

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) U.S.B.R. "Canal Manual"
- (2) Schocklistsch "Arquitectura Hidráulica" (Tomo II)
- (3) Gómez Navarro "Saltos de Agua y Presas de Embalse" (Tomo I).
- (4) Etcheverry "Irrigation Practice and Engineering" (Tomo III).
- (5) Solano Vega V. "Socavación General y Socavación Local en ríos de Lechos Granulares Gruesos" - 1er. Congreso Nacional de Hidráulica, 1973.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

VII CONGRESO NACIONAL

USO DE DOLOS EN PROTECCION DE RIBERAS.
ESTUDIO EN MODELO HIDRAULICO.
APLICACION EN EL RIO CACHAPOAL.

JULIO PINEDA ARIAS (★)

RESUMENESTUDIO EXPERIMENTAL

En este trabajo se entregan los antecedentes y resultados de un estudio en modelo hidráulico, desarrollado con el objeto de analizar el comportamiento de dolos y enrocados, frente a un ataque tangencial y frontal de escurrimiento de un río.

Se han ensayado diferentes taludes de apoyo. Además se ha determinado la disposición y trabazón óptima de los dolos.

El modelo (escala 1:35 sin distorsión), permitió verificar las ventajas de los dolos, con respecto al enrocado, al ser sometido a las mismas exigencias hidráulicas de escurrimiento.

(★) Ingeniero Civil, Sección Obras Civiles de la Empresa Nacional de Electricidad S.A. (ENDESA).

Profesor Auxiliar de "Ingeniería Hidráulica" Universidad de Chile.

1. INTRODUCCION

El río Cachapoal durante los períodos de crecidas tiene una gran capacidad de arrastre, causando socavaciones en las riberas cercanas a obras de importancia para ENDESA.

Por tal motivo, periódicamente se deben proteger y reparar las riberas atacadas por el río.

El objetivo de este estudio consiste en analizar el uso de los dolos y enrocados bajo condiciones similares de escurrimiento. Se abordan dos problemas puntuales: protección del Sifón del Gringo (ataque frontal) y desviación del Estero Coya en su confluencia con el río Cachapoal (ataque tangencial).

La protección del Sifón del Gringo (figura Nº 2) se ubica a un costado del puente colgante que da acceso a los desarenadores de la Central Sauzal. La socavación producida ha puesto en peligro el camino, como asimismo se estima que de no protegerse en forma adecuada, las crecidas podrían afectar al Sifón que pesa unos 100 m aguas abajo.

La desviación del Estero Coya (afluente del río Cachapoal) es necesaria ya que durante sus crecidas impacta fuertemente en la ribera opuesta del río Cachapoal (figura Nº 2). Dicho fenómeno ha provocado socavaciones, las que pueden comprometer el Canal de Aducción. Una solución aceptable es construir una especie de espigón a la salida del estero, desviando el escurrimiento en el mismo sentido del río Cachapoal.

2. ANTECEDENTES DE LOS DOLOS

Los dolos son elementos de concreto usados como rompeolas desde hace unos 15 años. Ofrecen la ventaja que sólo necesitan de un quinto o un sexto del peso de la roca natural para resistir olas de igual altura.

Esto deriva del hecho que han sido diseñados para trabarse uno con otro, logrando un mejor efecto que la roca natural (Hydraulics Researchs Station, 1977). Ensayos realizados permiten obtener, entre otras, las siguientes conclusiones:

- a) La estabilidad decrece a medida que el ángulo de ataque aumenta, desde lo normal hasta cerca de los 60°. Esto es opuesto a lo que pasa en el enrocado.
- b) Cuando el dolo falla es repentino. Por esto, en el diseño es prudente incluir un coeficiente de seguridad grande.

En el caso del presente estudio, los dolos se ensayan ya no como rompeolas, sino como elementos de protección en riberas de río frente a un ataque frontal y a un ataque tangencial. No se encontraron antecedentes de aplicaciones de este tipo para los dolos.

3. ESTUDIO EXPERIMENTAL

3.1 Tipo de Modelo

El modelo que se ensaya es un "modelo sin distorsión", esto significa que no existe distorsión geométrica, de viscosidad, de peso específico del fluido, de peso específico del material ensayado y de fuerzas gravitacionales. Debe existir semejanza geométrica, cinemática y dinámica.

