendo parte de las zonas donde el núcleo queda descubierta. En estas zonas se observó que la erosión avanza hasta una profundidad en la cual se forma

un colchón de agua que no permite que la roci6n siga disgregando el material del n6cleo. Esta estabilizaci6n del da6o deja a la estructura en un estado en el que sigue cumpliendo con su finalidad. Cuando estos da6os sucedan se deber6 reparar la zona da6ada, pudi6ndose utilizar los elementos de coraza que quedaron en la corona y rellenando el volumen del n6cleo disgregado, para colocar arriba de este los elementos de la capa secundaria que funcionan como coraza.

Si el nivel del agua aumenta a +1.1m sNMM el comportamiento de la estructura es m6s satisfactorio debido a que el oleaje de dise6o, que es rompiente, deja de serlo. Se observ6 que la roci6n pasa por arriba de la corona, sin producir da6os en ella.

Conviene hacer notar que el efecto de la sobreelevaci6n del nivel del mar, por efecto de las perturbaciones meteorol6gicas que llegan a producir olas de tama6o mayor al de dise6o es benigna con respecto a la condici6n anterior, pues los da6os en esta alternativa, tanto en la corona como en los taludes son menores al 2%.

Los resultados de estas pruebas se encuentran en las tablas 4.14 a 4.23 y en la tabla 4.38 est6n en forma de resumen. De esta 6ltima tabla se observa que se obtuvieron da6os totales menores al 5% para K_D menores a 2.7 para todos los periodos. Esto se debe a que muchos elementos de la parte superior

del talud desprotegido se volcaban sobre la corona mientras que en las secciones convencionales esto no ocurría. Si se mide el daño como el porcentaje de elementos del talud desprotegido que fallaban desliziéndose o volcándose sobre éste se observa que en ninguna prueba se obtuvieron daños mayores al 5% llegando a tenerse un $K_D=5.1$ (prueba 23),

b) Segunda alternativa. - La diferencia respecto a la primera consistió en colocar en la corona elementos de peso igual a $W/2$ (ver fig. 4.4).

Este cambio tuvo como objeto determinar el peso necesario de los elementos de coraza sobre la corona, que garantizaran la estabilidad necesaria para que no hubiera daño en ella y se evitara el descubrimiento del núcleo de la escollera. El comportamiento de esta alternativa mostró igual daño y la misma forma de falla que la alternativa anterior, por lo que el aumento de peso resultó insuficiente para evitar el daño de la coraza sobre la corona.

Si el nivel de aguas tranquilas aumenta a 1.1aNNM el comportamiento mejora por el efecto ya explicado. Con ello el daño es mínimo al no fallar los elementos de la capa secundaria y evitar así que se descubra el núcleo. Sin embargo debido a que se puede presentar el oleaje de diseño sin que se tenga esa sobreelevación, no se puede considerar asociada la sobreelevación al oleaje de diseño y deben esperarse daños como los obtenidos sin la sobreelevación. Los resultados de estas pruebas están en las tablas 4.24-4.27.

c) Tercera alternativa .- En esta alternativa se tiene en la corona, arriba de la capa secundaria, una coraza de una capa de elementos de peso W , siendo el resto de la estructura igual que las alternativas anteriores (fig 4.5). El nivel medio del mar se consideró como el nivel de aguas tranquilas del canal de olas.

El daño que ocurre en el talud protegido descubre parte del núcleo, por el efecto de la coción que llega hasta el talud protegido. El daño se propaga hasta una profundidad de aproximadamente 70 cm abajo del nivel de aguas tranquilas ya que el colchón de agua que queda sobre el núcleo, produce un amortiguamiento del efecto de la rotación y detiene el avance del daño. Se observaron algunos asentamientos y resacomeros de los elementos de la corona. Estos elementos no fallan y el daño observado en el talud desprotegido y en la corona es menor al 2%.

Si el nivel de aguas tranquilas aumenta 1.1 m, NMM el comportamiento de la estructura mejora, ya que en talud protegido se obtuvo un daño menor que en el caso anterior. En el talud desprotegido y en la corona el daño fue prácticamente el mismo.

d) Cuarta alternativa .- En esta alternativa, la corona se formó con elementos de coraza y en el talud protegido, el peso de los elementos exteriores fue de $W/10$. El tiempo en el modelo de esta prueba fue de 6 hr, 30 min. que

equivalen a 43 h, 36 min en prototipo. (Ver fig. 4.6).

Durante las primeras horas de la prueba, el daño en el talud desprotegido fué mínimo, no llegando al 5%. En el talud protegido el daño evaluado cuantitativamente, también fué pequeño; aunque parte del núcleo quedó expuesto por efecto de la coción sin que fallara ningún elemento de la coraza. El daño se estabilizó.

A las 5 horas de iniciada la prueba, el oleaje empezó a fluctuar de 12 a 25 cm representando en el prototipo oleaje de 5.4 a 11.25 m. Este oleaje tenía un ciclo de 20 ondas aproximadamente. Esta fluctuación del oleaje se debió a que se fué varias veces la luz produciéndose por este motivo, al pararse y arrancar el generador de olas, oleajes mayores que el de diseño por efecto de la reflexión de la energía de la escollera, pero se continuó la prueba para observar el comportamiento de la escollera con este oleaje. En esta etapa se produjo mayor daño a la sección. En la corona falló la mitad de los elementos de coraza que en su mayoría se depositaron en el talud protegido. La zona en donde se descubrió el núcleo en la corona y el talud protegido fueron tapadas por elementos tanto de la capa de coraza como de las capas secundarias. En el talud desprotegido el daño que sufrió la escollera se debió a la falla de la primera capa de coraza desde el nivel de la corona hasta el nivel a que desciende la ola. En ningún momento se apreció que la capa secundaria quedara descubierta.

Esta prueba indicó que a pesar del daño que sufre la escollera para oleajes de hasta el doble del de diseño, ésta sigue cumpliendo con su finalidad, ya que no se destruye completamente. Cuando esto suceda, será necesario reparar la obra con elementos de coraza y de capa secundaria en las zonas que así lo requieran. Es posible que algunos elementos de coraza puedan ser reutilizados, siempre que la maniobra de colocación de los mismos sea factible y económicamente conveniente.

El nivel del agua con el que se efectuó la prueba correspondió al NMM únicamente. Esto se debe a que para las condiciones de oleaje y elevación de la estructura probada es más dañino el oleaje cuando el nivel de aguas tranquilas es el NMM que cuando es mayor como se observó en las otras pruebas. Niveles menores produciría que la ola rompa antes, siendo esta condición más favorable para la estructura o en todo caso romperá el oleaje sobre la estructura como sucede en esta prueba.

4.4.3 Alternativas con coraza de dolos. - Debido a que el coeficiente de estabilidad de los dolos es mucho mayor al del enrocamiento, se ensayaron secciones con coraza formada con estos elementos. Como el coeficiente de estabilidad es muy alto (ver tabla 2.1), el peso disminuye, teniéndose un volumen menor comparado con otros elementos artificiales o naturales; además la coraza construída con dolos tiene una porosidad de 63% aproximadamente, por lo que la pérdida de energía del oleaje al incidir sobre ella es mayor y el reflejo de ésta y el "run-up" son menores que para las secciones de

enrocamiento.

La primera alternativa que se estudió, fué la de la fig 4.7; la elevación que tiene la corona para esta alternativa es 4.2 sNMM; el coeficiente de capa es menor que en los elementos de enrocamiento, produciendo espesores de coraza y capa secundaria más pequeños. El nivel de la corona del núcleo esta en la cota +0.71m sNMM, como en las alternativas con coraza de enrocamiento.

Se probaron dos periodos de 10 y 14 seg en prototipo, con alturas de oleaje de 4 a 5.5 m aproximadamente. Los resultados de estas pruebas se encuentran en las fig. 4.13 y en las tablas 4.31-4.34. La tendencia del daño a estabilizarse con el tiempo se observó nuevamente.

La segunda alternativa que empleó una escala de líneas de 54.84:1 para simular los dolos de 6 ton se probó con oleaje de 12 y 14 seg con alturas de 5 a 6 m.

Se obtuvieron daños muy bajos en todas las pruebas con excepción de la prueba 34 debido a que en esta el oleaje llegó a tener alturas de 6.8 m en prototipo.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE DISEÑO

5.1 Recomendaciones

5.1.1 Secciones de enrocamiento.-

a) Diseño convencional: De la tabla 4.37 se observa que un K_D menor a 4.5 produce un daño menor al 5% en todos los casos. Debido a los problemas que se tuvieron en la regulación del oleaje y de que solo se efectuó una prueba para cada condición de oleaje se recomienda para el diseño de la escollera un $K_D=3.5$ tomado del manual CERC (ref. 1). Con este valor de K_D y con un oleaje de diseño de 5m rompiente se obtiene para el tronco de la escollera una roca de peso $W=11.88$ ton para un talud de 2:1 y $w_s=2.65$ ton/m³. Como se mencionó en el capítulo 4 el tendido de la sección al fallar las rocas para oleajes mayores al de diseño produjo mayor estabilidad a la escollera aunque aumentaron los daños. No se pudo determinar una relación de daños vs. K_D debido a la dispersión de los valores de K_D de la tabla 4.37.

Para la sección del morro se recomienda un $K_D=2.5$ para oleaje rompiente y talud de 2:1 dado por el manual CERC (ref.1). Con este valor de K_D se obtiene un peso de 16.63 ton para los elementos de coraza del talud desprotegido. Se recomienda el uso del valor dado por el manual CERC debido a que no se efectuaron pruebas sobre el morro de la escollera.

En las figs. 5.1 y 5.2 se encuentran las secciones transversales del morro y del tronco recomendadas para enrocamiento.

b) Secciones no convencionales: como se discutió en la sección 4.4.2 estos diseños presentaron daños similares al de las secciones convencionales en el talud desprotegido. Sobre la corona y el talud protegido se observaron daños considerables aunque en algunos casos estos se estabilizaban. Debido a que en las secciones del tronco lejanas de la playa se presenta oleaje en ambos lados de la escollera se recomienda como la más estable de las secciones de enrocamiento la de diseño convencional.

5.1.2 Secciones con dolos, - En base al estudio económico y a la gran estabilidad demostrada por las secciones con coraza de dolos en el talud desprotegido de 6 ton se recomienda el uso de dolos de 8 ton ya que su costo por metro lineal de escollera es casi igual al de los de 6 ton que a su vez son los más económicos para el caso de Laguna Verde.

Con el valor de K_D de 22 se tendría que el dolo de 8 ton aguantaría olas de hasta 7 m con daños menores al 5%. (en el tronco de la escollera).

5.2 Observaciones misceláneas. -

Las pruebas efectuadas no pudieron medir el efecto sobre la estructura que produciría un trén de oleaje estocástico como el que se presenta en el mar

debido a la generación de oleaje monocromático (de alturas y periodos constantes) producida por el batidor del canal. Adicionalmente este oleaje monocromático no se pudo controlar en algunas pruebas en cuanto a que su altura se mantuviera constante debido a la reflexión de energía causada por la escollera. Estas variaciones de altura de oleaje produjeron la variación en los daños de la estructura para oleajes medios similares como se observa en las tablas 4.37-4.39.

Se observó que el periodo del oleaje, aunque no está tomado en cuenta en la fórmula de Hudson, sí influye en la estabilidad de la escollera. Se observaron daños mayores en las pruebas con periodos de 12 y 14 seg que en las de 10 seg para oleajes rompiente y alturas semejantes de oleaje.

Para las secciones de enrocamiento se tiene un número de Reynolds de 34000 usando como diámetro característico el espesor de una capa de roca de coraza. Para las pruebas con dolos se obtiene un $Re = 8000$ usando como diámetro característico el de la sección transversal del dolo en el modelo.

BIBLIOGRAFIA

1. U.S. Army Corps of Engineers, "Shore Protection Manual"
Vol II, Washington D.C., 1977.
2. García Flores, Manuel y Maza J.A., "Estudio de Corrientes
y Zonas de Depósito en Laguna Verde, Ver. Utilizando
Escolleras Cortas", Instituto de Ingeniería, UNAM, 1978.
3. Camargo, Jaime y Maza J.A., "Estudio de Agitación por
Oleaje Dentro del Recinto de Laguna Verde, Ver.",
Instituto de Ingeniería, UNAM, 1978.
4. Terzaghi, Karl y Peck R.B., "Soil Mechanics in Engineering
Practice", John Wiley and Sons, Inc. Nueva York, 1948.
5. Instituto de Ingeniería, UNAM, "Tercer Informe, Etapas
II y III de Laguna Verde, Ver." 1972.
6. Instituto de Ingeniería, UNAM, "Informe de la IV Etapa
Resumen de la Información Disponible de Laguna
Verde, Ver.". 1973

UNIDADES EN LA CORAZA	n ⁽¹⁾	COLOCACION	CUERPO DE LA ESCOLLERA		MORRO DE LA ESCOLLERA		TALUD Cot
			K _D (4)		K _D		
			OLA ROMPIENTE	OLA NO ROMPIENTE	OLA ROMPIENTE	OLA NO ROMPIENTE	
Roca de cantera lisa y redondeada	2	Azar	2.1	2.4	1.7	1.9	1.5 a 3.0
lisa y redondeada	3	Azar	2.8	3.2	2.1	2.3	(5)
Rugosa y angular	1	Azar	21.0	2.9	(2)	2.3	(5)
					2.0	3.2	1.5
Rugosa y angular	2	Azar	3.5	4.0	2.5	2.8	2.0
					2.0	2.3	3.0
Rugosa y angular	3	Azar	3.9	4.5	3.7	4.2	(5)
Rugosa y angular	2	Especial (3)	4.8	5.5	3.5	4.5	(5)
Tetrapodo		Azar			5.9	6.6	1.5
γ	2	Azar	7.2	8.3	5.5	6.1	2.0
Cuadripodo						4.4	3.0
					8.3	9.0	1.5
Tribar	2	Azar	9.0	10.4	7.8	8.5	2.0
					7.0	7.7	3.0
Dolos	2	Azar	22.0(6)	25.0(6)	15.0	16.5	2.0(7)
					13.5	15.0	3.0
Cubo modificado	2	Azar	6.8	7.8	---	5.0	(5)
Exapodo	2	Azar	8.2	9.5	5.0	7.0	(5)
Tribarra	1	Uniforme	12.0	15.0	7.5	9.5	(5)
Roca de cantera graduada angular (K _{PR})		Azar	2.2	2.5			

- (1) n es el número de elementos de la capa de coraza
- (2) El uso de una capa de coraza de rocas sujeto a olas rompientes no es recomendada y sólo bajo condiciones especiales de olas no rompientes. Cuando se use, las rocas se deben de colocar cuidadosamente.
- (3) Colocación especial con el eje longitudinal de la roca, en dirección perpendicular al paramento de la escollera.
- (4) Aplicable para taludes comprendidos entre 1:1.5 1:5
- (5) Hasta tener más información disponible acerca de la variación de K_D con respecto al talud, el uso de K_D deberá limitarse a taludes comprendidos entre 1:1.5 1:3. Este se debe a los resultados de algunas pruebas que indican dependencia de K_D con el talud.
- (6) Datos disponibles sólo para taludes 1:2
- (7) Pendientes mayores de 1:2 no son recomendables en la actualidad

TABLA 2.1 Valores recomendados de K_D para la determinación del peso en las unidades de coraza (criterio sin daño y mínima roci6n).

