

Componente de fallo gradual del manto principal de los diques de escollera (*)

Por Prof. P. S. BORES

Catedrático de Puertos
E. T. S. de Ingenieros de Caminos, C. y P.

Se introduce la metodología de la FUNCION CRITICA de la COMPONENTE DE FALLO GRADUAL DEL MANTO PRINCIPAL DE LOS DIQUES DE ESCOLLERA, destacando el perfecto ajuste de la experimentación realizada.

COMPORTAMIENTO DEL MANTO PRINCIPAL A LA ACCION DEL OLEAJE. MODELO MATEMATICO

Aspecto fundamental del ANALISIS DE FIABILIDAD DE UN SISTEMA DE ESTABILIDAD, es la determinación de las HIPERSUPERFICIES CRITICAS DE FALLO, PARCIAL y/o TOTAL, correspondientes a cada una de las COMPONENTES DEL SISTEMA.

Con este objeto y para reducir en lo posible la experimentación es importante la formulación de modelos matemáticos, que relacionen el mayor número posible de VARIABLES y/o PARAMETROS —variables con dispersión muy pequeña, prácticamente despreciable—.

Por su situación dentro del conjunto granular formado por el manto principal de los diques de escollera cabe clasificar a los cantos en SUPRAYACENTES e INFRAYACENTES, denominando suprayacentes a aquellos que gravitan sobre los demás, sin recibir empuje alguno del resto de los cantos, e infrayacentes a aquellos que soportan el empuje de otro u otros cantos, supra o infrayacentes.

Si la pendiente del conjunto granular es muy tendida al empuje hidrodinámico originado por la circulación del fluido, que se mueve ASCENDIENDO y PENETRANDO en él, separará de su posición a aquellos cantos cuyo MOMENTO DE ESTABILIDAD sea inferior al MOMENTO HIDRODINAMICO producido por el movimiento del fluido.

En los diques de escollera con cota de coronación del manto principal suficiente los cantos desplazados del conjunto granular se acumulan

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista, hasta el 30 de junio de 1979.

formando una berma, que se sitúa a cota superior a la del nivel medio del mar, en donde la energía cinética del fluido, parcialmente convertida en energía potencial y parcialmente anulada por el movimiento del fluido sobre el manto, ya no es capaz de mantener el transporte de los cantos.

Cuando el talud es muy rígido la extracción de los cantos se realiza durante el retorno de la vena líquida, que fluye DESCENDIENDO Y SALIENDO del conjunto granular. Si la pendiente no es excesiva los cantos llegan a formar, como en el caso anterior, una berma, situada ahora por debajo del nivel medio, lo que produce en las inmediaciones del nivel medio una suavización del talud.

Tanto la rigidización del talud en el primer caso, durante el avance de la vena líquida, como la suavización en el segundo, durante el retroceso de la misma, tienden a dar a la parte del manto afectada por las averías un talud único, denominado por Iribarren (1965), TALUD CRITICO.

Tanto con EQUILIBRIO HACIA ARRIBA, primer caso, como con EQUILIBRIO HACIA ABAJO, segundo caso, las componentes de las fuerzas hidrodinámicas están dirigidas a lo largo y normalmente al talud hacia arriba y hacia adentro en el primer caso y hacia abajo y hacia afuera en el segundo.

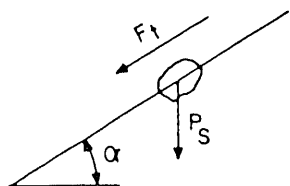
A estas fuerzas hidrodinámicas se oponen las fuerzas de gravedad, propias del canto, y las de interacción, en su caso, con otros cantos.

Los numerosos investigadores que han tratado de obtener FORMULAS para la determinación del PESO DE LOS CANTOS del manto principal de los diques de escollera, Castro (1934), Iribarren (1938), Hudson (1952), Larras (1952), Hedar (1953), etc., como muestra la tabla adjunta (figura 1), han considerado diversas combinaciones de estas fuerzas o de sus componentes.

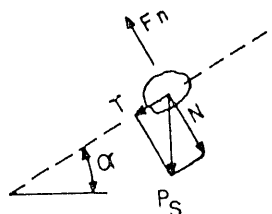
COMPONENTE DE FALLO GRADUAL DEL MANTO PRINCIPAL DE LOS DIQUES DE...

ESQUEMA DE FUERZA MANTO DIQUES DE ESCOLLERA

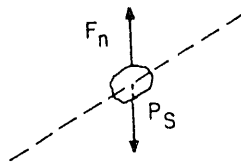
CASTRO
(1933)



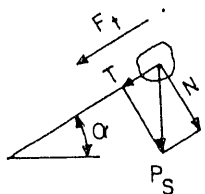
IRIBARREN
(1938)
(1950) TALUDES
SUMERGIDOS



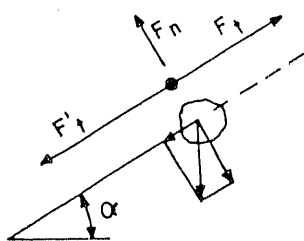
LARRAS
(1952) TALUDES
SUMERGIDOS



IRIBARREN y NOGALES
(1952)



HEDAR
(1953)



HUDSON
(1959)



IRIBARREN
(1965)

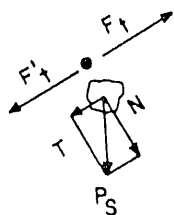


Figura 1.

Haciendo recurso del teorema de Barillon y denominado (T) y (N) a las proyecciones del peso sumergido, (W_s), (F_T) y (F_N) a las proyecciones de las fuerzas hidrodinámicas, (I_T) y (I_N) a los brazos de palanca según la tangente y la normal respectivamente y (Δl) a la proyección de la distancia entre el punto de aplicación de la fuerza (F) y el del peso (W_s), después de trasladar la fuerza (F) al centro de gravedad del canto, cuando el movimiento del fluido es hacia arriba tenemos,

$$(F_T - T) I_T + F \Delta l = (N + F_N) I_N$$

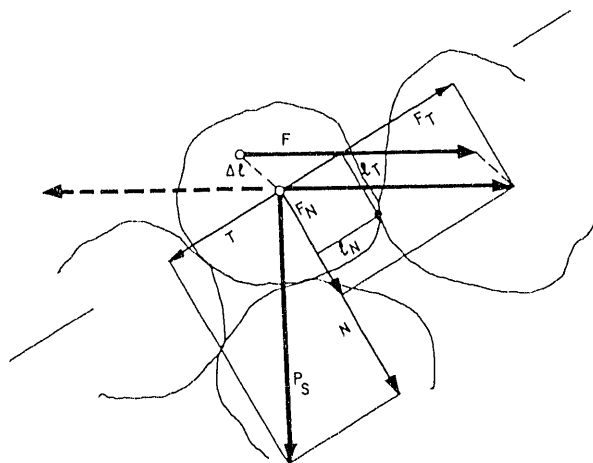


Figura 2.

y cuando el movimiento es hacia abajo,

$$(F_T + T) I_T + F \Delta l = (N - F_N) I_N$$

Ambas expresiones pueden ser escritas en la forma general

$$(1) \quad F_T \mp T = f(N \pm F_N) - \Delta f F$$

COMPONENTE DE FALLO GRADUAL DEL MANTO PRINCIPAL DE LOS DIQUES DE...

en donde

$$f = I_N / I_T$$

es la tangente del ángulo de estabilidad del canto (β), Hedar (1960), y

$$\Delta f = \Delta I / I_T$$

Según puede fácilmente apreciarse en la figura 2,

$$(2) \quad \begin{aligned} T &= W_s \text{ sen } \alpha \\ N &= W_s \text{ cos } \alpha \\ F_T &= F \text{ cos } \beta \\ F_N &= F \text{ sen } \beta \end{aligned}$$

siendo (α) el ángulo del talud del manto principal.

Eliminando las componentes de las fuerzas (T), (N), (F_T) y (F_N) entre las expresiones (1) y (2) y ordenando resulta inmediatamente

$$(3) \quad \frac{W_s}{F} = \frac{\text{cos } \beta \mp f \text{ sen } \beta - \Delta f}{f \text{ cos } \alpha \pm \text{sen } \alpha}$$

Las fuerzas hidrodinámicas, (F), originadas por la circulación de un fluido sobre un sólido aislado y cerca del contorno vienen dadas por la suma de los efectos de forma, rozamiento superficial, inerciales y de sustentación. Los tres primeros tienen la dirección y sentido de la tangente de la trayectoria del fluido, mientras que el cuarto, el efecto de sustentación, es normal a ella y dirigido en el sentido de separación del canto del contorno. Además, los dos primeros suelen englobarse en un solo término, particularmente cuando el régimen es turbulento, como es, sin duda, el caso que nos ocupa.

Admitiendo entonces que para el canto situado en la capa superior del conjunto granular sea aplicable una formulación de la misma estructura que para el sólido aislado, aunque cambiando, lógicamente, los coeficientes, y siendo (δ) el ángulo formado por la fuerza (F) con la tangente a la línea de corriente en el punto de aplicación de aquélla, podemos escribir —véase, por ejemplo, Schlichting (1960)—,

$$F \text{ cos } \delta = \frac{1}{2} \rho C_D S u^2 + \rho C_M \nabla \frac{\partial u}{\partial t}$$

y

$$F \text{ sen } \delta = \frac{1}{2} \rho C_L S u^2$$

en donde

C_D , C_M y C_L son los coeficientes de arrastre, inercial y de sustentación, respectivamente.

S es la superficie del canto opuesta al movimiento.

∇ el desplazamiento, volumen sumergido del canto.

ρ la densidad del fluido.