3.2 Escalas del Modelo

Se adopta una escala geométrica de longitud $\lambda_L=35$, con lo que se obtiene: escala de velocidad $\lambda_v=5,92$ y escalas de caudal $\lambda_Q=7247$ y $\lambda_g=52,5$.

3.3 Condiciones de Operación

Debe cumplirse la condición de que, tanto en el prototipo como en el Modelo, el escurrimiento sea del tipo turbulento rugoso. Es decir, los factores de resistencia hidráulica sean sólo función de la aspereza relativa del fondo e independientes del número de Reynolds.

El valor del número de Reynolds, que indica el comienzo de la turbulencia, depende del tipo de escurrimiento y de la aspereza o rugosidad relativa. Por lo cual, mientras más rugoso sea el fondo, el régimen turbulento se presente antes y mientras más liso tarda más. Se trabaja entonces, en el modelo, con una aspereza relativa tal que cumpla las condiciones de turbulencia ($k_s = 3 \text{ mm}$).

Con dicha aspereza relativa, y considerando como pendiente más desfavorable en los ensayos un valor de 0,1%, se llega a un Reynolds con respecto a la aspereza de 71. Se sabe que para valores mayores que 70 el flujo es turbulento rugoso.

Debe destacarse que la gran mayoría de las pendientes estudiadas son mayores que 0,1%, cumpliéndose la condición de flujo turbulento en el modelo. Esta condición se cumple en el prototipo.

Otra condición importante que se debe respetar es la constancia del número de Froude. Se puede demostrar que manteniendo las condiciones de modelo sin distorsión, el número de Froude es el mismo tanto en el modelo como en el prototipo.

3.4 Instalación Experimental

La instalación experimental se muestra en la figura

Nº 1. Consiste en una plataforma de 12 m de largo y 3 m de ancho de madera y pendiente variable. Sobre ella se simuló la geometría de las dos zonas por estudiar, las que se muestran en la figura Nº 2.

En las experiencias se usa una bomba de 90 lt/seg. Para controlar el gasto se dispone de un vertedero triangular de pared delgada. Dicho vertedero deja caer el agua a un aquietador, para pasar de ahí al canal de experimentación en cuya salida se ubican las dos disposiciones fundamentales que se estudian.

El talud de apoyo, para el enrocado y los dolos, es de arena y va cubierto con filtro geotextil.

3.5 Dimensionamiento del enrocado ensayado

Se eligen tres pesos medios de enrocados (300 Kg, 800 Kg y 1.300 Kg). Este debe cumplir las siguientes exigencias :

- a) - El peso específico no debe ser inferior a 2,5 T/m³
 - Las rocas deben ser duras. No son aceptables rocas laminadas, porosas, fracturadas o con otras fallas físicas.
 - Deben ser angulosas (de cantera). En el modelo se usa material chancado, no aceptándose rocas con cantos rodados.
 - El coeficiente de forma debe ser tal que la razón entre la dimensión más grande y la más pequeña de cada roca sea inferior a 3.
- b) Curva granulométrica
 - Curva 1 : Peso crítico o nominal (W_c) comprendido entre 500 y 800 Kg.

% Material	Peso (Kg)
100%	1/2 Wc
50-100%	Wc
100%	2 Wc

- Curva 2 : Peso crítico o nominal (Wc) comprendido entre 30 y 500 Kg.

% Material	Peso (Kg)
100%	1/4 Wc
50-100%	Wc
100%	2 Wc

Los pesos nominales y diámetros que se adoptan para el modelo, de acuerdo a la escala elegida, se presentan en el cuadro siguiente :

DIMENSIONES DEL ENROCADO ENSAYADO

Peso Prototipo	PESO MODELO			DIAMETRO MODELO		
	Peso Med.	Peso Máx.	Peso Mín.	D. Med.	D. Máx.	D. Mín.
Wc (Kg)	gr	gr	gr	gr	gr	gr
300	7.0	14.0	1.8	1.7	2.2	1.1
800	18.6	37.2	9.3	2.4	3.0	1.9
1.300	30.3	60.6	15.2	2.8	3.5	2.2

En la confección de la curva granulométrica se acepta un error de un 5% en los límites inferior y superior. Las curvas granulométricas se presentan en la figura Nº 3.