Elemento de coraza	n	Colocación	Conjunto de capa K	Porosidad (P) Por ciento
Enrocamiento liso	2	Volteo	1.02	38
Enrocamiento rugoso	2	Volteo	1.15	37
Enrocamiento rugoso	3	Volteo	1.10	40
Cubo modificado	2	Volteo	1.10	47
Tetrápodo	2	Volteo	1.04	50
Quadrípodo	2	Volteo	0.95	49
Hexápodo	2	Volteo	1.15	47
Tribarra	2	Volteo	1.02	54
Polos	2	Volteo	1.00	63
Tribarra	1	uniforme	1.13	47
Enrocamiento	graduado	Volteo	----	37

Tabla 2.2 Coeficientes de Capa y porosidades de varios tipos de elementos de coraza.

$H_{1/3}$ de diseño (m)	Costo de Construcción. *	Costo de falla capitalizado	Costo total *
4.5	16,350.00	2,810.0	19,160.00
5.0	17,700.00	480.0	18,180.00
5.5	18,900.00	84.0	18,984.00
6.0	20,500.00	16.3	20,516.30
6.5	23,300.00	3.2	23,303.20

TABLA 3.1 Costo de construcción y riesgo de falla por metro lineal.

* Los precios unitarios pueden haber variado desde marzo de 1972, fecha en que se hizo este análisis. Sin embargo es tos resultados se consideran de utilidad por tener una ba se común de comparación.

PRUEBAS	ENROCAMIENTO	DOLOS DE 3.6 Ton.	DOLOS DE 6 Ton.
Líneas	45:1	42.74	54.84
Densidades	1.025:1	1.025:1	1.025:1
Pesos	93403:1	80025:1	169,050:1
Areas	2025:1	1827:1	3007:1
Volúmenes	91125:1	78073:1	164.927:1
Tiempos	6.708:1	6.5376:1	7.405:1
Velocidades y Celeridades	6.708:1	6.5376:1	7.405:1

TABLA 3.2

ESCALAS EMPLEADAS

	Coraza de enrocamiento		Coraza mixta		
	Modelo (cm)	Prototipo (m)	Modelo (cm)	Prototipo m (2.8ton)	Prototipo m (6ton)
Capas de Coraza					
Talud desprotegido	9.39	4.22	4.95	2.11	2.71
Talud protegido	7.46	3.35	7.46	3.19	4.09
Capas secundarias	4.				
Talud desprotegido	4.36	1.96	3.24	1.39	1.78
Talud protegido	3.46	1.56	3.46	1.48	1.89

Tabla 3.3a Espesores de las capas en modelo y en prototipo.

	Coraza de Enrocamiento		Coraza mixta		Prototipo (6ton) (ton)
	Modelo (kg)	Prototipo (ton)	Modelo (kg)	Prototipo (2.8ton) (ton)	
Capas de coraza					
Talud desprotegido	.173	16.2	.0355	2.84	6.00
Talud protegido	.086	8.1	.0355	6.92	14.62
Capas secundarias					
Talud desprotegido	.017	1.6	.0071	.57	1.20
Talud protegido	.0086	.8	.0086	.68	1.45
Núcleo	.0002	.02-.05	.0002	.02-.04	.03-.08
	a.0005		a .0005		

Tabla 3.3b Pesos de los elementos del modelo y prototipo.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %
		i	$\bar{\Sigma}i$	
0	0	0	0	0
8.61	3667	1	1	0.44
12.51	5373	--	--	--

Tabla 4.1 Resultados de la prueba de estabilidad de escolleras, para sección transversal de entrocamiento y oleaje de características $H = 4.8$
 $T = 8.45$ seg.

Tiempo Hrs. en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados%
		i	$\bar{\Sigma}i$	
0	0	0	0	0
13.41	4831	--	--	--

Tabla 4.2 resultados de la prueba de estabilidad de escolleras, para sección transversal de entrocamiento y oleaje con características $H=6.1m$ y $T=8.45$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %
		i	$\bar{\Sigma}i$	
0	0	0	0	0
0.22	95	2	2	0.87
0.34	143	1	3	1.30
0.90	381	1	4	1.74
1.68	714	1	5	2.17
2.24	952	1	6	2.61
3.92	1667	1	7	3.04
9.95	4238	1	8	3.48
10.06	4286	3	11	4.78
10.51	4476	1	12	5.22
10.62	4524	1	13	5.65
17.10	7286	--	--	--

Tabla 4.3 Resultados de la prueba de estabilidad de escolleras, para sección transversal de enrocamiento y oleaje de características $H = 6.10$ m y $T = 8.45$ seg

Tiempo hr en prot.	Número de olas	Elem. Fallados		Daños Acumulados %
		i	$\bar{\Sigma}i$	
0	0	0	0	0
0.11	40	3	3	1.30
0.22	80	1	4	1.73
6.71	2414	--	--	--

Tabla 4.4 Resultados de la prueba de estabilidad de escolleras, para sección transversal con enrocamiento y oleaje de características $H = 5$ m, $T = 10$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elem. Fallados		Daño Acumulado %
		i	Σi	
0	0	0	0	0
0.11	40	3	3	1.30
0.14	50	2	5	2.17
0.33	120	1	6	2.61
7.38	2656	--	--	--

Tabla 4.5 Resultados de la prueba de estabilidad de escolleras, para sección transversal con enrocamiento y oleaje de características $H = 6$ m, $T = 10$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elem. Fallados		Daños Acumulados %
		i	$\bar{\Sigma}i$	
0	0	0	0	0
0.22	80	3	3	1.30
0.34	121	1	4	1.74
0.45	161	2	6	2.61
0.56	201	2	8	3.48
0.67	241	1	9	3.91
0.78	282	1	10	4.35
2.01	724	1	11	4.78
2.68	966	1	12	5.22
2.91	1046	2	14	6.09
3.13	1127	1	15	6.52
3.24	1167	1	16	6.96
3.69	1328	1	17	7.39
3.91	1409	2	19	8.26
4.03	1449	1	20	8.70
4.25	1529	2	22	9.57
4.36	1570	3	25	10.87
4.47	1610	3	28	12.17
4.81	1731	1	29	12.61
5.81	2093	3	32	13.91
6.04	2173	2	34	14.78
6.15	2214	1	35	15.22
6.26	2254	3	38	16.52
6.71	2415	2	40	17.39
7.21	2595	2	42	18.26
8.94	3220	2	41	19.13
9.00	3260	1	45	19.57
9.61	3461	2	47	20.43
10.06	3622	1	48	20.87
11.18	4025	1	49	21.30
11.29	4065	1	50	21.74
12.86	4629	1	51	22.17
12.97	4669	1	52	22.61
14.53	5232	1	53	23.04

Tabla 4.7 Resultados de la prueba de estabilidad de escolleras, para sección transversal con enrocamiento y oleaje de características $H = 7.8$ m, $T = 10$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elem. Fallados		Daños Acumulados %
		i	$\bar{E}i$	
0	0	0	0	0
0.22	80	3	3	1.30
0.34	121	1	4	1.74
0.45	161	2	6	2.61
0.56	201	2	8	3.48
0.67	241	1	9	3.91
0.78	282	1	10	4.35
2.01	724	1	11	4.78
2.68	966	1	12	5.22
2.91	1046	2	14	6.09
3.13	1127	1	15	6.52
3.24	1167	1	16	6.96
3.69	1328	1	17	7.39
3.91	1409	2	19	8.26
4.03	1449	1	20	8.70
4.25	1529	2	22	9.57
4.36	1570	3	25	10.87
4.47	1610	3	28	12.17
4.81	1731	1	29	12.61
5.81	2093	3	32	13.91
6.04	2173	2	34	14.78
6.15	2214	1	35	15.22
6.26	2254	3	38	16.52
6.71	2415	2	40	17.39
7.21	2595	2	42	18.26
8.94	3220	2	41	19.13
9.00	3260	1	45	19.57
9.61	3461	2	47	20.43
10.06	3622	1	48	20.87
11.18	4025	1	49	21.30
11.29	4065	1	50	21.74
12.86	4629	1	51	22.17
12.97	4669	1	52	22.61
14.53	5232	1	53	23.04

Tabla 4.7 Resultados de la prueba de estabilidad de escolleras, para sección transversal con enrocamiento y oleaje de características $H = 7.8$ m, $T = 10$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %
		i	$\sum i$	
0	0	0	0	0
0.22	67	4	4	1.74
0.45	134	1	5	2.17
0.56	168	2	7	3.04
0.78	235	2	9	3.91
0.89	268	4	13	5.65
1.01	302	3	16	6.96
1.12	335	1	17	7.39
1.68	503	3	20	8.00
2.12	637	1	21	9.13
2.35	704	1	22	9.57
2.46	738	1	23	10.00
2.57	771	1	24	10.43
2.91	872	1	25	10.87
3.02	906	1	26	11.30
3.13	939	1	27	11.74
5.14	1543	2	29	12.61
6.26	1878	1	30	13.04
11.18	3354	--	--	--

Tabla 4.8 Resultados de la prueba de estabilidad de escolleras, para sección transversal de enrocamiento y oleaje de características $H = 4.7$
 $T = 12$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %
		i	$\bar{\Sigma}i$	
0	0	0	0	0
0.22	67	8	8	3.48
0.34	101	1	9	3.91
0.45	134	1	10	4.35
0.89	268	1	11	4.78
1.68	503	1	12	5.22
2.80	839	1	13	5.65
3.24	973	2	15	6.52
4.14	1241	2	17	7.39
4.81	1442	1	18	7.83
5.93	1778	1	19	8.26
6.26	1878	1	20	8.70
6.60	1979	1	21	9.13
6.71	2012	3	24	10.43
6.82	2046	1	25	10.87
7.04	2113	1	26	11.30
7.27	2180	1	27	11.74
7.60	2281	2	29	12.61
7.71	2314	1	30	13.04
7.94	2381	1	32	13.48
8.61	2583	1	32	13.91
9.39	2817	1	33	14.35
9.73	2918	1	34	14.78
9.95	2985	2	36	15.65
10.06	3019	1	37	16.09
10.17	3052	2	39	16.96
10.68	3203	1	40	17.39
11.07	3321	1	41	17.83
11.40	3421	1	42	18.26
11.63	3488	2	44	19.13
11.74	3522	2	46	20.00
12.30	3690	1	47	20.43
12.41	3723	1	48	20.87
12.86	3857	2	50	21.74
13.08	3924	1	51	22.17
13.10	3958	1	52	22.61
13.30	3991	2	54	23.48
13.42	4025	1	55	23.91
13.75	4126	1	56	24.35
14.65	4394	1	57	24.78
15.88	4763	1	58	25.21
15.88	4763	--	--	--

Tabla 4.9 Resultados de la prueba de estabilidad de es
colleras, para sección transversal de enroca
miento y oleaje de características $H = 7.5 \text{ m}$
 $T = 12 \text{ seg.}$

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %
		i	$\bar{\Sigma}i$	
0	0	0	0	0
0.67	172	1	1	0.43
1.12	287	1	2	0.87
10.62	2731	--	--	--

Tabla 4.10 Resultados de la prueba de estabilidad de es
colleras, para sección transversal de enroca
miento y oleaje de características $H = 4.8$ m
 $T = 14$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados \bar{x}
		i	$\bar{\Sigma}i$	
0	0	0	0	0
0.11	29	10	10	4.35
0.22	57	2	12	5.27
0.33	86	1	13	5.65
2.12	546	1	14	6.09
3.35	862	1	15	6.52
3.46	891	1	16	6.96
3.91	1006	1	17	7.39
4.02	1034	1	18	7.83
4.14	1064	1	19	8.26
4.69	1207	1	20	8.70
5.03	1294	1	21	9.13
5.81	1495	1	22	9.57
7.27	1869	1	23	10.00
7.71	1984	1	24	10.43
8.50	2185	1	25	10.87
8.72	2242	1	26	11.30
10.06	2587	1	27	11.74
11.40	2932	1	28	12.17
11.85	3047	1	29	12.61
12.30	3162	1	30	13.04
12.52	3220	1	31	13.48
13.42	3450	1	32	13.91
13.75	3536	1	33	14.35
15.65	4025	1	34	14.78
17.33	4456	1	35	15.22
17.44	4485	1	36	15.65
17.78	4571	1	37	16.09
17.89	4600	1	38	16.52
18.00	4529	1	39	16.96
20.13	5175	1	40	17.39
20.80	5347	--	--	--