Elevando al cuadrado las dos expresiones anteriores, sumando y extrayendo la raíz cuadrada se obtiene

$$F = \left| \frac{1}{2} \rho C_D S u^2 + \rho C_M \nabla \frac{\partial u}{\partial t} \right|^2 + \left| \frac{1}{2} \rho C_L S u^2 \right|^2 \Bigg|^{1/2}$$

que podemos escribir

$$F = \frac{1}{2} \rho C_D S u^2 \left| \left| 1 + \frac{\rho C_M \nabla \frac{\partial u}{\partial t}}{\frac{1}{2} \rho C_D S u^2} \right|^2 + \left| \frac{C_L}{C_D} \right|^2 \right|^{1/2}$$

y en forma funcional

$$(4) \quad F = \frac{1}{2} \rho C_D S u^2 \Phi \left\{ C_D, C_M, C_L, \frac{\nabla}{S}, u, \frac{\partial u}{\partial t} \right\}$$

Eliminando (F) y el peso sumergido

$$(5) \quad W_s = \nabla (\gamma_c - \gamma_a)$$

entre las expresiones (3), (4) y (5) y simplificando se obtiene

$$\frac{\nabla}{S} = C_D \frac{\gamma_a}{\gamma_c - \gamma_a} \Phi \left\{ C_D, C_M, C_L, \frac{\nabla}{S}, u, \frac{\partial u}{\partial t} \right\} \cdot \frac{\text{cos } \beta \mp f \text{ sen } \beta - \Delta f}{f \text{ cos } \alpha \pm \text{sen } \alpha} \frac{u^2}{2g}$$

Tanto la superficie del canto (S) como su desplazamiento (∇) pueden ser expresados en función de una longitud característica (l), que puede ser el diámetro de su circunferencia (o esfera) cir-

COMPONENTE DE FALLO GRADUAL DEL MANTO PRINCIPAL DE LOS DIQUES DE...

cunscrita, etc., en la forma

$$S = k_s l^2$$

$$\nabla = k_v l^2$$

en donde (k_s) y (k_v) son unos coeficientes, superficial y volumétrico respectivamente, dependientes de la forma del canto.

Sustituyendo (S) y (∇) en la expresión anterior se deduce inmediatamente

$$l = \frac{C_D k_s}{k_v} \frac{\gamma_a}{\gamma_c - \gamma_a} \Phi \left\{ \frac{\cos \alpha \mp f \sin \alpha - \Delta f}{f \cos \alpha \pm \sin \alpha} \frac{u^2}{2g} \right\}$$

y ya que, evidentemente, el peso de los cantos viene dado por

$$(7) \quad W = \gamma_c \nabla = \gamma_c k_v l^3$$

eliminando (l) entre las dos expresiones anteriores se obtiene

$$\left\{ \frac{W}{\gamma_c} \left| \frac{\gamma_c - \gamma_a}{\gamma_c} \right|^3 (f \cos \alpha_i \pm \sin \alpha_i)^3 \right\} \cdot \frac{k_v}{k_s} \frac{1}{\cos \beta \mp f \sin \beta - \Delta f} \frac{f \cos \alpha \pm \sin \alpha}{f \cos \alpha_i \pm \sin \alpha_i} \Bigg\}^3 = \psi_h \left\{ C_D, C_M, C_L, k_s, k_v, u, \frac{\partial u}{\partial t} \right\}$$

que podemos escribir en forma funcional

$$(9) \quad \psi_0 \{W, \gamma_c, \gamma_a, f, \alpha_i\} \psi_c \{k_s, k_v, f, \beta, \alpha, \alpha_i\} = \psi_h \left\{ C_D, C_M, C_L, k_s, k_v, u, \frac{\partial u}{\partial t} \right\}$$

en donde quedan aparentes el FACTOR DE ESTABILIDAD INICIAL o de CONSTRUCCION (ψ_0) y el FACTOR DE EVOLUCION DE LA ESTABILIDAD (ψ_c). Ambos factores son INDICADORES de la estabilidad del manto, mientras que el tercer FACTOR o TERMINO HIDRODINAMICO comprende todas las variables hidrodinámicas.

En las condiciones generales en que ha sido deducida la relación (9) representa la EXPRESION GENERAL DEL EQUILIBRIO ESTATICO DE LOS CANTOS DE UN FONDO MOVIL INCLINADO, DESPROVISTO DE COHESION, SOMETIDO A LA ACCION DE UNA CORRIENTE CUALQUIERA.

En el caso que aquí nos interesa, en que el movimiento del fluido está originado por el oleaje, tanto la velocidad (u) como la aceleración local ($\partial u / \partial t$) dependerán de las variables características de aquél. Suelen considerarse como tales la altura de ola (H), el período (T), el ángulo de incidencia o de abordaje (θ) y la profundidad (d), pero últimamente se ha dado gran énfasis a la influencia del peralte (p). Bruun (1976), que depende de las variables anteriores, a la modalidad de presentación de las olas (μ), Baird (1963), a la configuración del espectro (η). Todas estas variables, y otras que puedan surgir en el futuro, deberán ser consideradas en el análisis de estabilidad del manto, si se demuestra que caracterizan el comportamiento de éste EN EL MAR.

La velocidad (u) y la aceleración ($\partial u / \partial t$) dependen también, particularmente cuando el talud del manto es supercrítico, con inestabilidad para la vena líquida descendente, de la configuración del propio manto (ξ), que evoluciona con la avería de éste,

$$(10) \quad \xi = \xi(D)$$

Eliminando (u) y $(\partial u / \partial t)$ la expresión (9) toma la forma

$$(9a) \quad \psi_0 \{W, \gamma_c, \gamma_a, f, \alpha_i\} \psi_c \{k_s, k_v, f, \beta, \alpha, \alpha_i\} = \psi_h \{C_D, C_M, C_L, k_s, k_v, H, T, \theta, d, p, \mu, \eta, \xi\}$$

La dispersión del FACTOR DE ESTABILIDAD o de CONSTRUCCION (ψ_0) es muy distinta en la naturaleza que en el laboratorio, particularmente si se trata de escolleras naturales. Para un diseño dado las variables (γ_c), (W) y (α_i) tienen muy poca dispersión en el laboratorio, ya que en el caso de escolleras naturales los cantos se pesan uno a uno, siendo rechazados aquellos que no cumplen unas tolerancias muy reducidas. Lo mismo ocurre con el ángulo de diseño (α_i), que puede ser logrado con gran precisión en el laboratorio haciendo uso de plantillas.

No sucede lo mismo en la naturaleza en donde tanto los métodos de construcción como los de control no permiten gran precisión en la construcción no sólo del manto principal, sino de los mantos secundarios y núcleo. Tanto el espesor del manto como el ángulo de éste (α_i) tienen aquí grandes dispersiones. Por otra parte, en el caso de escolleras naturales la única condición que se suele exigir es que los cantos excedan el peso de diseño.

Mucha dispersión y variabilidad tiene el FACTOR DE EVOLUCION DE LA ESTABILIDAD DEL MANTO (ψ_c) tanto en la naturaleza como en los modelos, pues (β) depende del encaje de los cantos, que es pequeño en los mantos no actuados por el oleaje y con ciertas sucesiones de olas, en

COMPONENTE DE FALLO GRADUAL DEL MANTO PRINCIPAL DE LOS DIQUES DE...

que algunos cantos están o pueden quedar relativamente sueltos, sólo parcialmente integrados en el conjunto granular, por lo que son fácilmente removidos por la vena líquida.

Como su valor inicial (α_i) la variable (α) tiene dispersión y, además, su valor medio evoluciona desde ($\bar{\alpha}_i$) hasta ($\alpha_{c,r,l,t}$), aumentando la estabilidad del manto en función de la avería, del daño (D), o sea,

$$(11) \quad \alpha = \alpha(D)$$

Aunque con bloques artificiales (k_s) y (k_p) son constantes, en el caso de escolleras naturales ambos coeficientes pueden tener una importante dispersión.

Gran dispersión pueden tener los coeficientes (C_n), (C_M) y (C_r), incluidos en el FACTOR HIDRODINAMICO (ψ_n), pues el valor de éstos depende de la situación de los cantos en el conjunto granular, así como de la orientación de los mismos con respecto al movimiento del fluido.

Vemos, pues, que con las puntualizaciones hechas, los tres FACTORES DE ESTABILIDAD son esencialmente aleatorios, con dispersiones que, según veremos, dependen de las de sus variables.

Si para un cierto valor medio de las variables de diseño (\bar{W}), ($\bar{\gamma}_r$), ($\bar{\alpha}_i$), de las climáticas (\bar{H}), (\bar{T}), etcétera, y de las de evolución del manto ($\bar{\alpha}$), ($\bar{\delta}$), así como de todos los coeficientes un canto se encuentra en equilibrio estricto, debido a la dispersión de las variables y de los coeficientes y, en consecuencia, de los factores (ψ) algunos cantos serán inestables, verificándose para ellos,

$$(12) \quad \psi_n - \psi_0 \psi_c > 0$$

mientras los restantes serán estables, verificándose para ellos,

$$(13) \quad \psi_n - \psi_0 \psi_c \leq 0$$

Si el oleaje es monocromático no existe dispersión de las variables climáticas, al ser iguales todas las alturas de ola y períodos. En consecuencia, para un diseño dado —es decir, para (\bar{W}), ($\bar{\gamma}_r$) ($\bar{\alpha}_i$) constantes— todos los cantos que se encuentran en situación de inestabilidad serán o bien extraídos del manto activo o bien colocados en posiciones más estables, en su primitiva ubicación o en otra, dentro del propio manto activo.

Incrementadas las variables climáticas otros nuevos cantos pasarán a estar en situación de inestabilidad, repitiéndose el proceso antes descrito.

Los ensayos de Hudson, Iribarren y otros muestran que en tanto que las variables climáticas no excedan unos determinados valores, denominados por Iribarren (1965), de ROTURA TOTAL, el manto alcanza siempre la estabilidad, perdiendo sólo algunos cantos en cada incremento de las variables climáticas.

Con valores superiores a los de rotura total las averías del dique crecen indefinidamente, en función del número de olas.

Con oleaje monocromático existen así tres fases de estabilidad del manto. La primera, de ESTABILIDAD TOTAL, en que todos los cantos son estables. La segunda de ESTABILIDAD PARCIAL, en que algunos cantos son inestables y otros estables y la tercera, de INESTABILIDAD, en que todos los cantos son inestables.

Cuando el oleaje es real las olas son todas diferentes, existiendo las correspondientes distribuciones de sus variables —altura de ola (H), período (T), etc.—.

El número de olas ACTIVAS, olas que verifican la condición de inestabilidad (12), Bores (1968), (1977a), depende del estado del mar y de la persistencia de éste.

De hecho OLAS ACTIVAS pueden presentarse incluso con estados del mar de baja energía, pero su probabilidad de presentación será pequeña, dependiendo de la persistencia.

Hemos utilizado últimamente el concepto de OLA ACTIVA, introducido por nosotros hace más de diez años, Bores (1968), en la estima de los regímenes de persistencias y en la del modelo matemático bivariado de FALLO GRADUAL DEL MANTO PRINCIPAL, incluido en el Informe Preliminar del Dique de Punta Lucero, Bores (1977a).