3.2 Tamaño de los Dolos

Se utilizan dolos con un alto de 1,5 m y peso aproximado de 1.300 Kg, coincidente con la rocas de mayor tamaño

ensayadas. De acuerdo con las escalas adoptadas, el dolo modelo pesa 29 grs y mide 4,3 cm de alto.

Para una mejor trabazón se le ha dado un ángulo de 6º a cada uno de los brazos. Para compensar el efecto del ángulo y hacer más fácil la colocación, se ha alargado el cuerpo en 10 cm. En la figura Nº 4 se presenta un dolo en planta perfil.

3.7 Método Experimental

El método experimental seguido es diferente para cada una de las zonas analizadas. Por tal motivo, es necesario dividir este punto en dos partes :

a) Protección Sifón del Gringo

Se analizan diferentes pendientes para el talud de apoyo, a saber : 1,5 : 1; 2 : 1; 2,5 : 1 (H/V). Además se pretende determinar hasta donde alcanza la zona crítica de ataque.

Los dolos se ensayan en diferentes posiciones, buscando cual de todas es la más estable.

Los enrocados que se ensayan corresponden a los tres pesos determinados.

b) Confluencia Estero Coya con Río Cachapoal

Por condiciones de espacio en el prototipo se ensaya con talud 1,5 : 1 y 1 : 1. El espigón para desviar el Estero Coya se aprueba con un ángulo de 25º con respecto a su eje y una longitud de 60 m.

En los ensayos se comparan dolos y roca de 1.300 Kg en condiciones normales de crecida y dolos bajo condiciones extremas (superiores a las condiciones normales de crecida).

Se verifica también el comportamiento con socavación al pie del talud.

Para cada condición de ataque, el caudal es incrementado hasta alcanzar las condiciones de crecida, verificándose en cada caso el punto de falla.

En los ensayos se controla con un limnómetro la altura del escurrimiento y con un tubo de Pitot la velocidad. La altura y perfiles de velocidad se toman en una sección aguas arriba del talud.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Protección Sifón del Gringo

Para talud 2 : 1 y 2,5 : 1, los resultados son comparables entre los dolos y el enrocado de 1.300 Kg.

Con talud 1,5 : 1 los dolos presentan claras ventajas, ya que ninguno es arrastrado por la corriente y el enrocado falla aproximadamente en un 20%.

Los enrocados de 800 y 300 Kg no dan buenos resultados con ninguno de los taludes ensayados.

El comportamiento de los dolos es mejor si se ubican siguiendo el sentido del escurrimiento en forma ordenada (figura Nº 5).

La zona crítica de arrastre se prolonga hasta unos

10 m del borde de la puntilla. Desde este punto hacia atrás es posible poner roca de 300 Kg con cualquiera de los taludes analizados. (Figura Nº 2).

En la figura Nº 6a se presenta un gráfico con los puntos ensayados, en que : h es la altura del escurrimiento, D el diámetro medio del enrocado y h' la altura del dolo.

4.2 Confluencia Estero Coya con Río Cachapoal

La solución de los dolos es claramente ventajosa con respecto al enrocado de igual peso.

Tal como en el caso anterior deben ir ordenados siguiendo el sentido del escurrimiento.

Las soluciones de enrocado no dan resultados satisfactorios. Todas fallan antes que el escurrimiento alcance las condiciones de crecida de diseño.

Cuando existe socavación al pie, los dolos deslizan en un sólo bloque; en cambio el enrocado es arrastrado por la corriente.

Los dolos se comportaron satisfactoriamente incluso en condiciones extremas de escurrimiento. Aceptando sin falla velocidades de 1,4 m/s (8,3 m/s en prototipo) y altura de 10 cm (3,5 m en prototipo).

En talud 1 : 1, con velocidad media 1,3 m/s el enrocado falla en su totalidad en cambio ni un sólo dolo es arrastrado por la corriente.

En la figura Nº 6b se representan gráficamente los ensayos realizados, en que : h es la altura de escurrimiento, D el diámetro medio del enrocado y h' la altura del dolo.