Tabla 4.11 Resultados de la prueba de estabilidad de es colleras, para sección transversal de enrocamiento y oleaje de características $H = 5.8$ m $T = 14$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %
		i	Σi	
0	0	0	0	0
0.11	29	1	1	0.43
0.33	86	5	6	2.69
0.45	115	2	8	3.48
0.67	172	1	9	3.91
1.23	316	1	10	4.35
9.50	2444	1	11	4.78
11.74	3019	--	--	--

Tabla 4.12 Resultados de la prueba de estabilidad de es colleras, para sección transversal de enrocamiento y oleaje de características $H = 5.9.m$, $T = 14$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %
		i	Σi	
0	0	0	0	0
0.45	115	11	11	4.78
0.56	144	2	13	5.65
1.34	345	1	14	6.09
1.68	431	2	16	6.96
2.01	517	1	17	7.39
2.80	719	1	18	7.83
2.91	747	2	20	8.70
3.02	776	1	21	9.13
3.13	805	1	22	9.57
3.58	920	1	23	10.00
3.91	1006	1	24	10.43
4.47	1150	1	25	10.87
8.38	2156	1	26	11.30
8.61	2214	2	28	12.17
8.72	2242	1	29	12.61
10.29	2645	1	30	13.04
10.96	2817	--	--	--

Tabla 4.13 Resultados de la prueba de estabilidad de es colleras, para sección transversal de enrocamiento y oleaje de características $H = 7.00m$, $T = 14$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %		
		Sobre talud Desprotegido	Sobre Corona	Sobre talud Desprotegido	sobre Corona	Total
0	0	0	0	0	0	0
0.34	121	0	2	0	0.87	0.87
3.58	1288	--	--	--	--	--

Tabla 4.14 Resultados de la prueba de estabilidad de escolleras, para sección transversal con enrocamiento y oleaje de características $H = 5.6 \text{ m}$, $T = 10 \text{ seg.}$

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %		
		Sobre talud Desprotegido	Sobre Corona	Sobre talud Desprotegido	Sobre Corona	Total
0	0	0	0	0	0	0
0.11	34	0	2	0	0.87	0.87
2.01	1006	--	--	--	--	--

Tabla 4.15 Resultados de la prueba de Estabilidad de Escolleras, para sección transversal de enrocamiento y oleaje de características $H = 4.8\text{m}$, $T = 12 \text{ seg.}$

Tiempo hrs. en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %		
		Sobre talud Desprotegido	Sobre Corona	Sobre talud Desprotegido	Sobre Corona	Total
0	0	0	0	0	0	0
3.8	1140	--	--	--	--	--

Tabla 4.16 Resultados de las pruebas de estabilidad de escolleras, para sección transversal con enrocamiento y oleaje de características $H=4.9\text{m}$ y $T=12 \text{ seg.}$

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %		
		Sobre talud Desprotegido	Sobre Corona	Sobre talud Desprotegido	Sobre Corona	Total
0	0	0	0	0	0	0
0.11	34	0	1	0	0.44	0.44
0.22	67	0	1	0	0.87	0.87
0.33	101	0	1	0	1.30	1.30
1.56	470	0	1	0	1.74	1.74
4.92	1476	0	2	0	2.61	2.61
8.39	2516	--	--	--	--	--

Tabla 4.17 Resultados de la prueba de Estabilidad de Escolleras, para sección transversal de enrocamiento y oleaje de características $H = 5.8$ m, $T = 12$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %		
		Sobre talud Desprotegido	Sobre Corona	Sobre talud Desprotegido	Sobre Corona	Total
0	0	0	0	0	0	0
0.11	29	5	--	2.17	--	2.17
0.22	57	1	--	2.61	--	2.61
1.90	489	1	--	3.04	--	3.04
3.47	891	--	--	--	--	--

Tabla 4.18 Resultados de la prueba de Estabilidad de Escolleras, para sección Transversal con enrocamiento y oleaje de características $H = 4.60$ m, $T = 14$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %		
		Sobre talud Desprotegido	Sobre Corona	Sobre talud Desprotegido	Sobre Corona	Total
0	0	0	0	0	0	0
0.11	29	2	--	0.87	--	0.87
0.22	57	1	--	1.30	--	1.30
1.90	489	--	--	--	--	--

Tabla 4.19 Resultados de la prueba de Estabilidad de Escolleras, para sección transversal con enrocamiento y oleaje de características $H = 4.7$ m, $T = 14$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %		
		Sobre talud Desprotegido	sobre Corona	sobre talud Desprotegido	sobre Corona	Total
0	0	0	0	0	0	0
0.11	29	1	3	0.44	1.33	1.74
5.03	1293	--	--	--	--	--

Tabla 4.20 Resultados de la prueba de estabilidad de escolleras, para sección transversal con enrocamiento y oleaje de características $H = 4.8$ m, $T = 14$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %		
		Sobre talud Desprotegido	Sobre Corona	Sobre talud Desprotegido	Sobre Corona	Total
0	0	0	0	0	0	0
0.34	86	-	1	-	0.44	0.44
0.45	115	-	3	-	1.74	1.74
0.56	144	-	1	-	2.17	2.17
0.89	230	1	-	0.44	-	2.61
1.45	374	1	-	0.87	-	3.04
2.91	748	-	2	-	3.04	3.91
3.13	805	-	3	-	4.34	5.22
4.58	1178	1	-	1.30	--	5.65
5.70	1466	2	-	2.17	--	6.52
8.61	2213	-	-	--	--	--

Tabla 4.21 Resultados de la prueba de estabilidad de escolleras, para sección transversal con enrocamiento y oleaje de características $H = 5.4$ m, $T = 14$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %		
		Sobre talud Desprotegido	Sobre Corona	Sobre talud Desprotegido	Sobre Corona	Total
0	0	0	0	0	0	0
0.11	29	--	2	--	0.87	0.87
0.22	57	--	1	--	1.3	1.30
0.33	86	3	--	1.30	--	2.61
0.56	144	1	--	1.74	--	3.04
0.78	201	1	--	2.17	--	3.48
1.01	259	--	2	--	--	4.35
1.23	316	1	--	2.61	--	4.78
1.34	345	--	1	--	--	5.22
8.39	2156	--	--	--	--	--

Tabla 4.22 Resultados de la prueba de Estabilidad de Escolleras, para sección transversal de enrocamiento y oleaje de características $H = 5.5$ m, $T = 14$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %		
		Sobre talud Desprotegido	sobre Corona	Sobre talud Desprotegido	Sobre Corona	Total
0	0	0	0	0	0	0
0.11	29	-	3	0	1.30	1.30
0.33	86	-	1	0	1.74	1.74
0.78	201	1	-	0.44	-	2.17
0.89	230	1	-	0.87	-	2.61
1.67	431	1	3	1.30	3.04	4.35
2.12	546	-	1	-	3.48	4.78
3.24	834	-	2	-	4.35	5.65
3.35	862	-	-	-	-	-

Tabla 4.23 Resultados de la prueba de estabilidad de escolleras, para sección transversal con enrocamiento y oleaje de características $H = 6.1$ m, $T = 14$ seg.

Tiempo hrs. en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %		
		Sobre talud Desprotegido	Sobre Corona	Sobre talud Desprotegido	Sobre Corona	Total
0	0	0	0	0	0	0
0.78	234	0	2	0	0.87	0.87
1.90	570	0	2	0	1.74	1.74
5.37	1611	--	--	--	---	---

Tabla 4.24 Resultados de las pruebas de estabilidad de escolleras, para sección transversal con enrocamiento y oleaje de características $H=4.7$ m y $T=12$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %		
		Talud Desprotegido	Corona	Talud Desprotegido	Corona	Total
0	0	0	0	0	0	0
0.22	67		4		9.50	1.47
0.89	268		1		11.90	1.84
1.34	402		2		16.67	2.57
1.90	570		1		19.05	2.94
2.12	637	1	2	0.44	23.80	4.04
3.47	1040	2		1.30		4.78
4.47	1342	1		1.74		5.15
5.11	1533	1		2.17		5.51
10.06	3019	1		2.61		5.88

Tabla 4.25 Resultados de la prueba de Estabilidad de Escolleras, para sección transversal con coraza de enrocamiento y oleaje de características $H = 4.50$ m, $T = 12$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %		
		Talud Desprotegido	Corona	Talud Desprotegido	Corona	Total
0	0	0	0	0	0	0
0.22	67		2		4.76	0.74
0.33	101		1		7.14	1.10
0.45	134		2		11.90	1.84
0.56	168		6		26.90	4.04
0.78	235		2		30.95	4.78
2.12	637	2		0.87		5.51
3.02	906		1		23.33	5.88
3.58	1073	1		1.30		6.25
9.17	2750	3		2.16		7.35
9.95	2985	3		3.46		8.46
16.54	4964	--	--	--	--	--

Tabla 4.26 Resultados de la prueba de Estabilidad de Escolleras, para sección transversal de enrocamiento y oleaje de características $H = 6.4$ m, $T = 12$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %		
		Talud Desprotegido	Corona	Talud Desprotegido	Corona	Total
0	0	0	0	0	0	0
0.13	34	1	0	0.44	0	0.33
21.3	5467	--	--	--	--	--

Tabla 4.27 Resultados de la prueba de Estabilidad de Escolleras, para sección transversal de enrocamiento y oleaje de características $H = 5.3$ m, $T = 14$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %		
		Talud Desprotegido	Corona	Talud Desprotegido	Corona	Total
0	0	0	0	0	0	0
0.22	57		2		6.67	0.77
0.45	115	1		0.44		1.15
0.56	144	1		0.87		1.54
1.34	345		1		10.00	1.92
19.57	5031	--	--	--	--	--

Tabla 4.28 Resultados de la prueba de Estabilidad de Escolleras, para sección transversal de enrocamiento y oleaje de características $H = 4.7$ m, $T = 14$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %		
		Talud Desprotegido	Corona	Talud Desprotegido	Corona	Total
0	0	0	0	0	0	0
6.82	1754	0	1	0	1.25	0.32
10.06	2587	-	-	-	--	--

Tabla 4.29 Resultados de la prueba de Estabilidad de Escolleras, para sección transversal de enrocamiento y oleaje de características $H = 4.9$ m y $T = 14$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %		
		Talud Desprotegido	Corona	Talud Desprotegido	Corona	Total
0	0	0	0	0	0	0
0.45	15	1		0.44		0.36
0.56	144	2		1.30		1.07
1.90	489		1		2.00	1.43
5.37	1380		1		4.00	1.79
5.59	1437		3		10.00	2.86
6.37	1639		1		12.00	3.21
6.93	1782		1		14.00	3.57
3.30	3421		6		26.00	5.71
13.42	3450		4		34.00	7.14
15.09	3881	2	1	2.17	26.00	8.21
16.21	4169	--	--	--	--	--

Tabla 4.30 Resultados de la prueba de Estabilidad de Escolleras, para sección transversal de enrocamiento y oleaje de características $H = 5.2$ m, $T = 14$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %		
		Talud Desprotegido	Corona	Talud Desprotegido	Corona	Total
0	0	0	0	0	0	0
0.11	40	8		1.44		1.09
0.22	80		10		5.6	2.46
0.34	121	3		1.99		2.87
0.89	322		15		14.12	4.92
1.01	362	3		2.53		5.34
1.68	603	2		2.89		5.61
2.13	765	1		3.07		5.75
3.13	1127		7		18.08	6.70
3.69	1328		1		18.64	6.84
5.26	1892		2		19.77	7.11
5.48	1972		6		23.16	7.93
7.94	2858		3		24.86	8.34
10.40	3743		5		27.68	9.03
10.62	3823		2		28.81	9.30
11.07	3985		5		31.64	9.99
12.19	4387		1		32.20	10.12

Tabla 4.31 Resultados de la prueba de Estabilidad de Escolleras, para sección transversal mixta y oleaje de características $H = 5.2$ m, $T = 10$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %		
		Talud Desprotegido	Corona	Talud Desprotegido	Corona	Total
0	0	0	0	0	0	0
0.11	39	4	2	0.72	0.77	0.74
0.22	78	12	5	2.89	2.69	2.83
0.44	157	16	16	4.69	8.85	6.02
1.31	471	7	7	6.06	11.54	7.74
3.49	1255	3	0	6.40	11.54	8.11
5.12	1844	4	9	7.22	15.00	9.11
6.54	2354	0	2	7.22	15.78	9.95
8.39	3021	1	11	7.40	20.00	11.43
12.75	4590	2	3	7.76	21.15	12.04
15.48	5571	0	3	7.76	22.31	12.41
16.02	5767	0	1	7.76	22.69	12.53
17.65	6355	0	0	7.76	22.69	12.53

Tabla 4.32 Resultados de la prueba de Estabilidad de Escolleras, para sección transversal mixta y oleaje de características $H = 5.4_m$ $T = 10$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %		
		Talud Desprotegido	Corona	Talud Desprotegido	Corona	Total
0	0	0	0	0	0	0
0.22	57	13	0	2.35	0	1.78
0.33	86	7	15	3.61	8.47	4.79
0.44	115	3	1	4.15	9.04	5.34
2.18	574	--	--	--	--	--

Tabla 4.33 Resultados de la prueba de Estabilidad de Escolleras, para sección transversal mixta y oleaje de características $H = 3.8$ m, $T = 13.7$ seg.

Tiempo hrs en prot.	Número de olas	Elementos Fallados		Daños Acumulados %		
		Talud Desprotegido	Corona	Talud Desprotegido	Corona	Total
0.11	29	0	6		3.39	0.8
0.22	57	14	11	2.52	9.60	4.24
0.54	143	15	9	5.23	14.69	7.52
0.98	258		5		12.51	8.20
1.09	287	15		7.94		10.26
1.20	316	5	16	8.84	26.55	13.13
1.42	373	12		11.10		14.77
2.18	574	10		12.82		16.14
2.18	574	--	--	--	--	--

Tabla 4.34 Resultados de la prueba de Estabilidad de Escolleras, para sección transversal mixta y oleaje de características $H = 5.3$ m, $T = 13.7$ seg.