ESTIMA DE LA FUNCION DE ESTABILIDAD

La ACTIVIDAD de un cierto estado del mar depende, como antes hemos indicado, de la energía y persistencia del mismo. Con estados del mar de alta energía, relativamente, el número medio de cantos que verifican la condición de estabilidad (12) es función del valor de esta desigualdad. El número medio de cantos extraídos del manto por una ola será

$$(14) \quad \xi(\psi_n - \psi_0 \psi_c)$$

y por (n) olas será

$$(15) \quad \Delta D = \xi(\psi_n - \psi_0 \psi_c) n$$

Si la persistencia del oleaje (N) es grande, como ocurre generalmente, (n) puede considerarse

COMPONENTE DE FALLO GRADUAL DEL MANTO PRINCIPAL DE LOS DIQUES DE...

como un infinitésimo de (N), escribiéndose (ΔN), con lo cual

$$(16) \quad \frac{\Delta D}{\Delta N} = \xi (\psi_h - \psi_0 \psi_c)$$

y en el límite

$$(17) \quad \frac{dD}{dN} = \xi (\psi_h - \psi_0 \psi_c)$$

Explicitando las variables de diseño (\bar{W}), ($\bar{\gamma}_c$), ($\bar{\alpha}_i$), las climáticas (\bar{H}), (\bar{T}), ($\bar{\theta}$), etc., y las de evolución del manto ($\bar{\alpha}$), ($\bar{\xi}$), la expresión (17) puede escribirse de la forma

$$(17a) \quad \frac{d\bar{D}}{dN} = \xi_1 (\bar{W}, \bar{\gamma}_c, \bar{\alpha}_i, \bar{\alpha}, \bar{H}, \bar{T}, \bar{\theta}, \bar{d}, \bar{p}, \bar{\mu}, \bar{\eta}, \bar{\xi})$$

y recordando (10 y (11)

$$(18) \quad \frac{d\bar{D}}{dN} = \xi_2 (\bar{W}, \bar{\gamma}_c, \bar{\alpha}_i, \bar{D}, \bar{H}, \bar{T}, \bar{\theta}, \bar{d}, \bar{p}, \bar{\mu}, \bar{\eta})$$

La complejidad de la función (ξ_2) de la que sólo conocemos, según hemos visto en el apartado anterior, la estructura de (ψ_0) y (ψ_c) hacen por el momento imposible la obtención de una solución completa de la ecuación (18).

Soluciones particulares pueden ser obtenidas mediante la realización de ensayos, manteniendo las variables de construcción (\bar{W}), ($\bar{\gamma}_c$), ($\bar{\alpha}_i$) y las climáticas (\bar{H}), (\bar{T}), etc. constantes. En estas condiciones la expresión general (18) adopta las formas particulares, para cada uno de los ensayos,

$$(19) \quad \frac{d\bar{D}}{dN} = \xi_i (\bar{D})$$

Admitiendo, como es común en física, que las funciones (ξ_i) son continuas, con derivadas continuas, y que la avería (\bar{D}) viene dada en tanto por uno del manto activo, con lo que ($\bar{D} \leq 1$), desarrollando en serie la solución particular (i) puede ser escrita

$$(20) \quad \frac{d\bar{D}}{dN} = C_{0i} + C_{1i} \bar{D} + C_{2i} \bar{D}^2 + \dots$$

Considerando únicamente el primer término del desarrollo

$$(21) \quad \frac{dD}{dN} = C_{0i}$$

e integrando

$$(22) \quad \bar{D} = C_{0i} N + K$$

con la condición inicial ($\bar{D} = 0$ para $N = 0$) resulta finalmente

$$(23) \quad \bar{D} = C_{0i} N$$

solución particular que coincide con la introducida en nuestro INFORME PRELIMINAR, Bores (1977a), como primera estima, al no disponer entonces de ensayos, y que es válida, según se colige de (20) cuando la persistencia (N) y, en consecuencia, la avería (\bar{D}) son muy pequeñas.

La solución particular (23) sería cierta en todo el campo de existencia de (\bar{D}) si el talud del manto activo fuese siempre constante y también constantes las variables endógenas (β), (C_{1i}), etc., pero generalmente esto no ocurre, pues después de perder el manto algunos cantos, no encajados en el conjunto granular, el valor de ($d\bar{D}/dN$) decrece, debido al aumento de encaje y a la evolución de ($\bar{\alpha}$) y de ($\bar{\xi}$).

Una mejor estima de esta segunda fase de evolución de la avería puede obtenerse considerando dos términos del desarrollo, con lo que

$$(24) \quad \frac{d\bar{D}}{dN} = C_{0i} + C_{1i} \bar{D}$$

e integrando

$$(25) \quad \frac{1}{C_{1i}} \ln (C_{0i} + C_{1i} \bar{D}) = N + K$$

Con la condición inicial ($\bar{D} = 0$ para $N = 0$) la solución (25) toma la forma

$$(26) \quad \frac{1}{C_{1i}} \ln \left| 1 + \frac{C_{1i}}{C_{0i}} \bar{D} \right| = N$$

y despejando (\bar{D})

$$(27) \quad \bar{D} = \frac{C_{0i}}{C_{1i}} \left| e^{C_{1i} N} - 1 \right|$$

Esta solución tiende a la (23) para pequeños valores de (N), ya que

$$\lim_{N \rightarrow 0} \left| \frac{C_{0i}}{C_{1i}} \left| e^{C_{1i} N} - 1 \right| \right| \rightarrow C_{0i} N$$

COMPONENTE DE FALLO GRADUAL DEL MANTO PRINCIPAL DE LOS DIQUES DE...

y con valores negativos de (C_{11}) es monótona creciente, con gradiente $(d\bar{D}/dN)$ monótono decreciente, para averías medias, de acuerdo con las anteriores consideraciones.

Con estados avanzados de avería el ancaje medio de los cantos se mantiene prácticamente constante y el talud del manto activo es cercano al crítico, por lo que las condiciones de estabilidad del conjunto granular y, en consecuencia, el gra-

diente de avería $(d\bar{D}/dN)$ se mantienen constantes, aumentando, evolucionando, la avería linealmente con el número de olas, con la persistencia (N) , Bores (1968).

La componente de FALLO GRADUAL DEL MANTO PRINCIPAL tiene, así, tres fases claramente diferenciadas, que esquematizamos en la forma,

- Fase de gradiente de averías $(d\bar{D}/dN)$ constante, en el origen.
- Fase con $(d\bar{D}/dN)$ decreciente, para averías medias.
- Fase con $(d\bar{D}/dN)$ constante, para grandes averías.

La primera de las soluciones particulares obtenidas coincide con el esquema anterior en el origen y para grandes averías, mientras que la

segunda lo hace en el origen y para averías medias (*).

Una estima que cumple este esquema en todo el campo de existencia se logra superponiendo, ponderadamente, las dos soluciones particulares obtenidas. Esta ESTIMA puede ser escrita en la forma

$$(28) \quad D = K_1 N + K_2 | e^{-k_3 N} - 1 |$$

Del ajuste estadístico de las tres ESTIMAS, lineal (23), exponencial (27) y mixta (28) se deducen las siguientes conclusiones

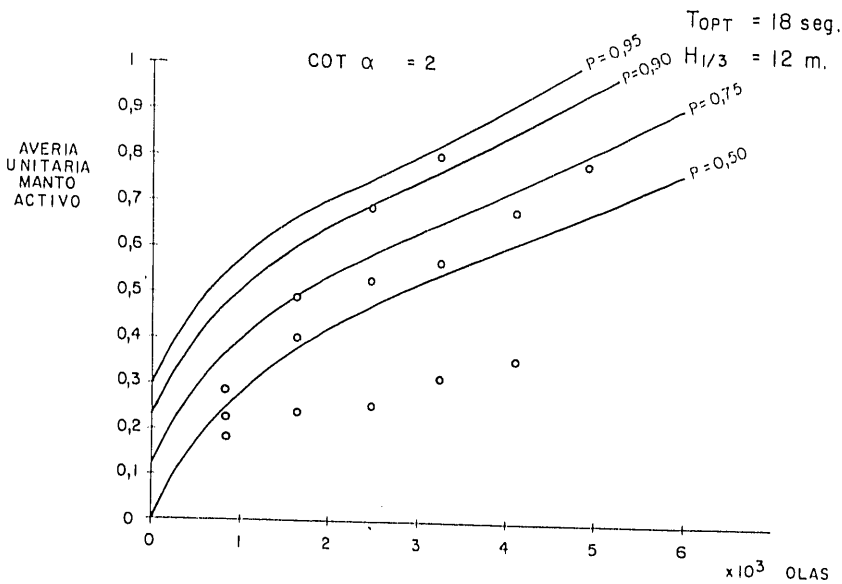
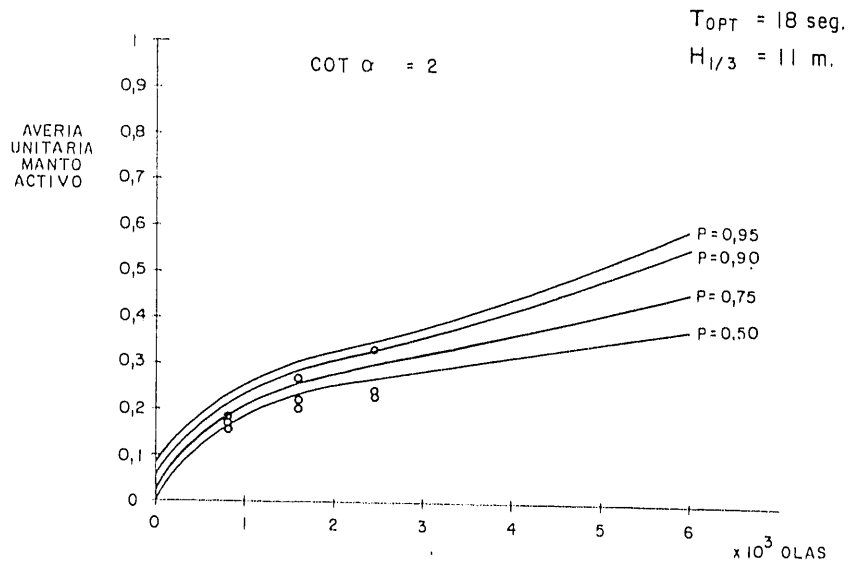
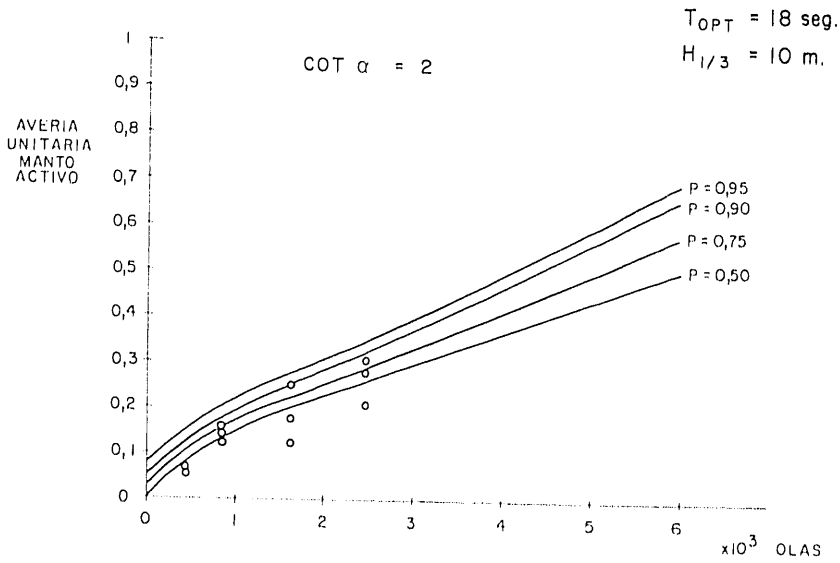
1. La variancia de la estima mixta es SIEMPRE MENOR que la de las otras dos estimas, lineal y exponencial.
2. La variancia de la estima mixta tiene un mínimo para un valor finito del parámetro (k_3) .
3. El parámetro (k_3) evoluciona monótonamente con las características del oleaje.
4. La dispersión de los ensayos con respecto a la estima mixta es sorprendentemente simétrica, con coeficiente de disimetría superior a 10^{20} .