4.3 Conclusiones generales

La solución propuesta presenta ventajas apreciables con respecto a enrocados de igual peso, en condiciones de ataque tangencial y ataque frontal de escurrimiento.

Se puede colocar en zonas donde no es posible tener taludes de baja pendiente, compatible con la estabilidad de la roca, ya que el comportamiento es igualmente bueno incluso en taludes 1 : 1.

Es una buena alternativa cuando se requiere roca de gran tamaño y ella no existe en lugares cercanos.

Sólo es necesaria una capa de dolos, en cambio para lograr un buen resultado con el enrocado, se necesita tener dos capas de roca.

El rendimiento de los dolos es de aproximadamente 1,8 dolos/m² en un talud 1,5 : 1.

El costo de cada dolo de 1,5 m de alto y 1.300 Kg de peso es de unos \$ 4.800 incluyendo moldaje metálico y aditivos que permitan desmoldar en pocos días.

En el diseño de los dolos se ha recomendado un hormigón tipo D. En caso de presentarse problemas de abrasión, sería necesario modificar su dosificación por una más adecuada.

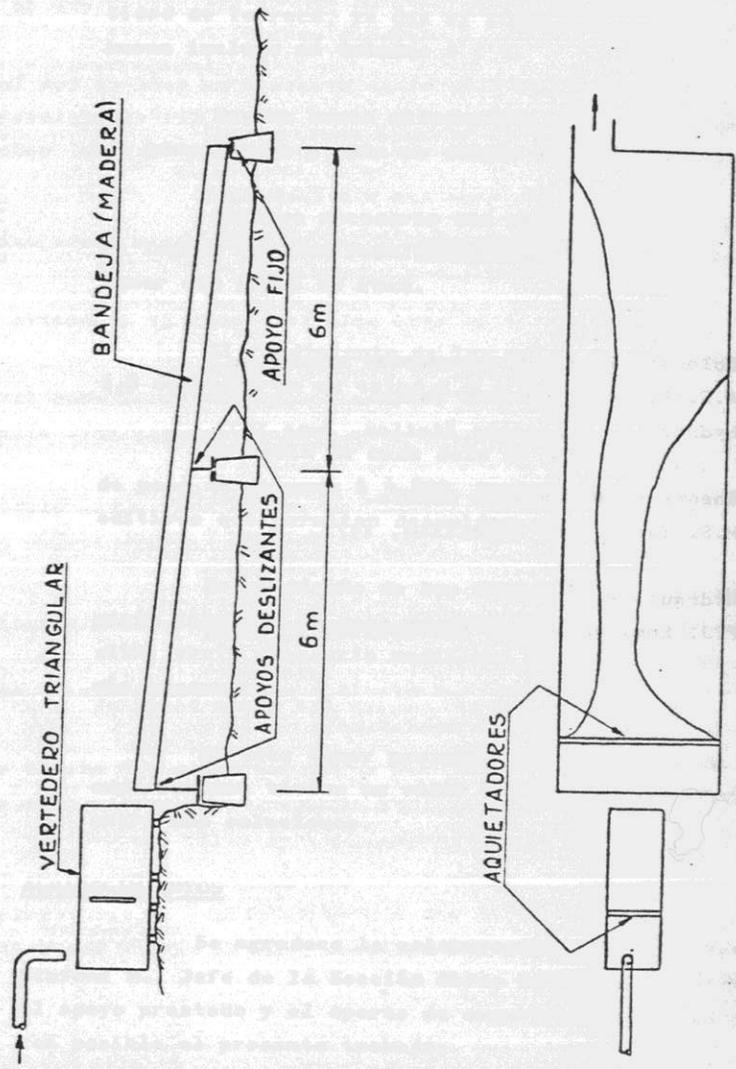
Se debe tener presente que el resultado de estas experiencias tienen un valor principalmente comparativo entre dos soluciones.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración del Ingeniero Sr. Tito Stefoni M., Jefe de la Sección Obras Civiles de la ENDESA, por el apoyo prestado y el aporte de sugerencias e ideas que hicieron posible el presente trabajo.