Tiempo hrs. en Prot.	No. de olas	El. Fallados		% Daños Acumulados		
		Talud	Corona	Talud	Corona	Total
0	0	0	0	0	0	0
.12	36	2	0	.42	0	.30
.25	75	1	0	.63	0	.45
5.18	15555	1	0	.84	0	.60
5.55	1666	1	0	1.05	0	.75
6.42	1925	1	0	1.26	0	.90
7.28	2188	1	0	1.47	0	1.05
8.27	2481	1	0	1.68	0	1.20
9.13	2739	1	0	1.89	0	1.36
14.81	4443	1	2.10	2.10	0	1.51
16.91	5073	1	0	2.31	0	1.66
17.03	5110	--	--	--	--	--

Tabla 4.35 Resultados de la prueba de estabilidad de escolleras, para sección transversal mixta y oleaje de características H=5.9m y T=12 seg.

Tiempo hrs. en Prot.	NO. de olas	El. Fallados		% Daños Acumulados		
		Talud	Corona	Talud	Corona	Total
0	0	0	0	0	0	0
1.85	476	1	0	.21	0	.15
5.68	1460	1	0	.42	0	.30
7.90	2032	1	0	.63	0	.45
8.02	2063	1	0	.84	0	.60
8.27	2127	1	0	1.05	0	.75
8.52	2190	2	0	1.47	0	1.05
11.38	2413	1	0	1.68	0	1.20
19.01	4889	2	0	2.10	0	1.51
19.25	4953	1	0	2.31	0	1.66
22.34	--	--	--	--	--	--

Tabla 4.36 Resultados de la prueba de estabilidad de escolleras, para sección transversal mixta y oleaje de características H= 5.2 y T=12 seg.

Prueba No.	Periodo seg	Altura media m	Tiempo hrs.	%Daño	Run-up (m)			Alturas (m)		K _D
					min	max		min	max.	
1	8.45	4.8	12.5	.44	2.1	3.0	5.1	4.5	5.0	2.5
2	8.45	6.1	13.4	0	2.3	6.3	8.6	5.8	6.3	5.0
3	8.45	6.8	17.1	5.65	2.6	3.0	5.6	5.4	8.5	7.1
4	10	5.0	6.7	1.73	3.1	4.4	7.5	5.0	5.0	2.8
5	10	6.0	7.4	2.61	3.0	5.0	8.0	6.0	6.0	4.8
6	10	6.7	16.9	16.10	.8	6.3	7.1	6.4	7.2	6.6
7	10	7.8	21.2	23.04	1.7	6.3	8.0	7.6	8.1	10.8
8	12	4.7	11.2	13.04	3.5	6.3	9.8	4.5	5.0	2.3
9	12	7.5	15.9	25.21	3.3	4.6	7.9	6.2	9.0	9.5
10	14	4.8	10.6	.88	4.0	3.7	7.7	4.3	5.0	2.5
11	14	5.8	20.8	17.39	no hay datos			3.1	7.7	4.8
12	14	5.9	11.7	4.78	3.5	6.3	9.8	5.4	6.1	4.8
13	14	7.0	13.0	13.04	no hay datos					7.9

Tabla 4.37 Resultados de las pruebas con coraza de diseño convencional.

Prueba No.	Periodo seg	Altura media m	Tiempo hrs.	%Daño	Run-up			Alturas		K _D	Nivel Agua m
					min	max	m	min	max		
14	10	5.6	3.6	.87	2.6	4.1	6.7	5.6	5.6	4.0	0
15	12	4.8	2.0	.87	1.7	6.3	8.0	4.7	4.9	2.5	1.2
16	12	4.9	3.8	0	2.6	4.1	6.7	4.9	4.9	2.7	0
17	12	5.8	8.4	2.61	4.8	7.9	12.7	5.5	6.5	4.3	0
18	14	4.6	3.5	3.04	no hay datos			4.4	4.7	2.1	1.1
19	14	4.7	1.9	1.30	1.2	6.4	7.6	4.7	4.7	2.4	1.1
20	14	4.8	5.0	1.74	3.3	6.3	9.9	4.7	5.0	2.6	0
21	14	5.4	8.6	6.52	no hay datos			4.5	5.6	3.6	1.1
22	24	5.5	8.4	5.22	1.7	6.4	8.1	5.2	5.8	3.8	1.1
23	14	6.1	3.3	5.65	2.6	5.5	8.1	5.6	6.8	5.1	1.1
24	12	4.7	5.4	1.74	1.2	7.2	8.4	4.7	4.7	2.4	0
25	12	5.3	10.1	2.61	no hay datos			5.2	5.4	3.3	0
26	12	6.4	16.5	3.46	3.0	8.5	11.5	6.1	6.5	5.9	0
27	14	5.3	21.3	.44	3.0	6.7	9.7	4.7	5.9	3.3	0
28	14	4.7	19.6	.88	2.6	6.3	8.9	4.5	4.8	2.3	0
29	14	4.9	10.1	0	3.0	4.4	7.4	4.9	5.3	2.7	0
30	14	5.2	16.2	2.17	3.0	---	---	4.5	---	3.1	0

Tabla 4.38

Resultados de las pruebas con coraza de diseño no convencional. Las pruebas 14 a 23 corresponden a la primera alternativa, las pruebas 24 a 27 corresponden a la segunda alternativa y las pruebas 28 a 30 a la tercera alternativa.

Prueba No.	Periodo seg	Altura media m	Tiempo hrs.	%Daño	Run-up			Alturas		k _D
					min m	max m	m	min m	max m	
31	10	5.2	12.2	3.07	2.0	4.7	6.7	4.9	5.3	32.1
32	10	5.4	17.6	7.76	no hay datos			5.0	5.8	28.6
33	14	3.8	2.2	4.15	no hay datos			4.0	5.0	10.8
34	14	5.3	2.2	12.8	no hay datos			3.8	6.8	29.0
35	12	5.9	17.0	2.31	3.1	4.6	7.7	5.2	6.6	19.2
36	.	5.2	22.3	2.31	2.5	4.6	7.1	4.8	6.5	13.3

Tabla 4.39 Resultados de las pruebas con corazo mixta. Las pruebas 31 a 34 corresponden a la alternativa con dolos de 3.6 ton y las pruebas pruebas 35 y 36 a las alternativas con dolos de 6 ton.

LADO DEL MAR

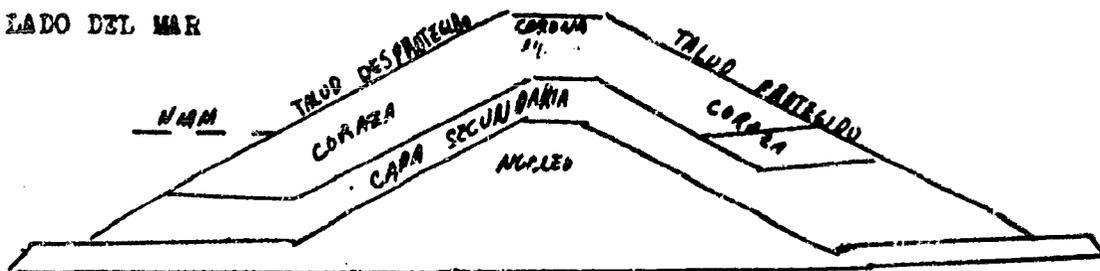


Fig. 1.1a Sección típica para oleaje no rompiente

LADO DEL MAR

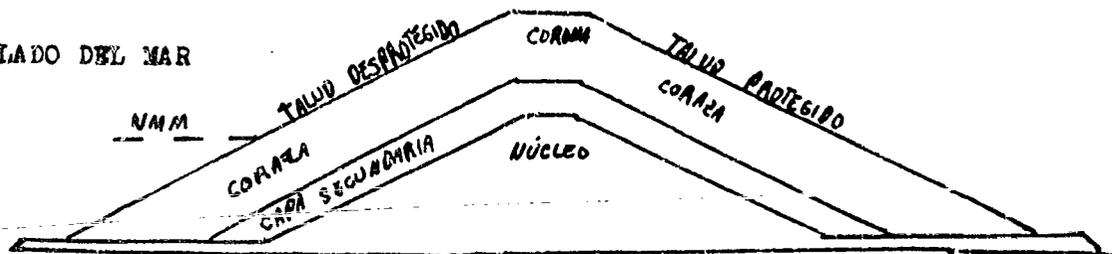
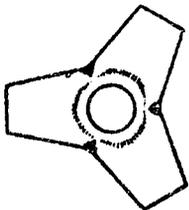
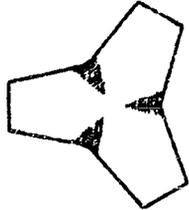


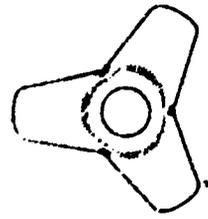
Fig. 1.1b Sección típica para oleaje rompiente



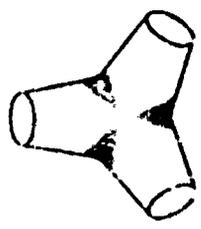
Plan



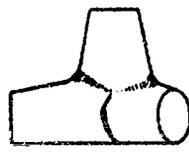
Bottom



Plan

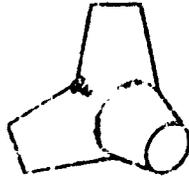


Bottom



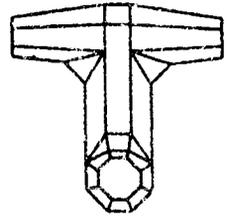
Elevation

QUADRIPOD

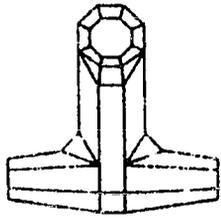


Elevation

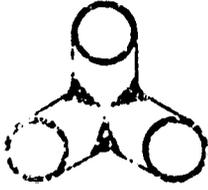
TETRAPOD



Plan



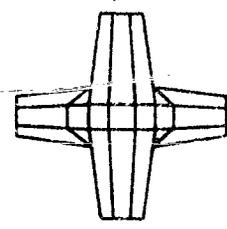
Bottom



Plan

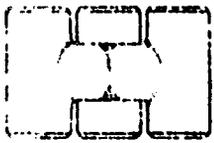


Bottom



Elevation

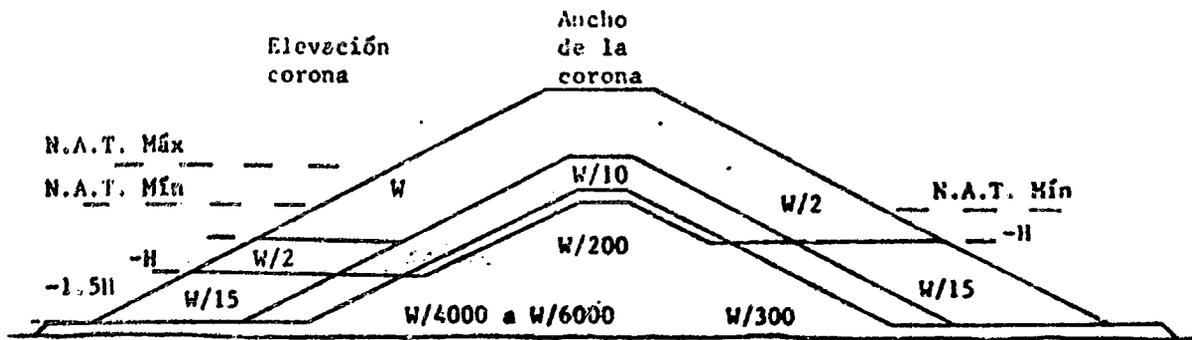
DOLOS
(DOLOSSE, plural)



Elevation

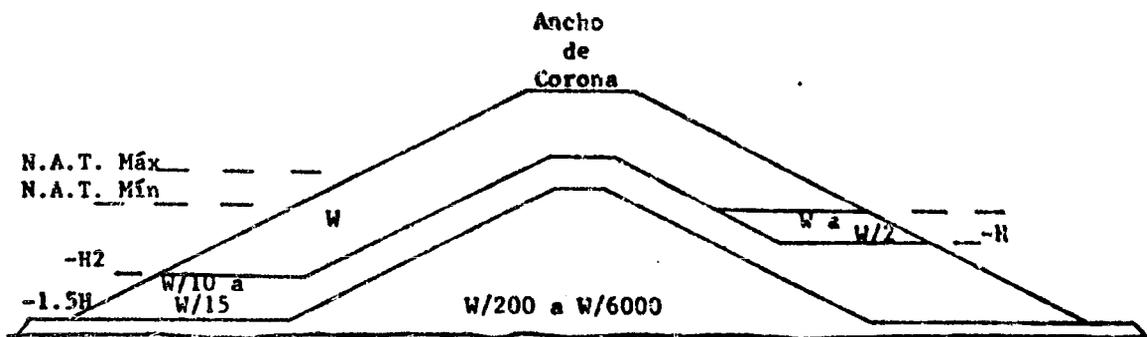
TRIBAR

Fig. 1.2 Elementos Artificiales



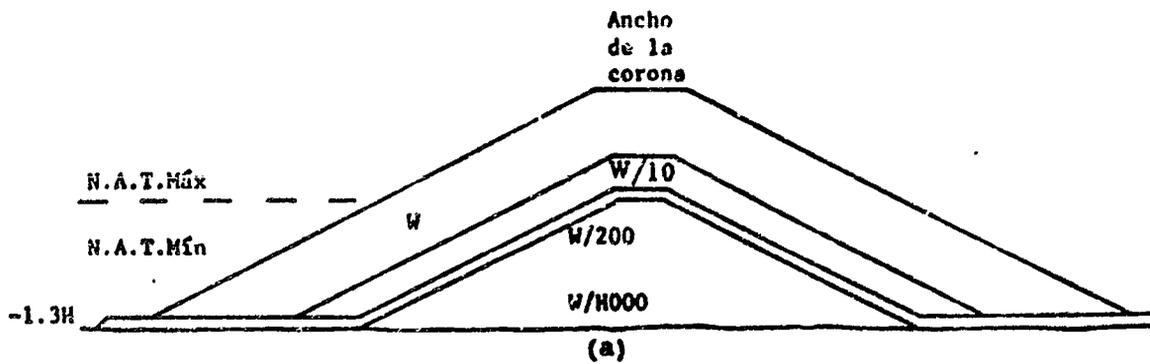
(c)