(*) Nuevas aproximaciones pueden ser obtenidas tomando más términos del desarrollo en serie, pero la complejidad de las soluciones crece desproporcionadamente, en especial con más de tres términos, al tiempo que se enmascara el fenómeno físico.

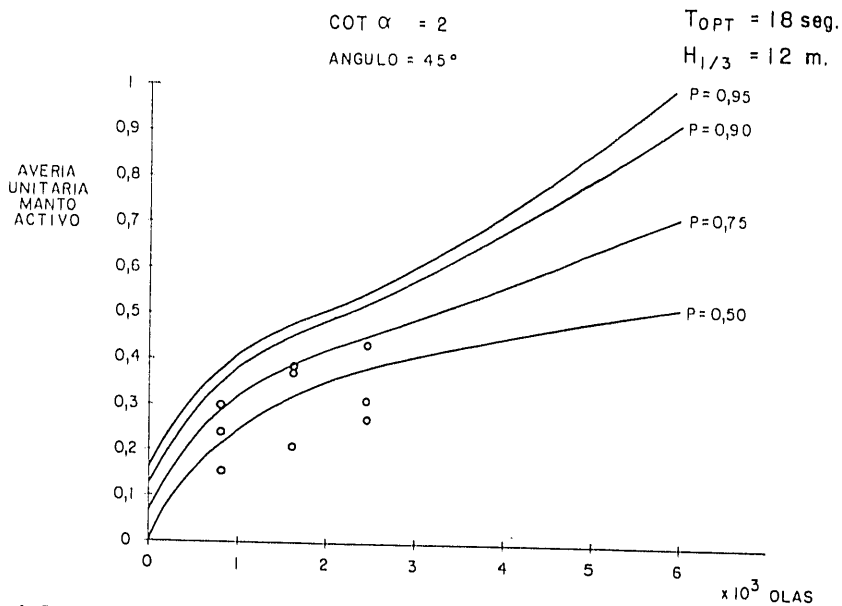
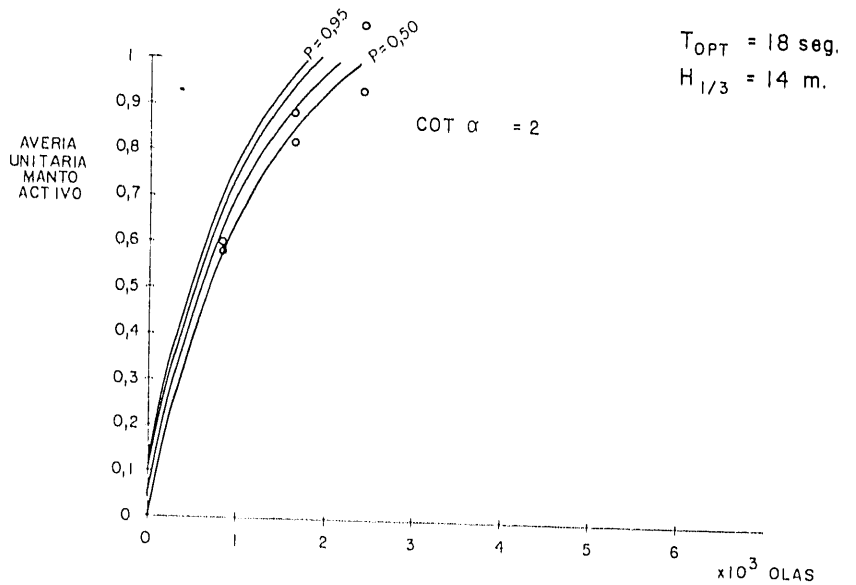
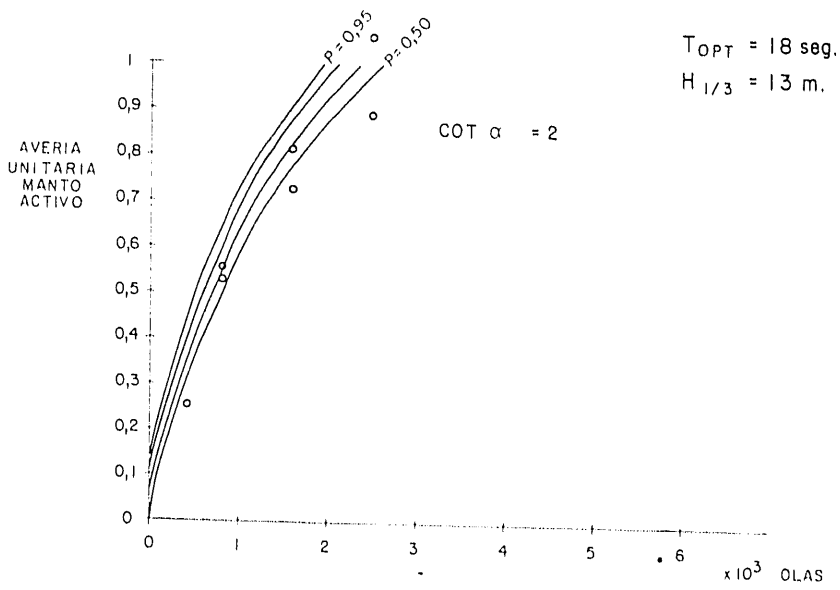
ABSTRACT

The CRITICAL FUNCTION for the COMPONENT OF GRADUAL FAILURE of the MAIN MANTLE of the STANDARD RUBBLE MOUND BREAKWATERS is introduced. The fitting of the experiments is remarkable.

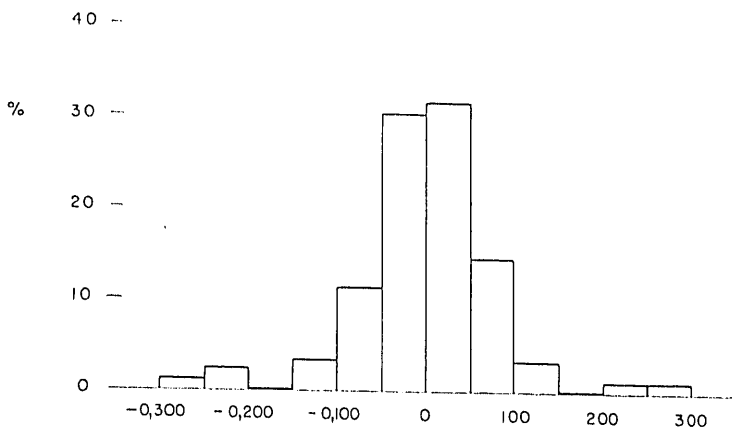
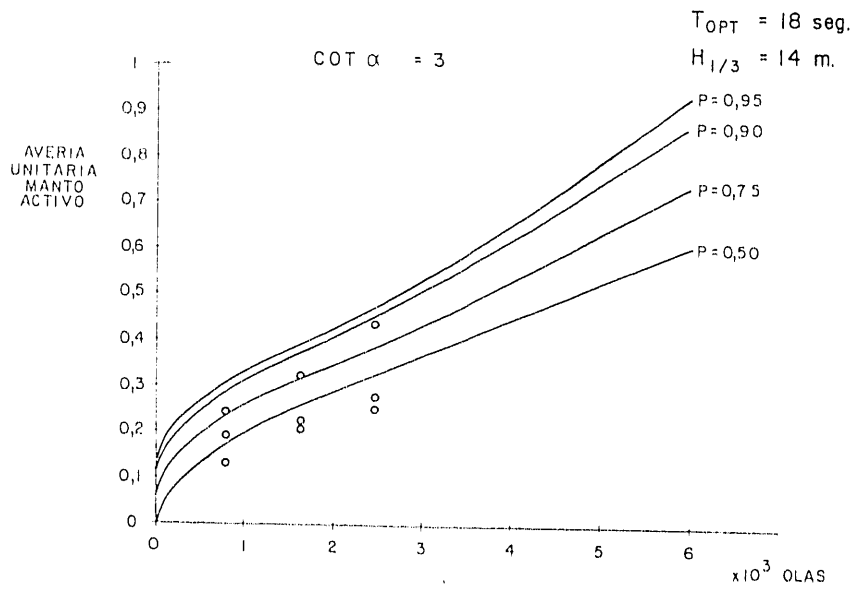
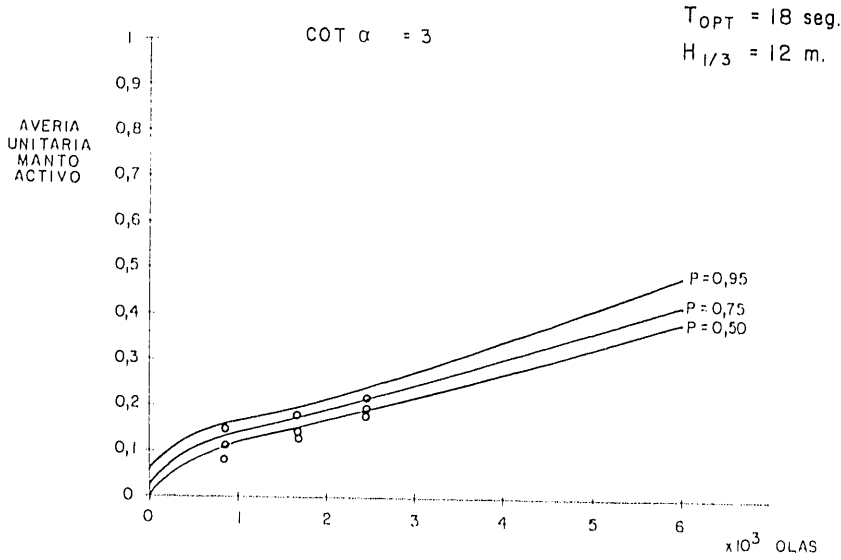
COMPONENTE DE FALLO GRADUAL DEL MANTO PRINCIPAL DE LOS DIQUES DE...