BIBLIOGRAFIA

1. Dolosse blocks as breakwater armouring.
A.F. Willock and W.A. Price.
Hydraulics Researchs Station, June 1977.
2. Theory of Hydraulics Models.
M.S. Yalin, Ed. Macmillan, 1971.
3. Hidráulica
F.J. Domínguez, Ed. Universitaria, 1974.



INSTALACION EXPERIMENTAL

FIGURA N°1

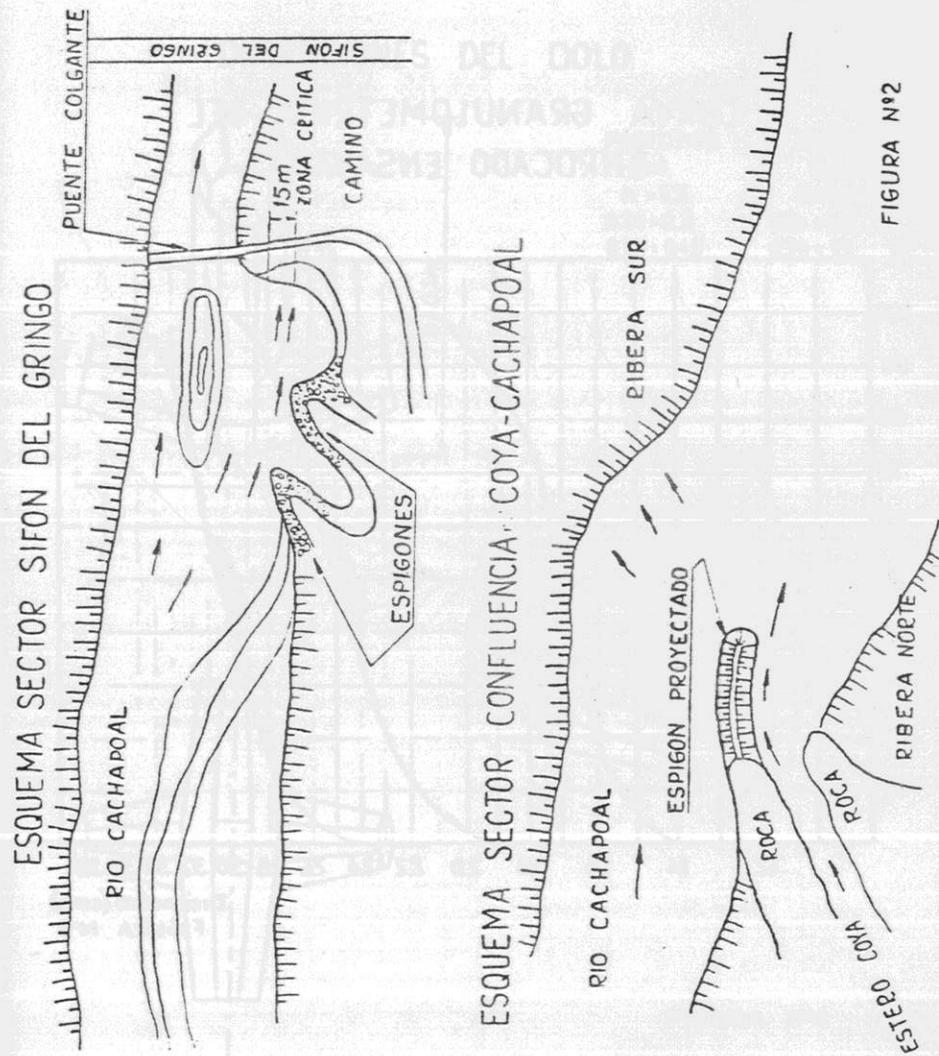
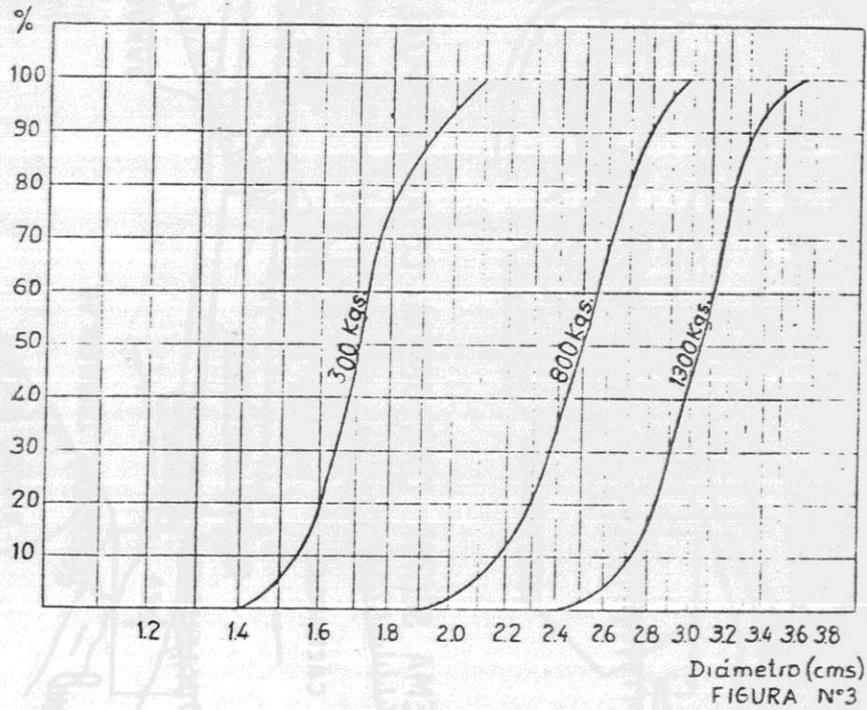
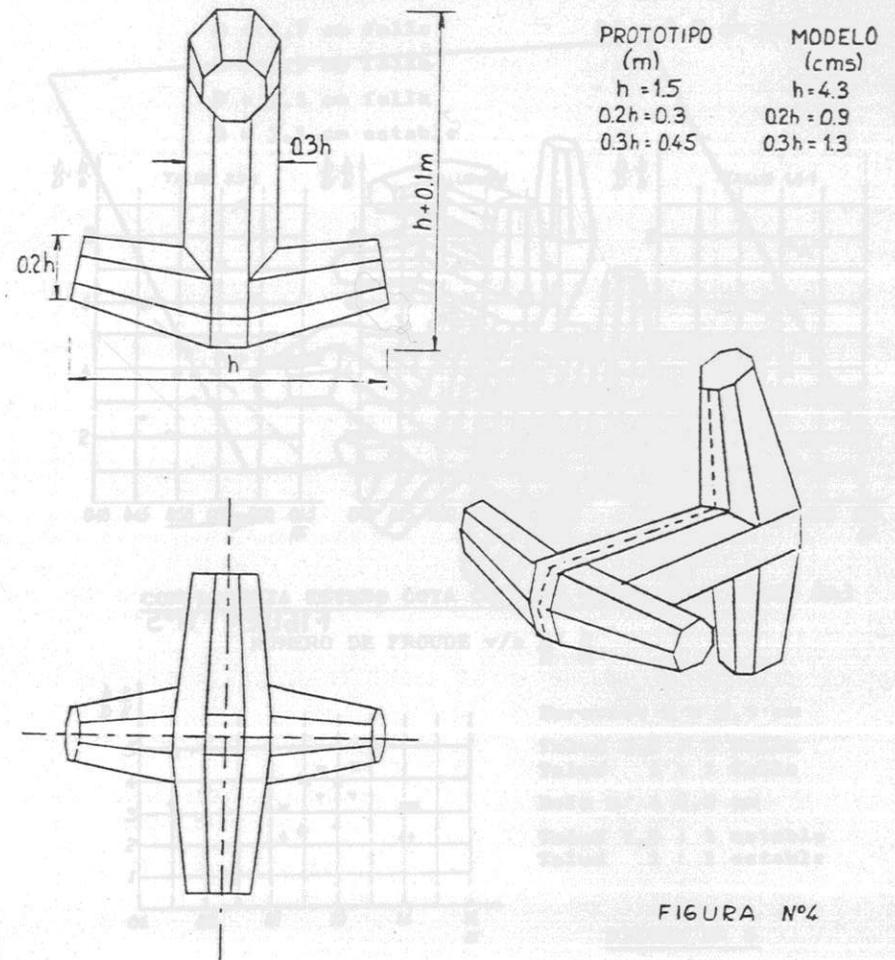