Tamaño de la roca	Capa	Tamaño (x)
W	1er. coraza	125 o 75
W/2 g W/15	2a. coraza	125 a 75
W/10 y W/300	1a. capa secundaria	130 a 70
W/200	2a. capa secundaria	150 a 50
W/4000 y W/6000	Nucleo	170 a 30



(d)

Fig 2.1 Sección de enrocamiento, para oleaje no rompiente



Tamaño de la roca	capa	tamaño (X)
W	Coraza	125 a 75
W/10	1a. capa secundaria	130 a 70
W/200	2a. capa secundaria	150 a 50
W/4000	Nucleo	170 a 30

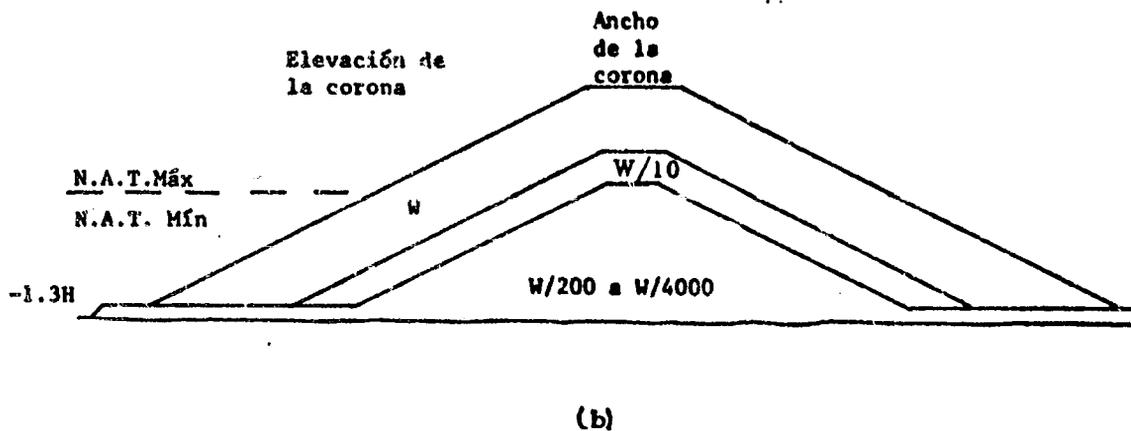


Fig 2.2 Sección de enrocamiento, para oleaje rompiente

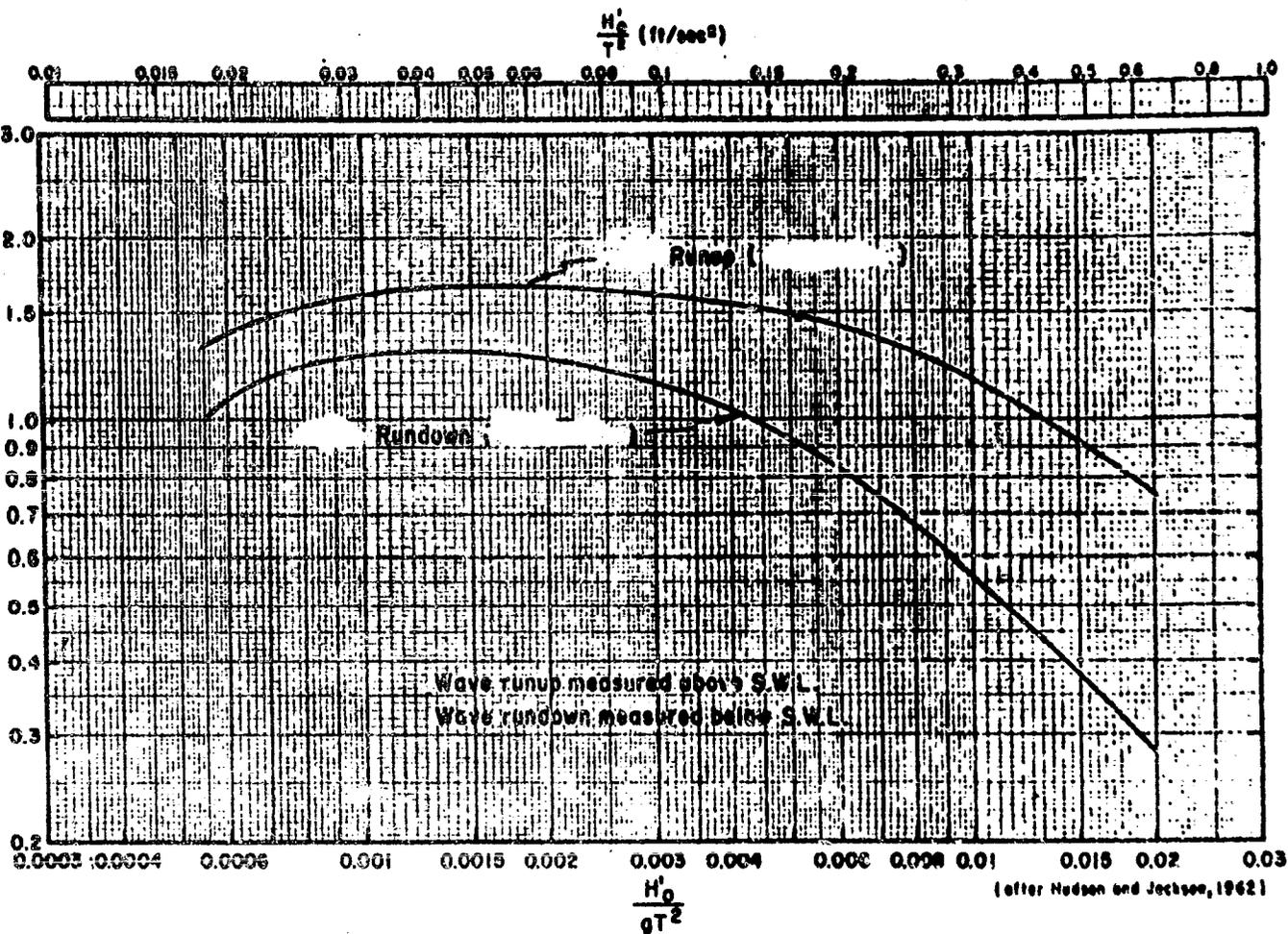
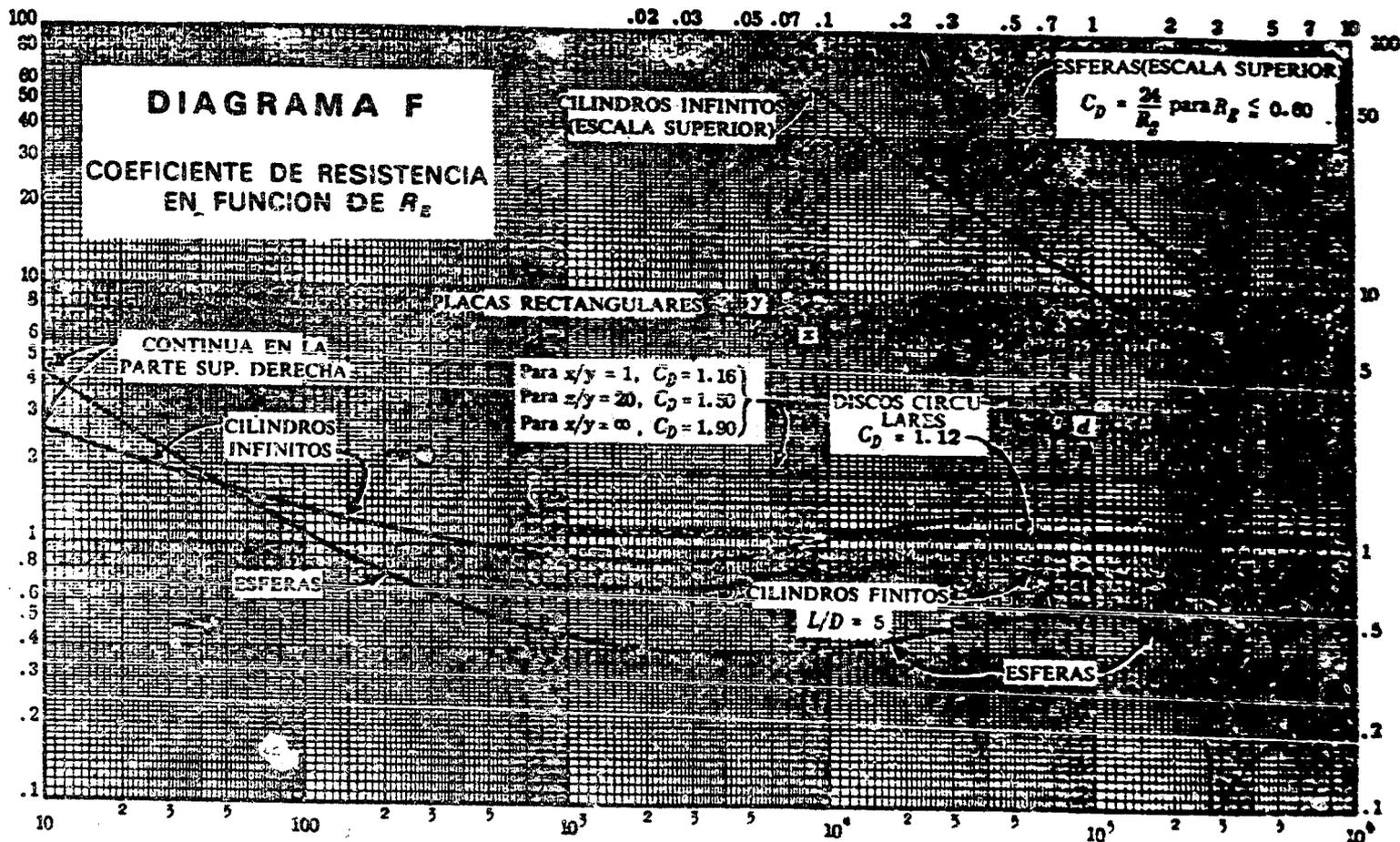


Fig. 2.3 Sobre elevación y depresión (runup y rundown) causados por oleaje en aguas profundas (H'_0/T mayor a 3) y talud de escollera de 2:1 para secciones de enrocamiento. H'_0 es la altura del oleaje en aguas profundas, T es el periodo del oleaje y R es el runup o rundown. Las medidas se toman respecto al nivel de aguas tranquilas (NAT).

COEFICIENTE DE RESISTENCIA C_D



NUMERO DE REYNOLDS (VD/ν)

Fig. 3.1 Coeficiente de Arrastre

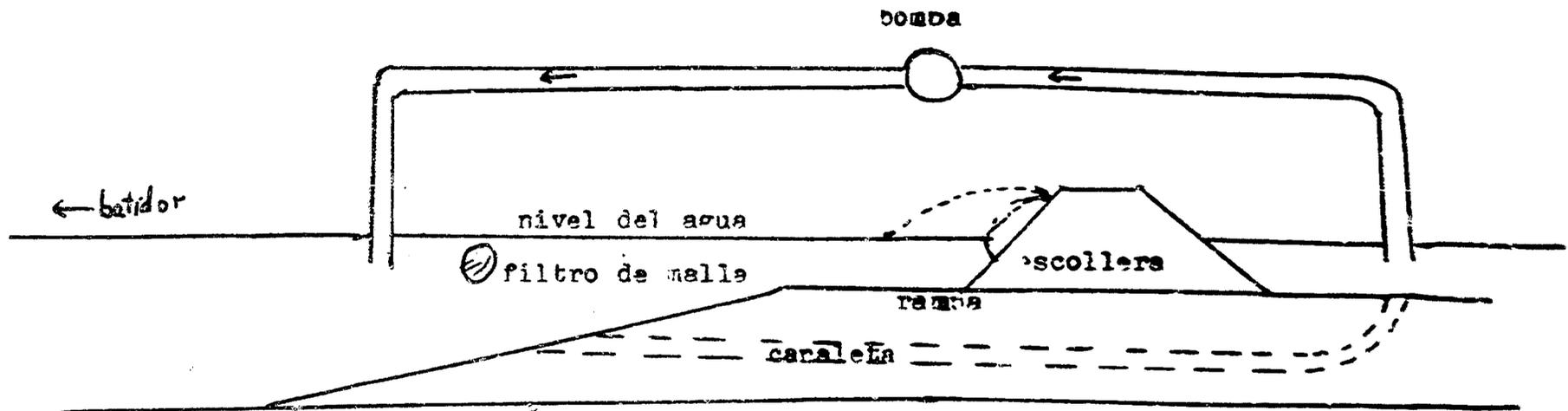


Fig. 4.1 Ubicación de la escollera en las pruebas

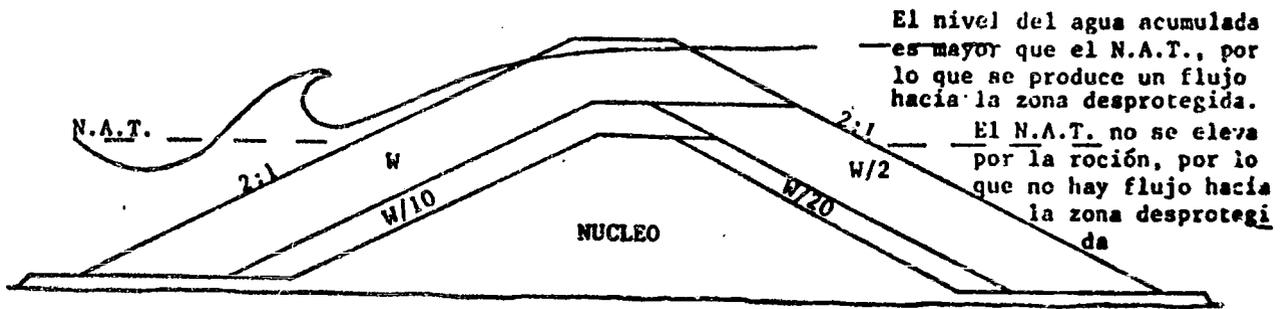


Fig 4.2 Secci6n transversal de la escollera de enrocamiento con elementos de coraza en la corona.