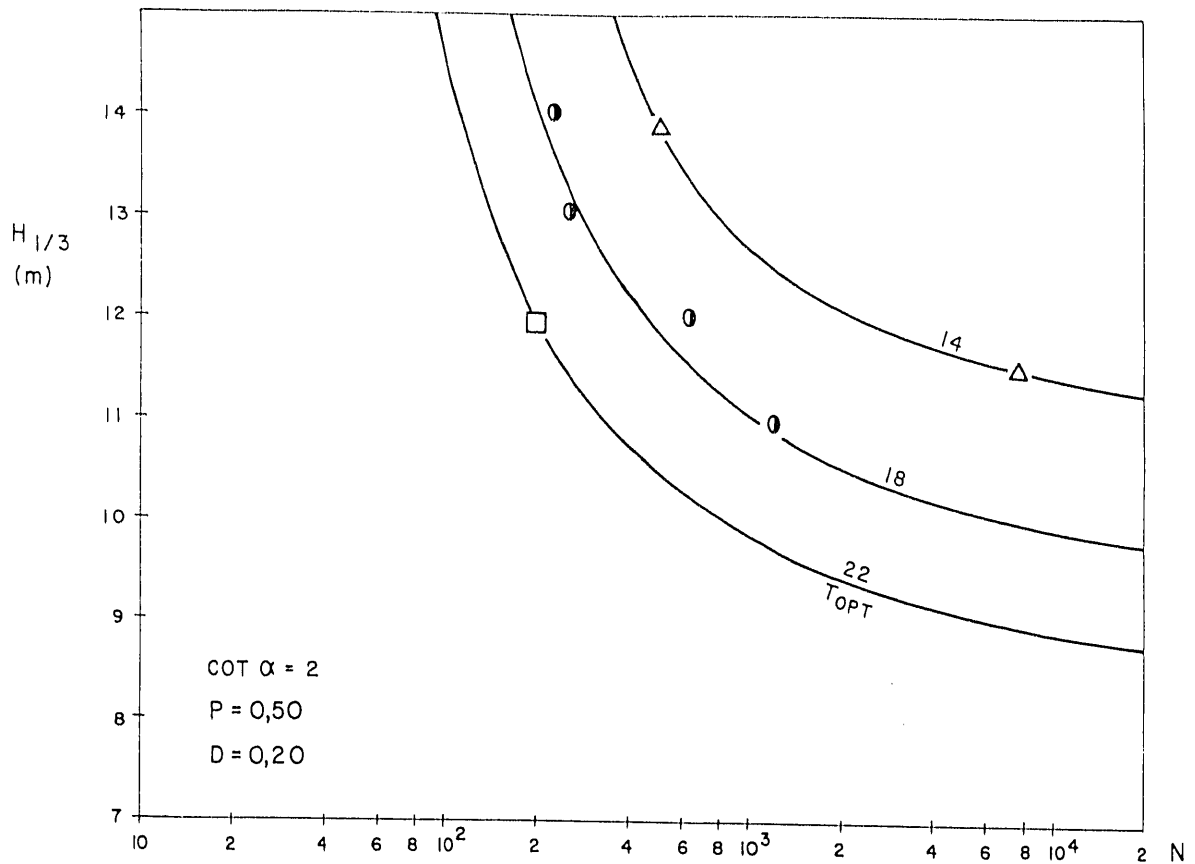
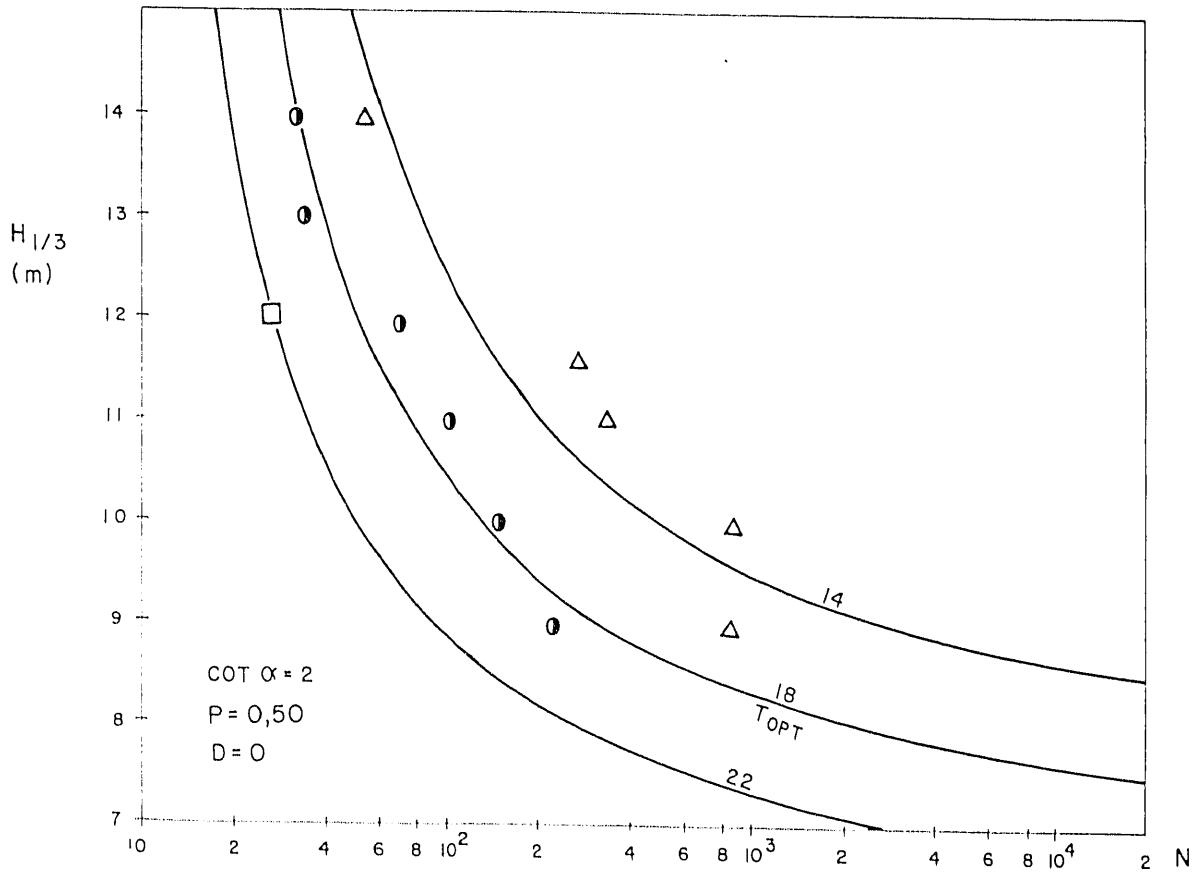
COMPONENTE DE FALLO GRADUAL DEL MANTO PRINCIPAL DE LOS DIQUES DE...