FIGURA N°2

CURVA GRANULOMETRICA DEL ENROCADO ENSAYADO



DIMENSIONES DEL DOLO



DISPOSICION DE DOLOS EN EL TALUD

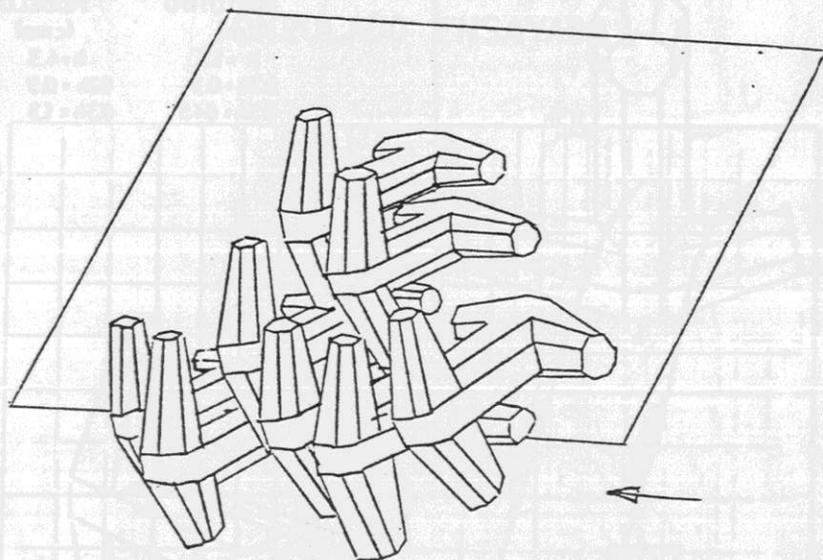


FIGURA N°5

PROTECCION SIFON DEL GRINGO (FIG. 6a)

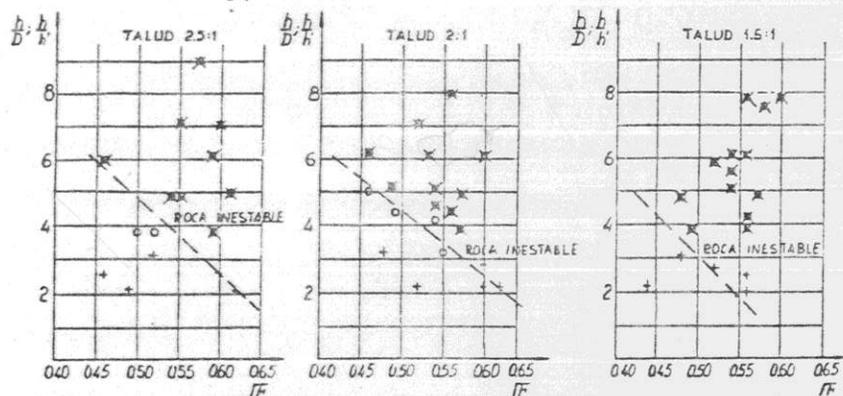
NUMERO DE FROUDE $v/s \frac{h}{D} ; \frac{h}{h'}$

Enrocado

- D = 1,7 cm falla
- D = 2,5 cm falla
- D = 3,1 cm falla
- D = 3,1 cm estable

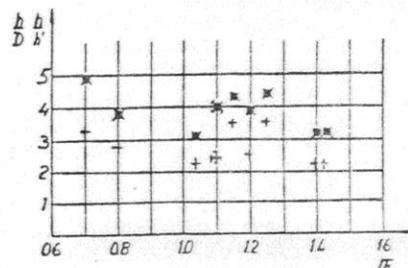
Dolo

$h' = 4,2$ cm estable.



CONFLUENCIA ESTERO COYA CON RIO CACHAPOAL (FIG. 6b)

NUMERO DE FROUDE $v/s \frac{h}{D} ; \frac{h}{h'}$



- Enrocado $D = 3,1$ cm
- Talud 1,5 : 1 falla
- Talud 1 : 1 falla
- Dolo $h' = 4,2$ cm
- Talud 1,5 : 1 estable
- Talud 1 : 1 estable

FIGURA N° 6