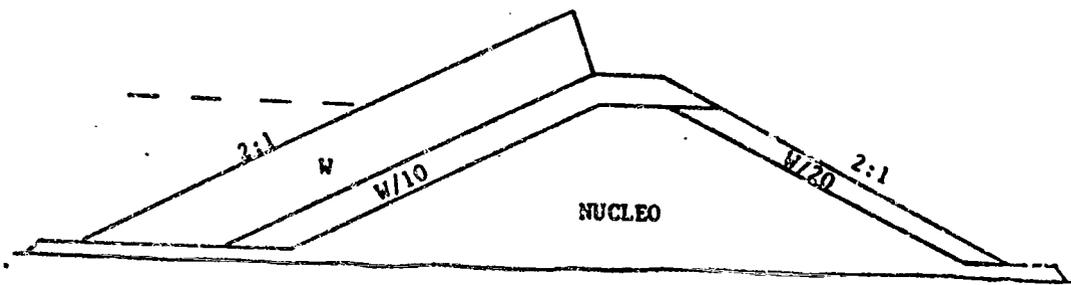


Fig 4.3 Secci6n transversal de la escollera sin elementos de coraza en la corona, NAT + 0.0y + 1.1 s.n.m.m.

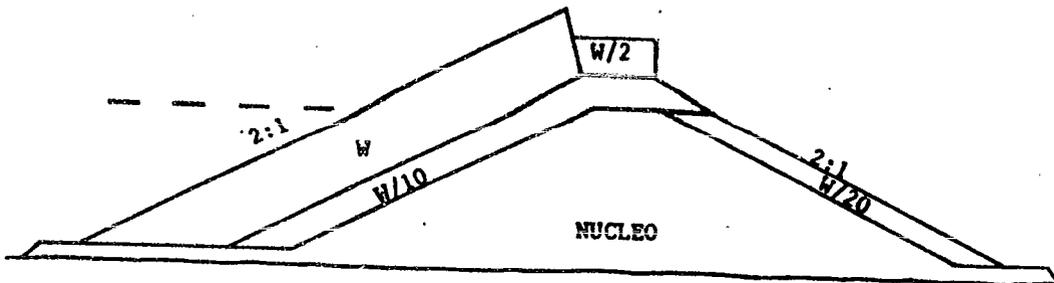


Fig 4.4 Secci6n transversal de la escollera con una capa de elementos de coraza de peso W/2 en la corona.

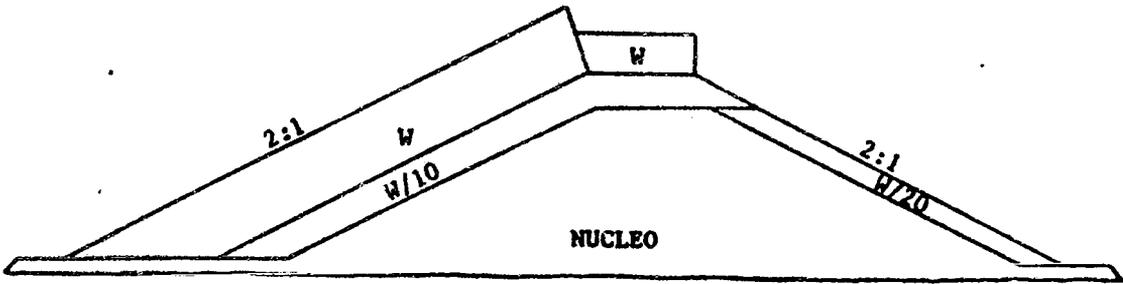


Fig 4.5 Alternativa con una capa de elementos de coraza de peso W en la corona.

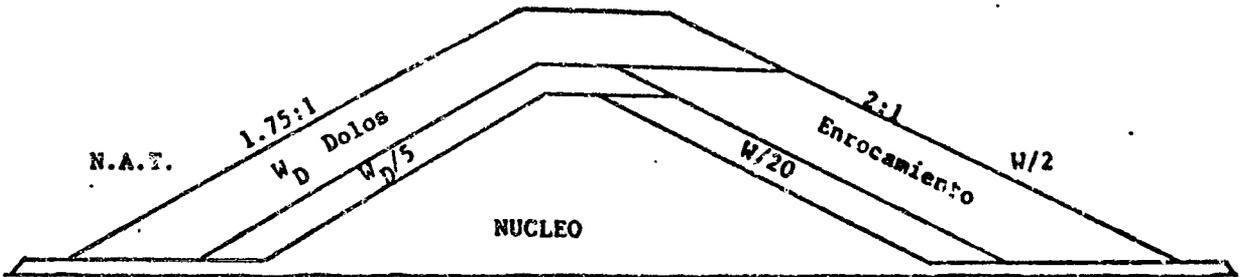


Fig 4.6 Sección transversal de la escollera con coraza de dolos y enrocamiento.