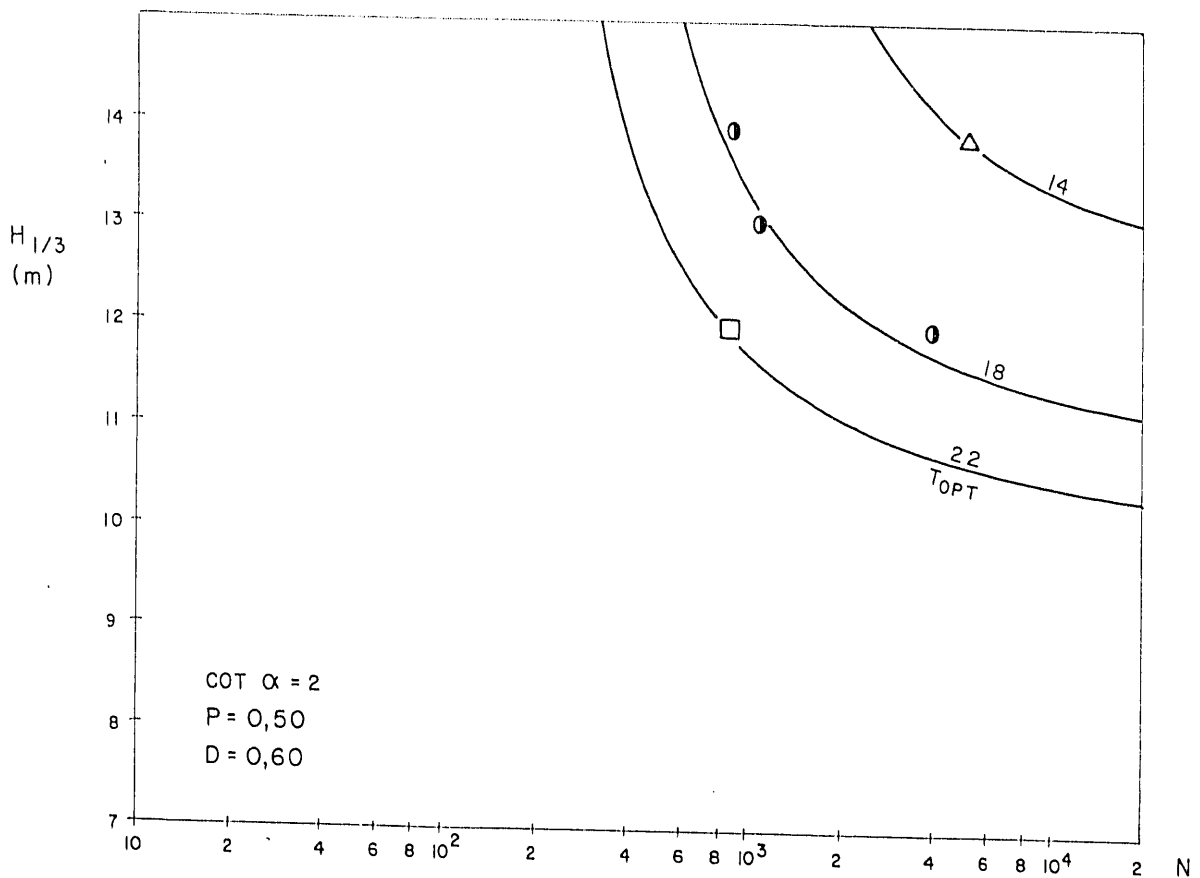
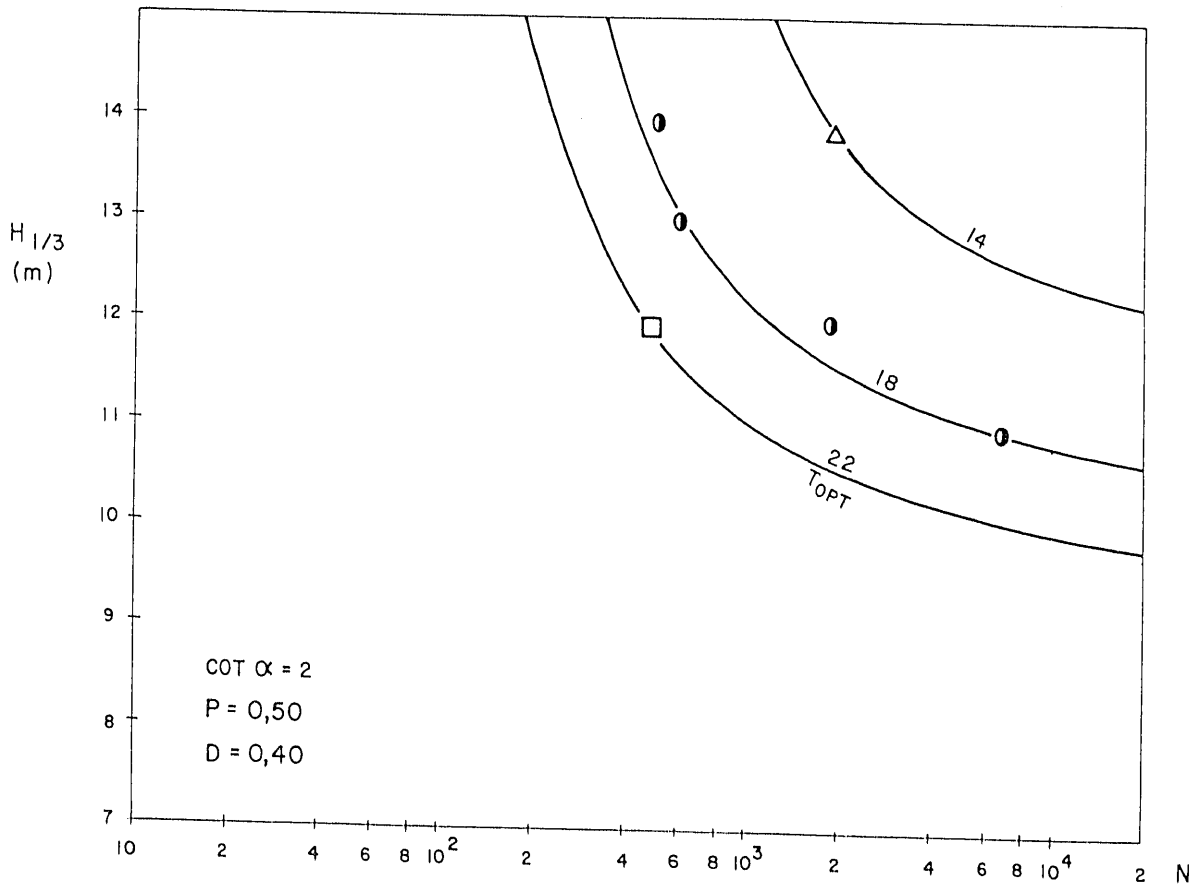
COMPONENTE DE FALLO GRADUAL DEL MANTO PRINCIPAL DE LOS DIQUES DE...



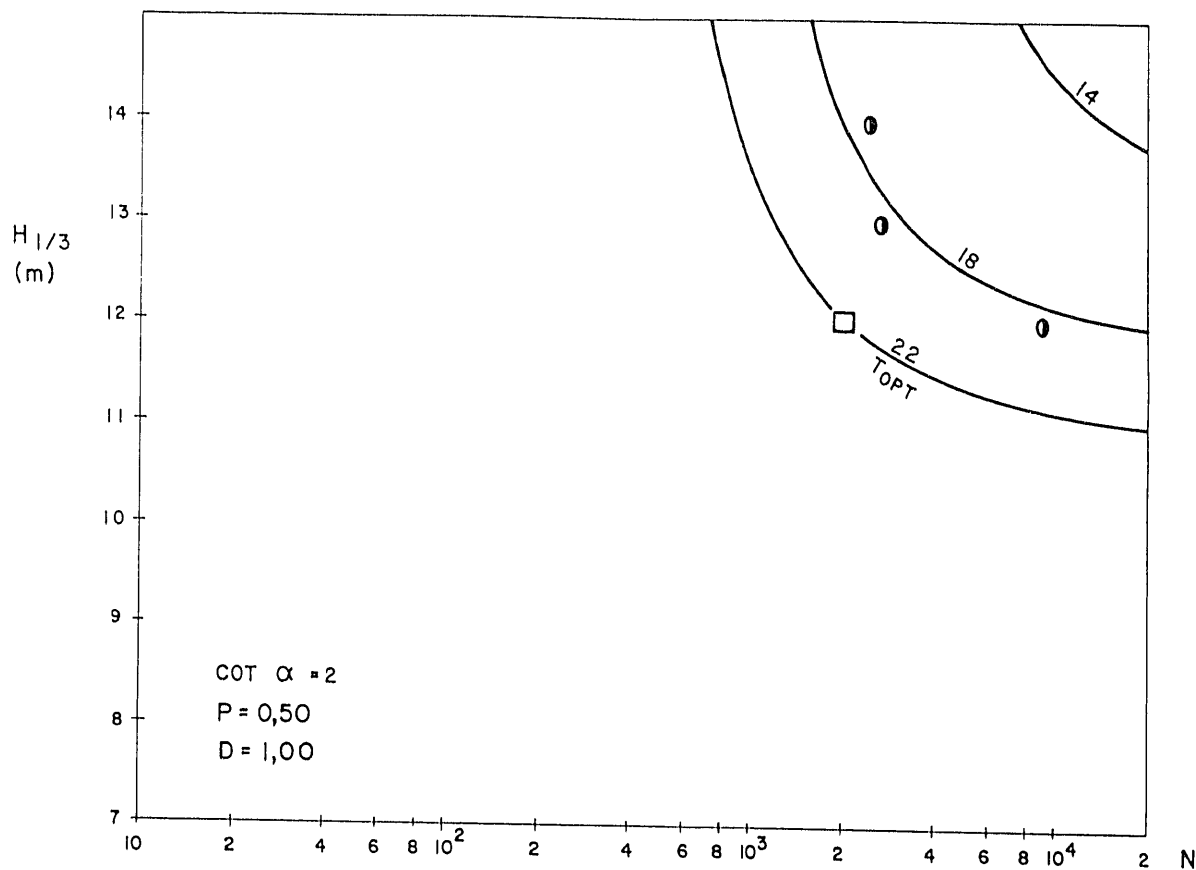
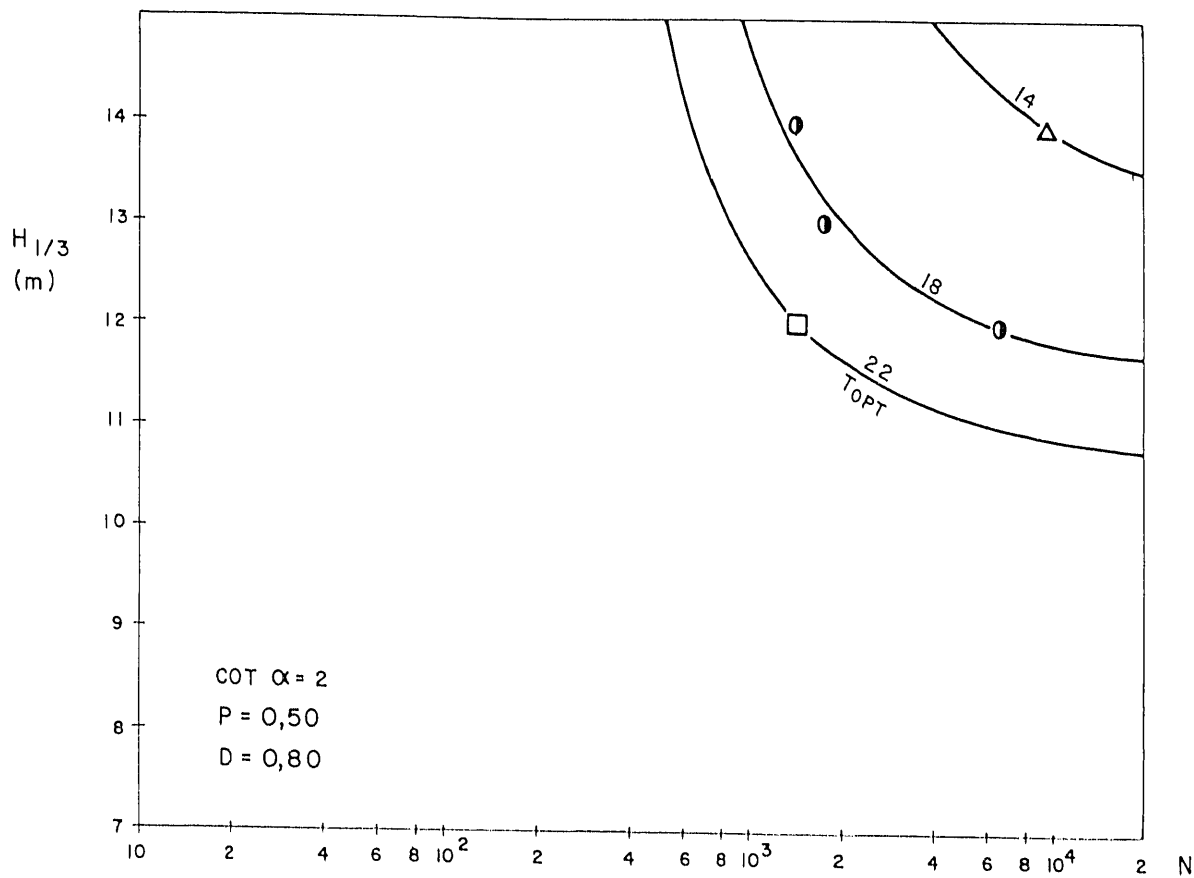
COMPONENTE DE FALLO GRADUAL DEL MANTO PRINCIPAL DE LOS DIQUES DE...



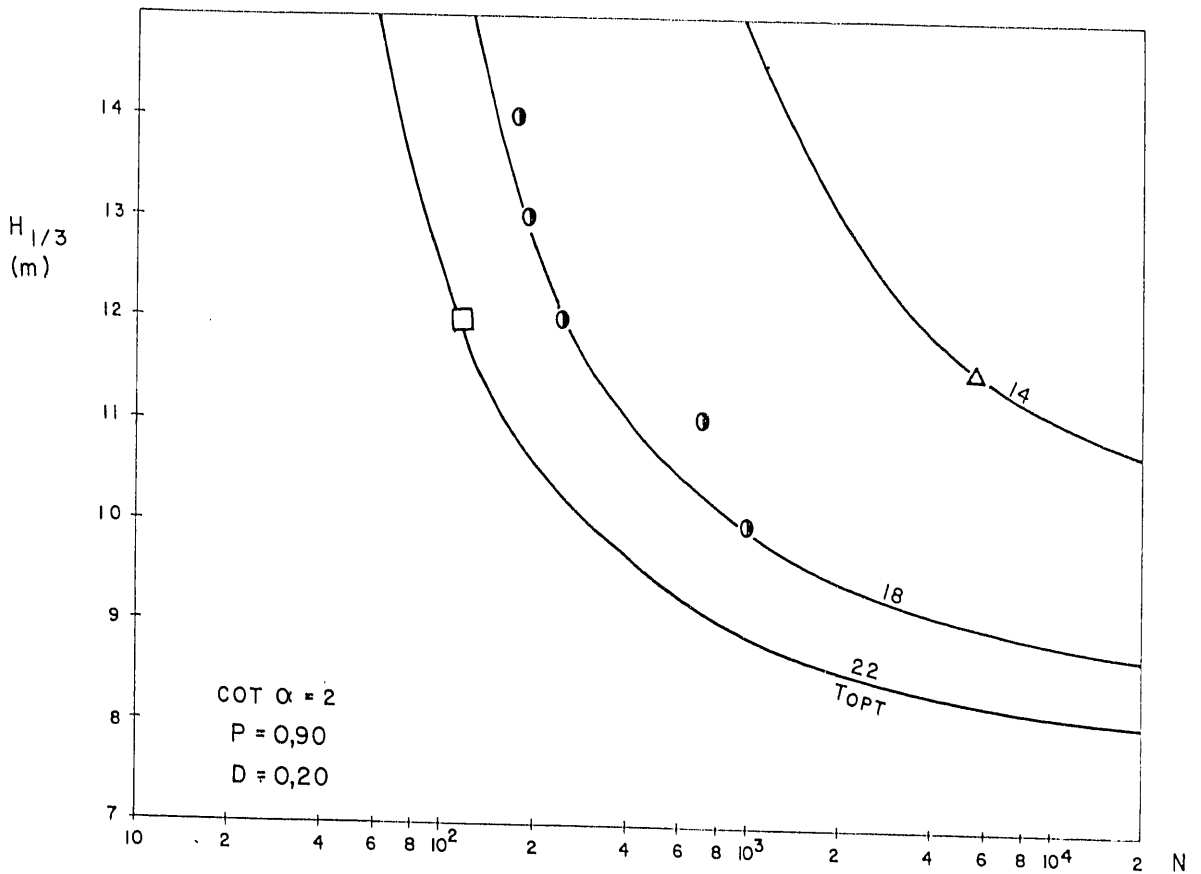
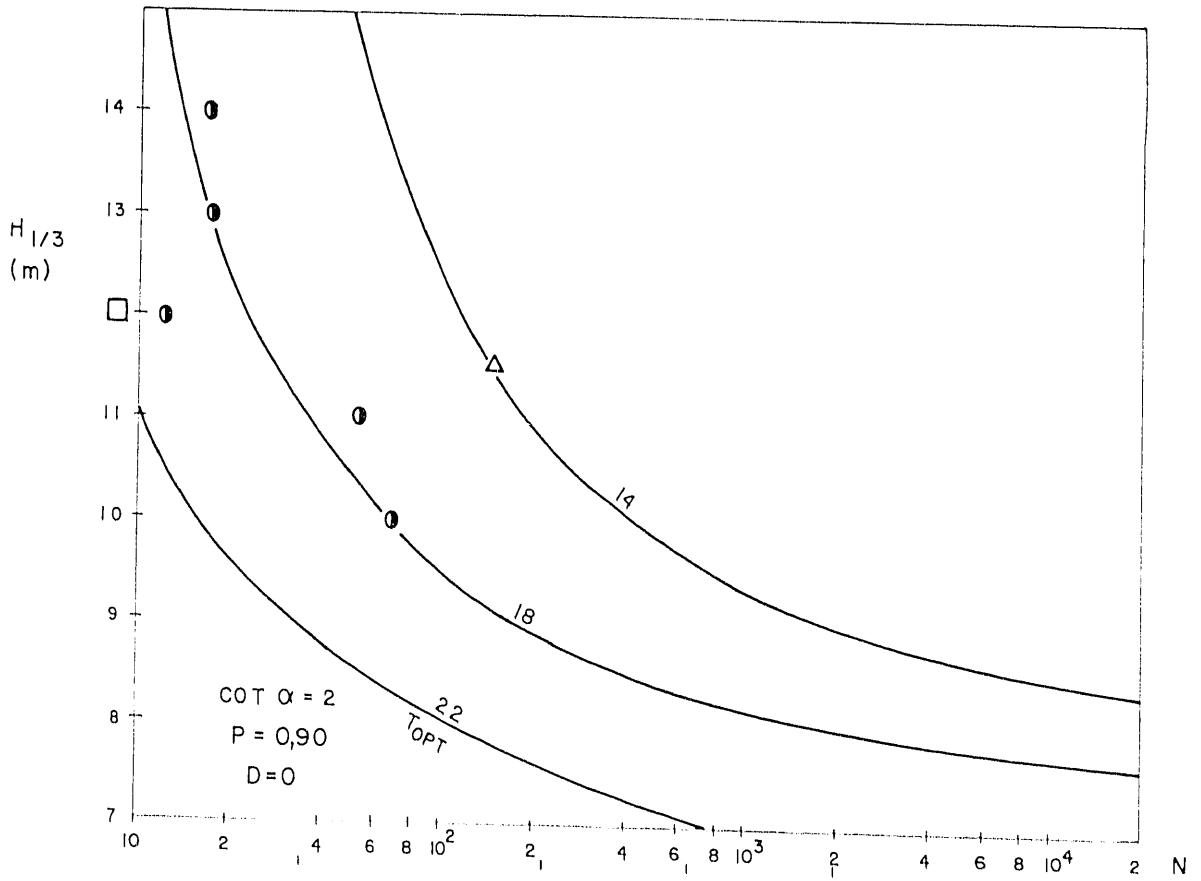
COMPONENTE DE FALLO GRADUAL DEL MANTO PRINCIPAL DE LOS DIQUES DE...