Figura 4.7

$T = 8.45 \text{ seg}$

$K_1 = 11$

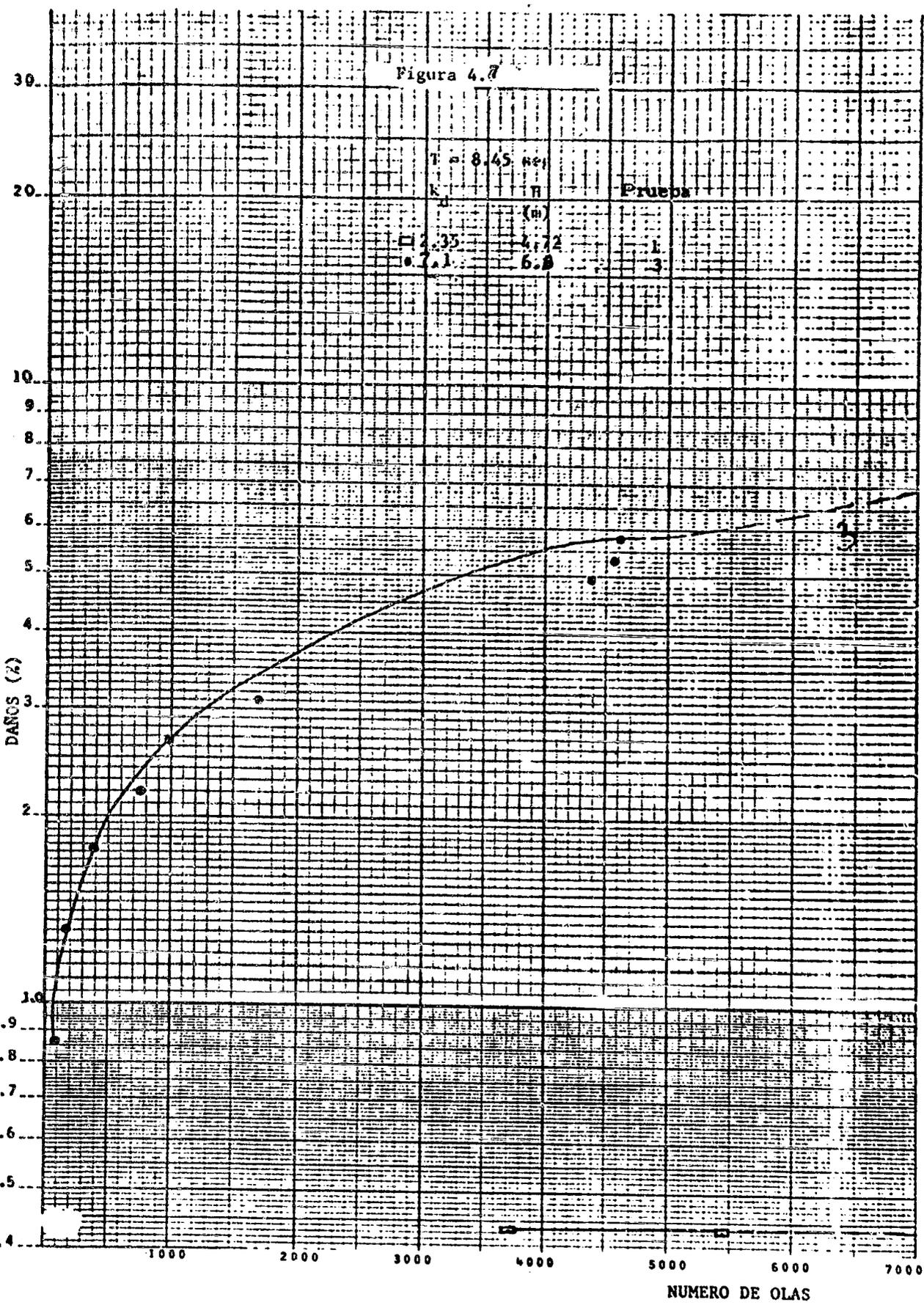
Prueba

$\square 2.35$ $\square 4.72$

$\bullet 2.1$ $\bullet 6.8$

1

3



NUMERO DE OLAS

Figura 4.8

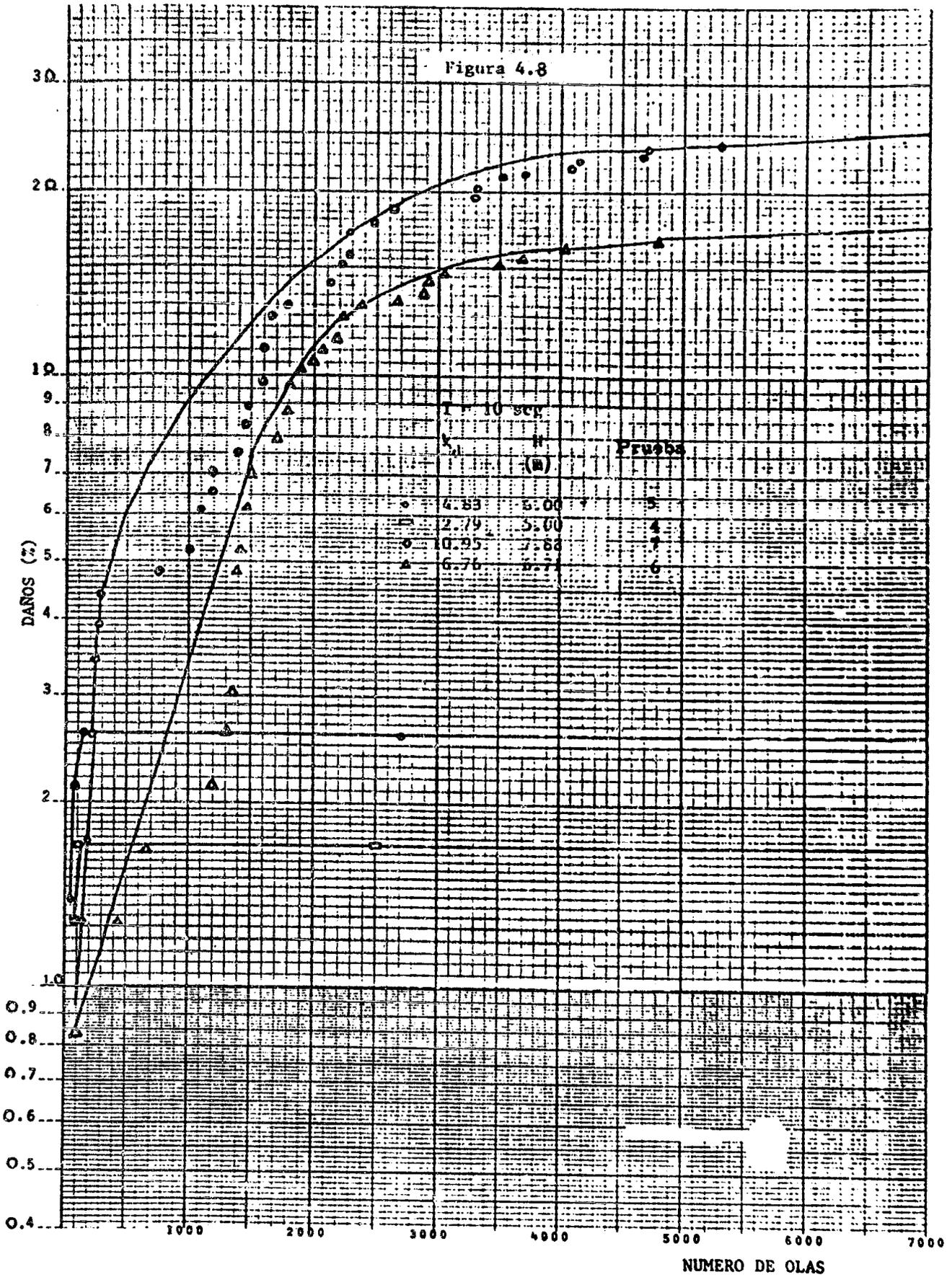


Figura 4.9

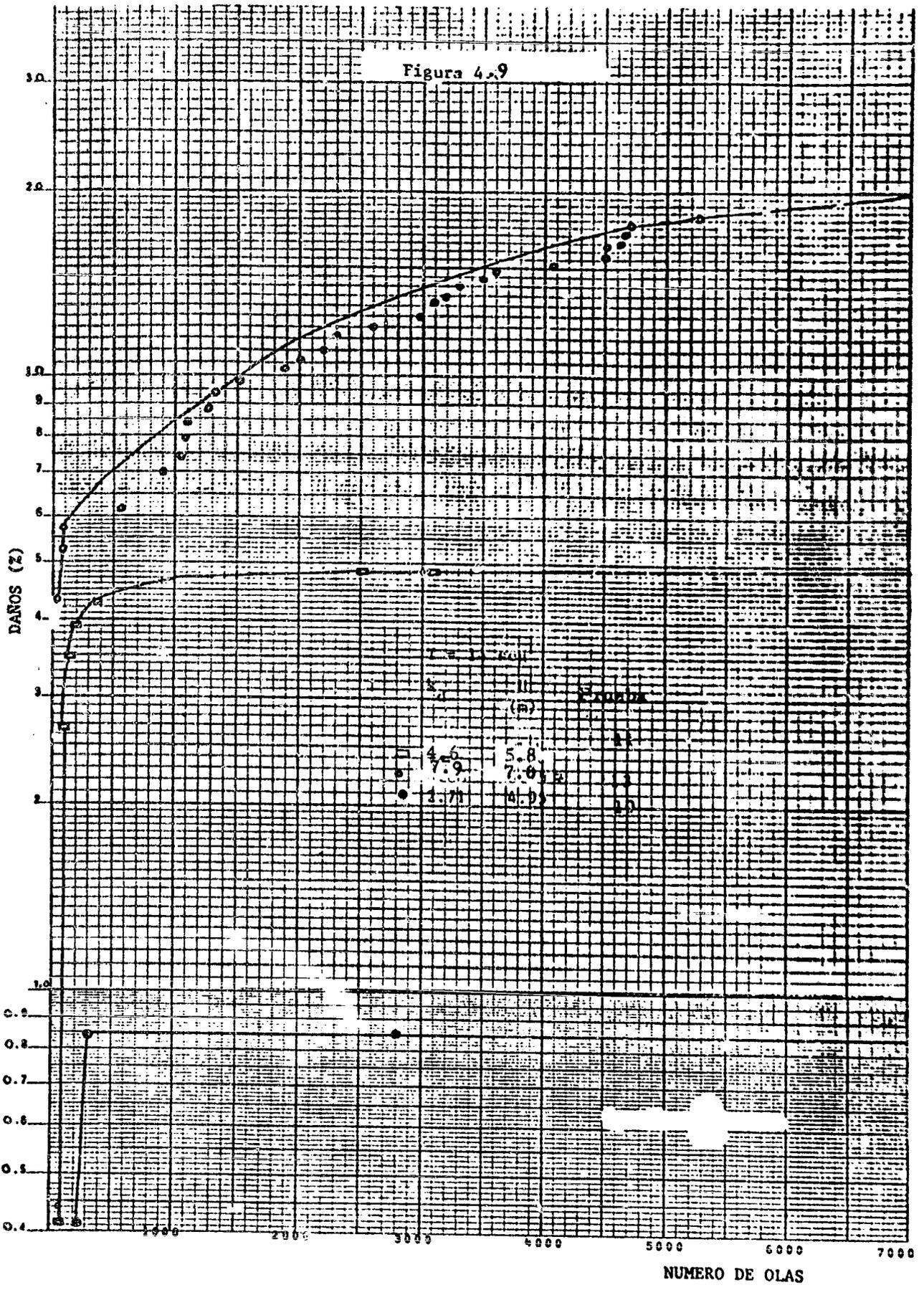
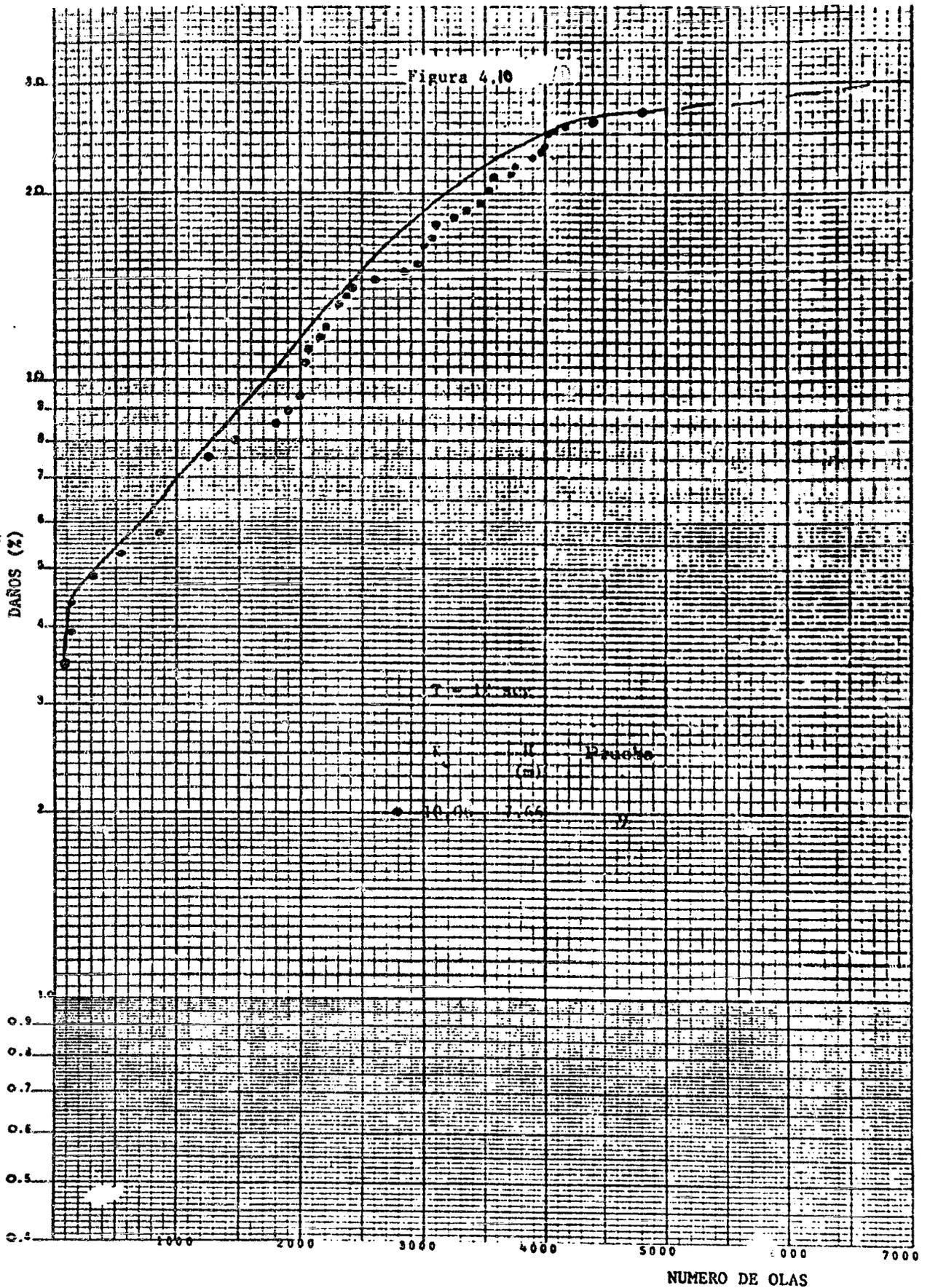
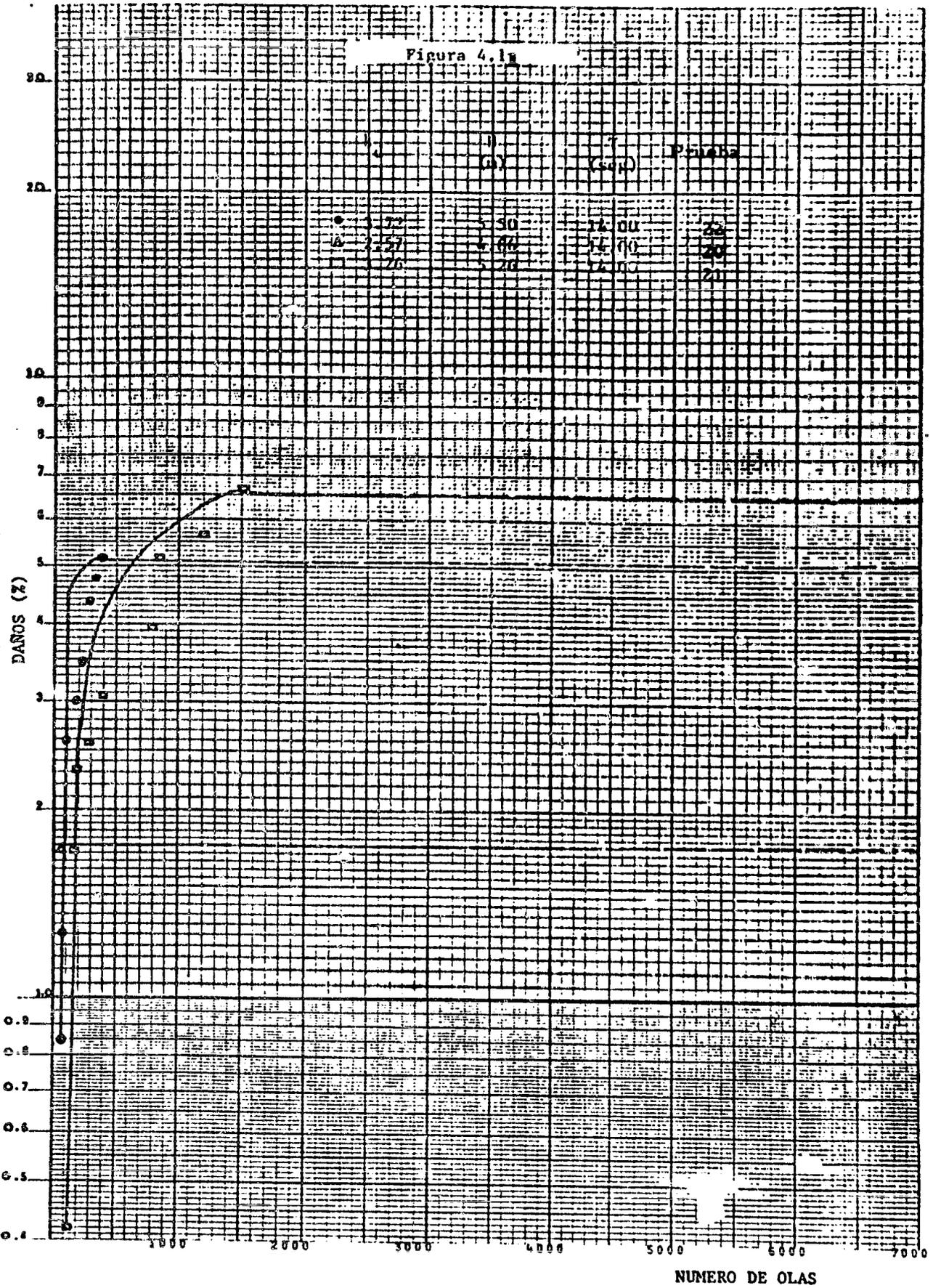


Figura 4.10



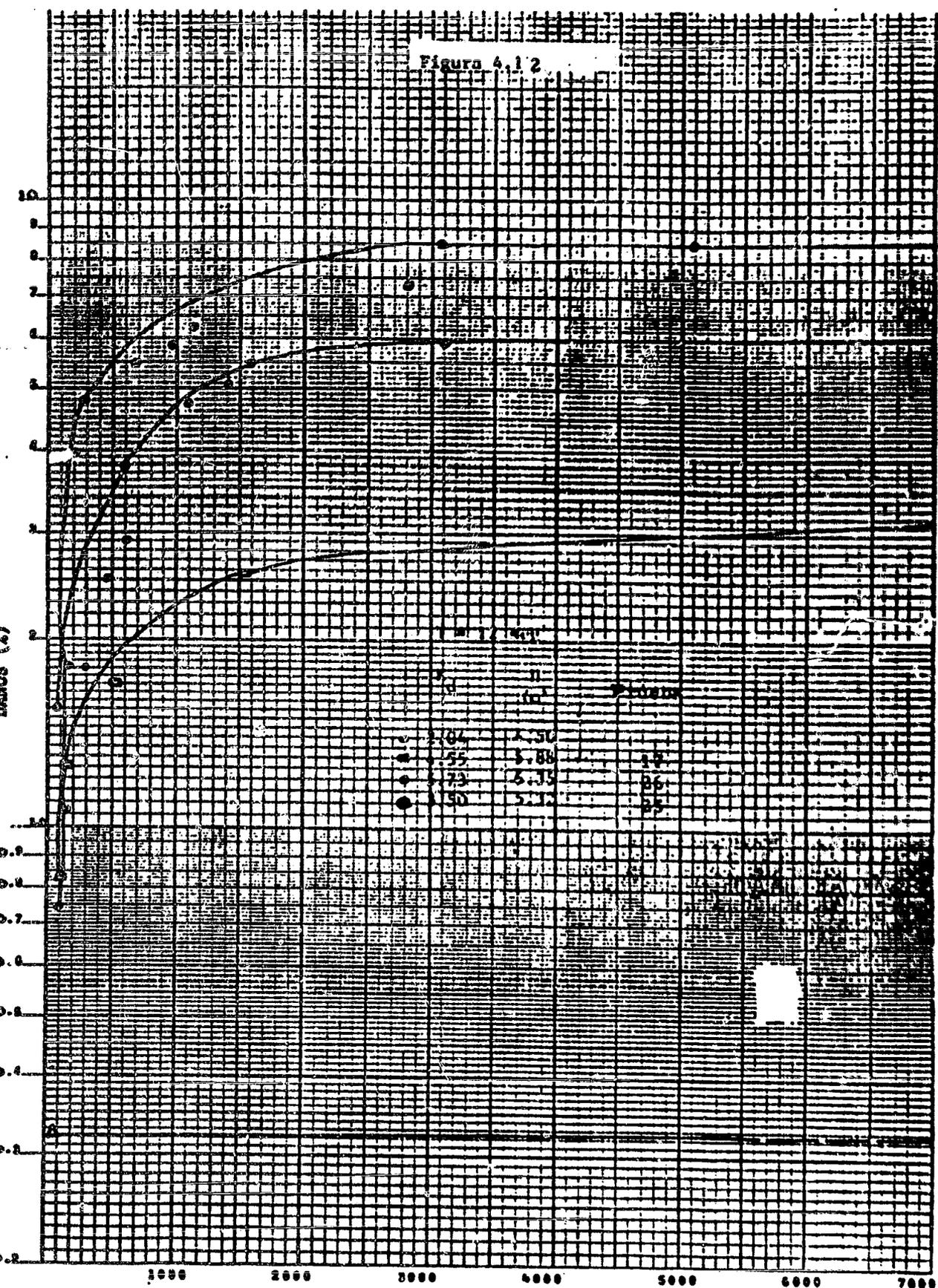
NUMERO DE OLAS

Figura 4.1a



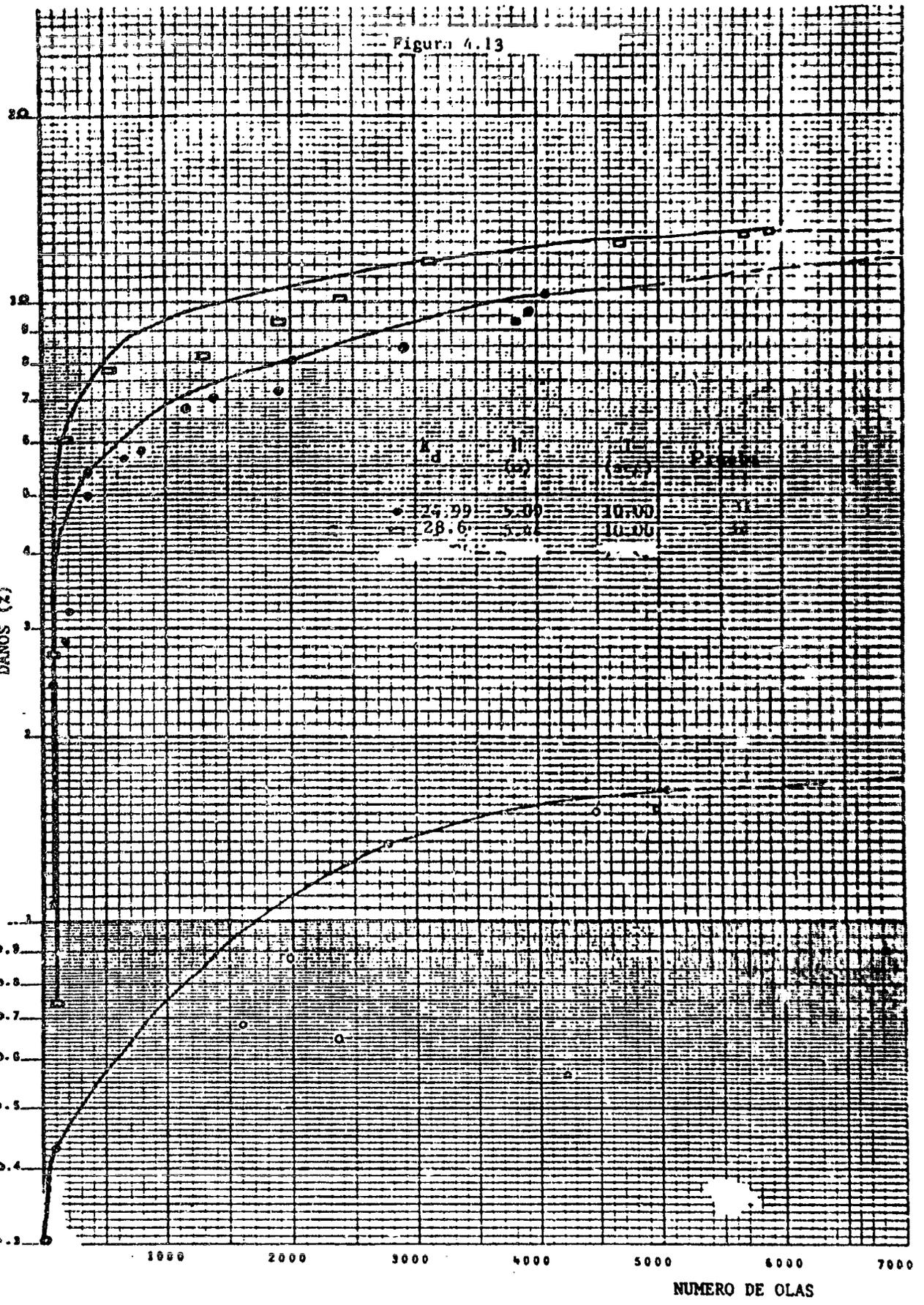
NUMERO DE OLAS

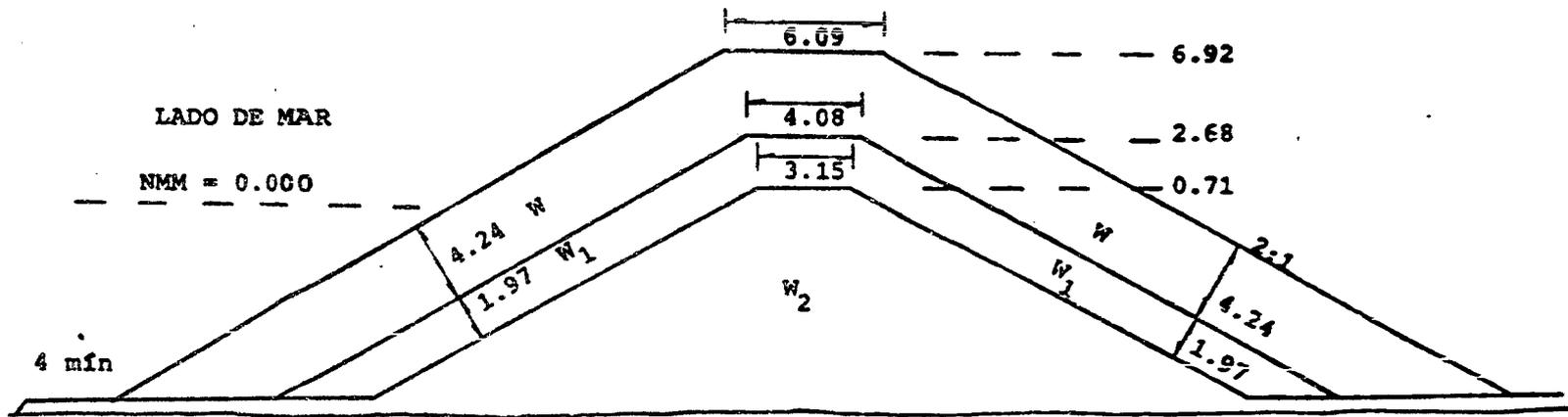
Figura 4.12



NUMERO DE OLAS

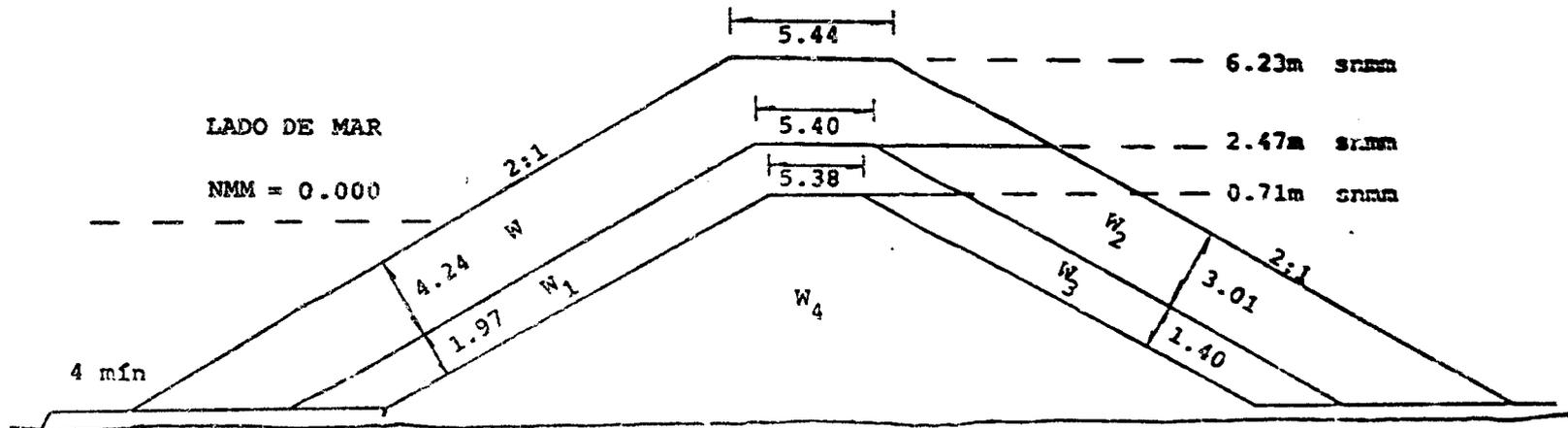
Figura 4.13





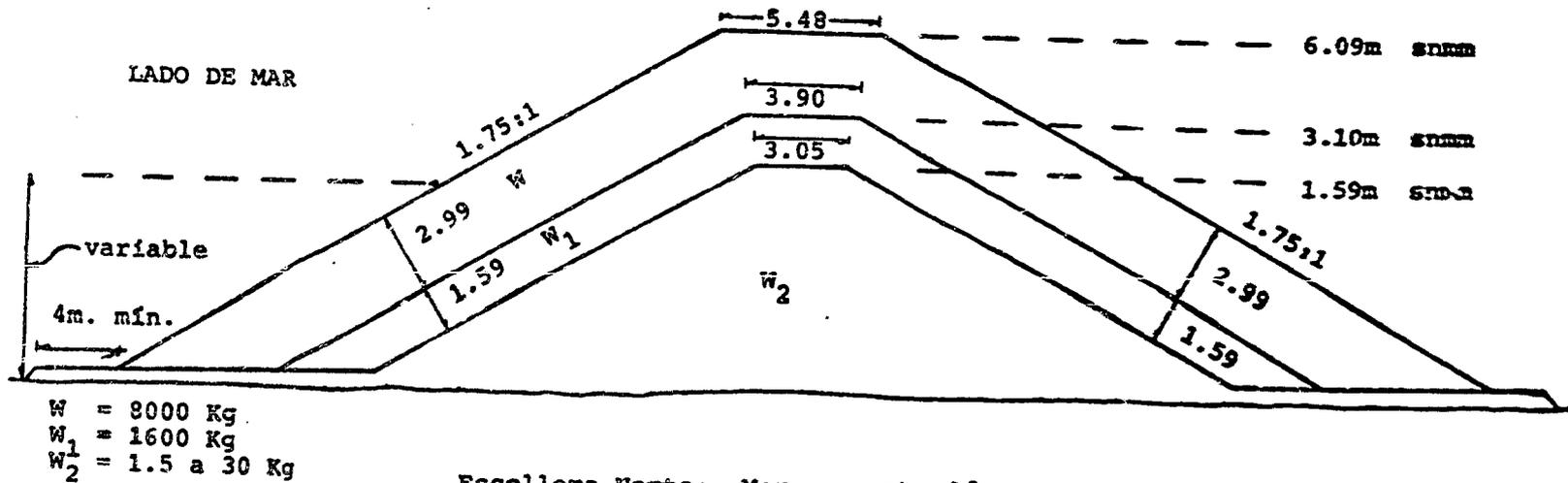
$W = 16600 \text{ Kg}$
 $W_1 = 1660 \text{ Kg}$
 $W_2 = 4 \text{ a } 83 \text{ Kg}$

Escollera Norte: Morro construido con enrocamiento



$W = 11900 \text{ Kg}$ $W_3 = 60 \text{ Kg}$
 $W_1 = 1190 \text{ Kg}$ $W_4 = 3 \text{ a } 59 \text{ Kg}$
 $W_2 = 5950 \text{ Kg}$

Fig. 5.1 Escollera Norte: Tronco construido con enrocamiento.



Esollera Norte: Morro construido con coraza de Dolos.

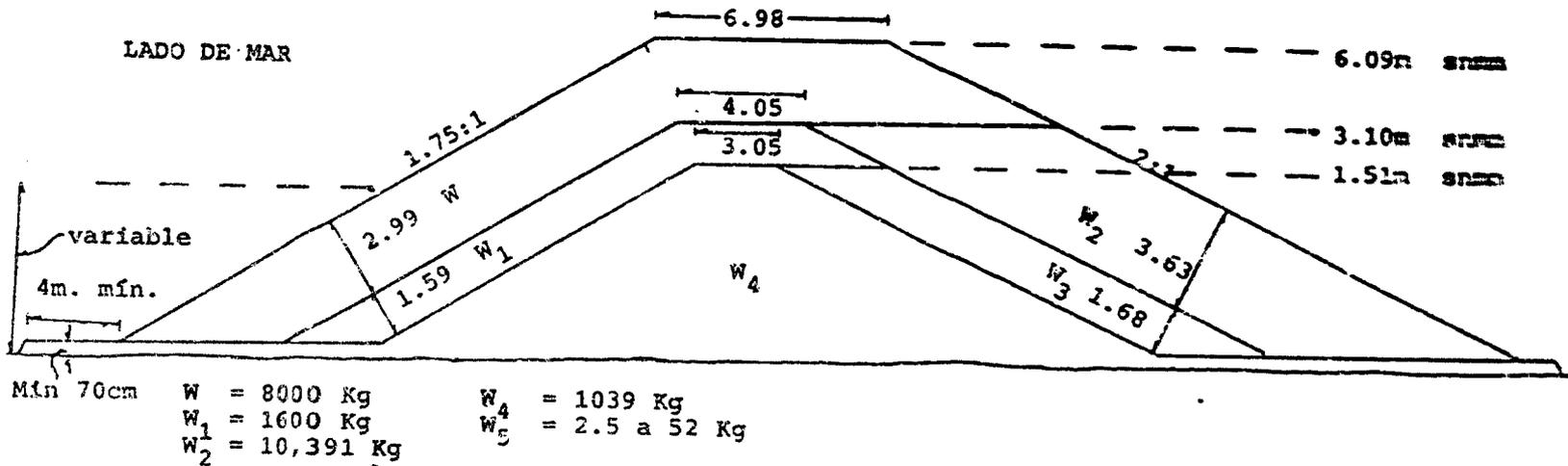


Fig 5.1 Esollera Norte: Tronco construido con Dolos y Enrocamiento