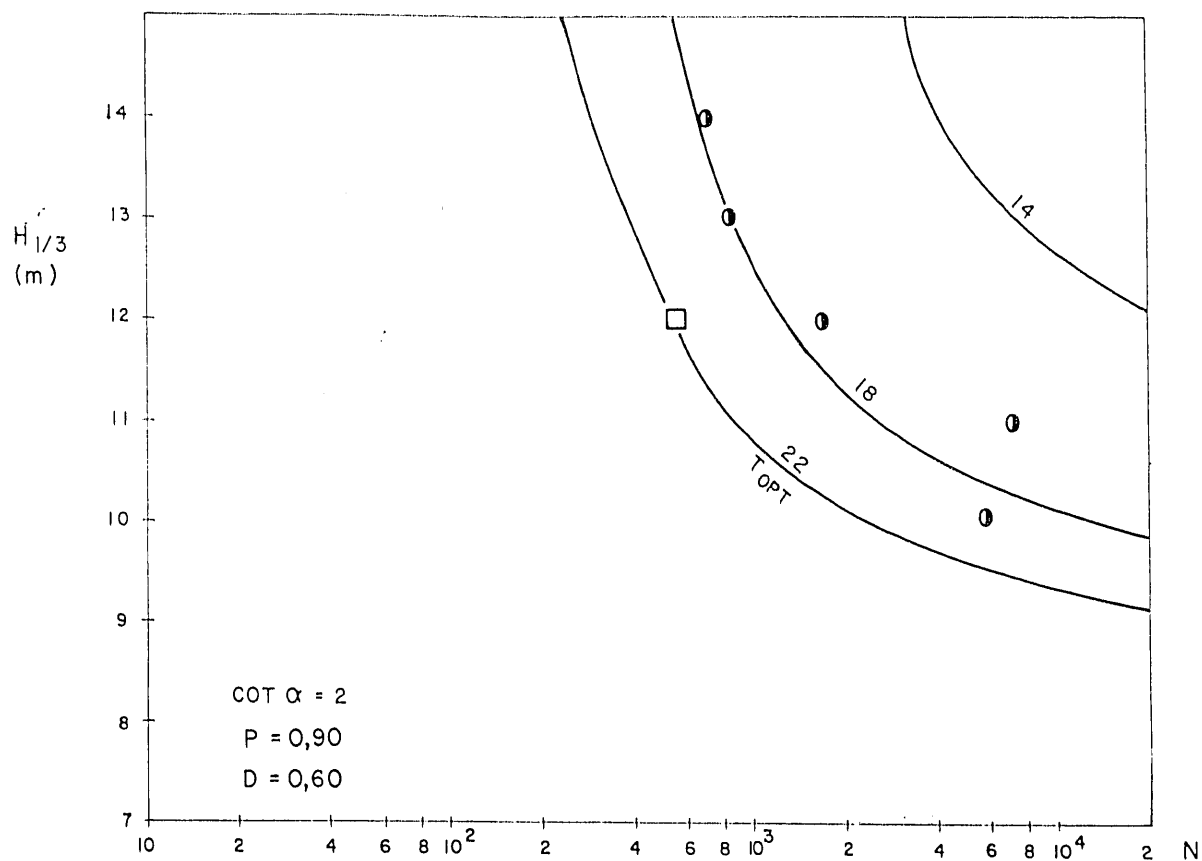
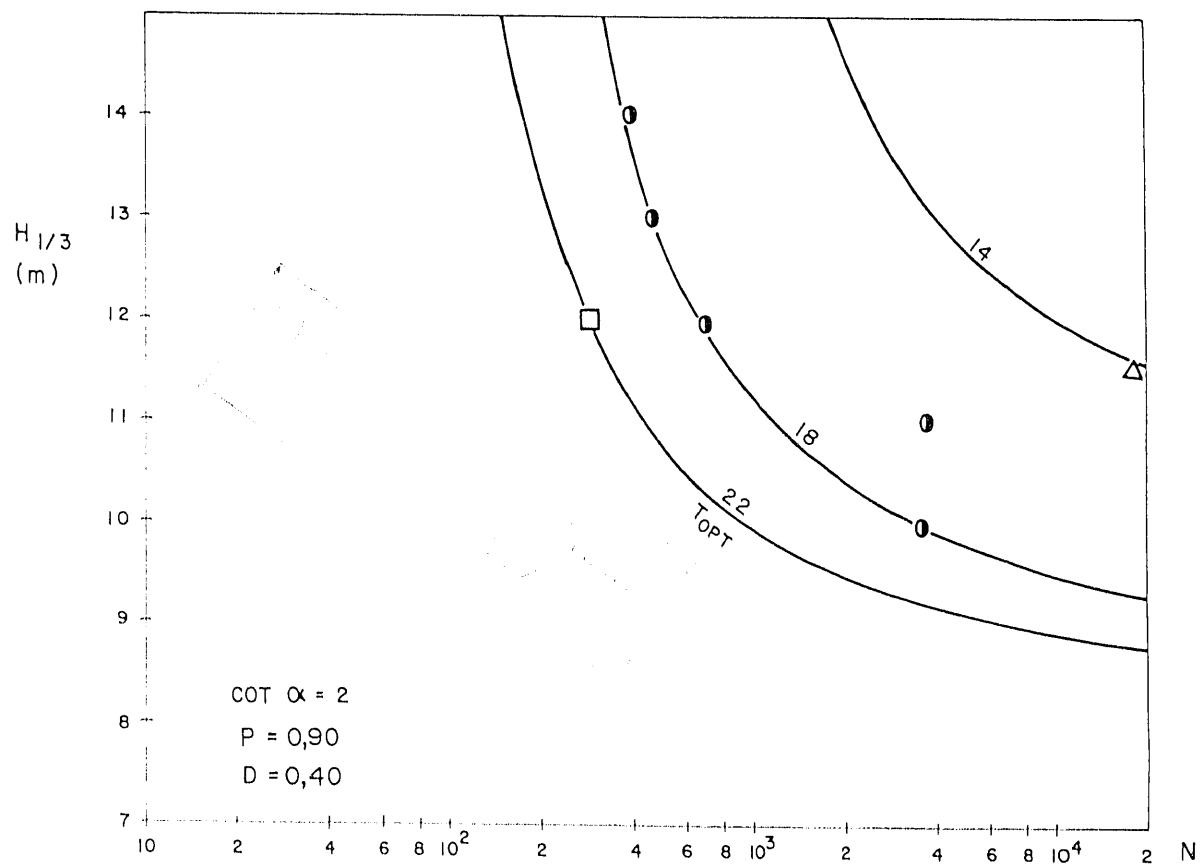
COMPONENTE DE FALLO GRADUAL DEL MANTO PRINCIPAL DE LOS DIQUES DE...



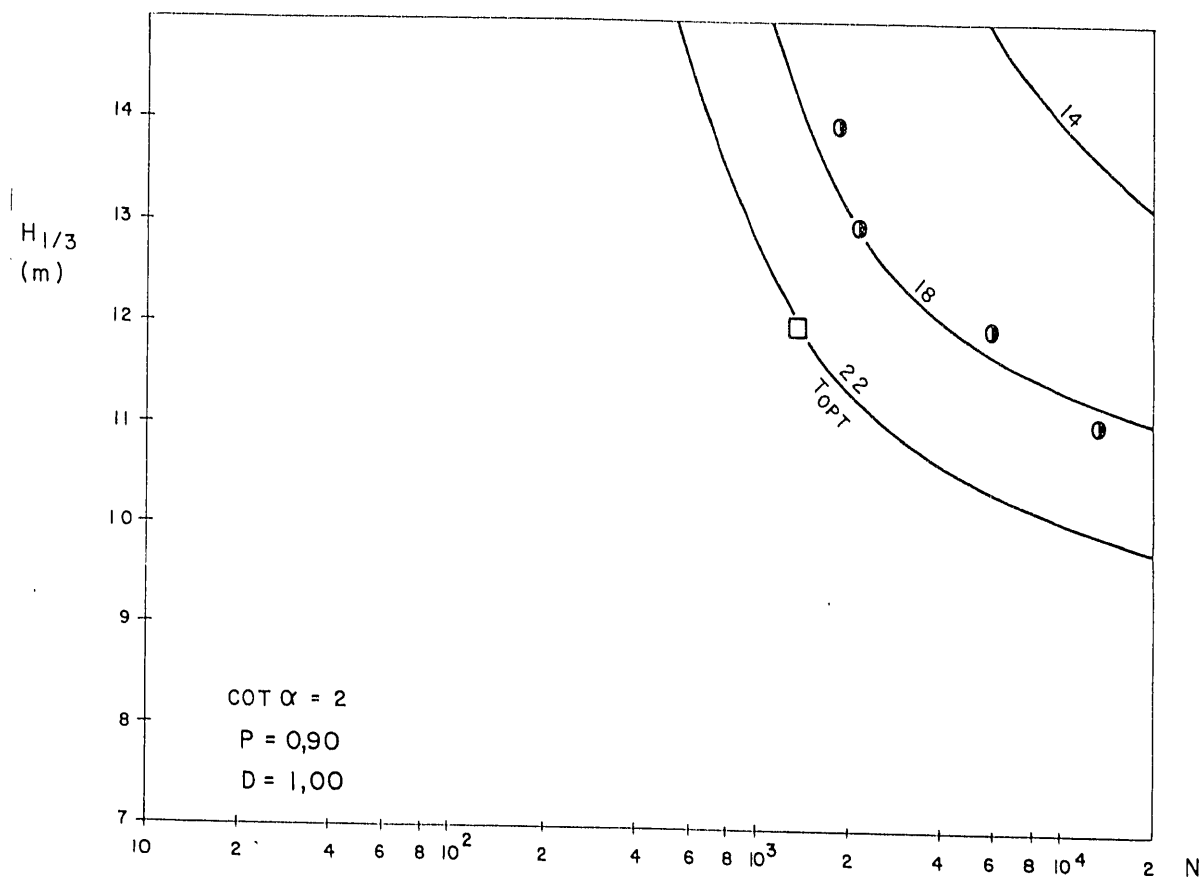
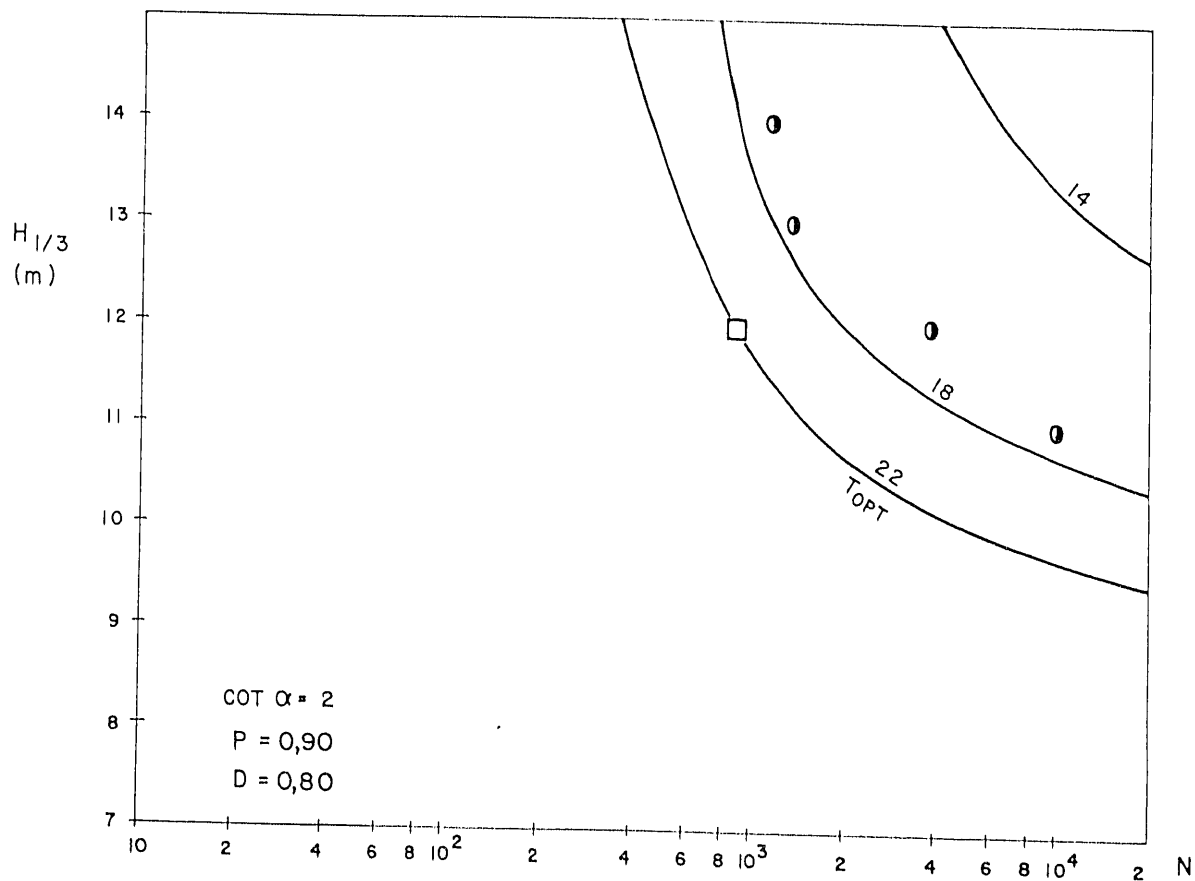
COMPONENTE DE FALLO GRADUAL DEL MANTO PRINCIPAL DE LOS DIQUES DE...



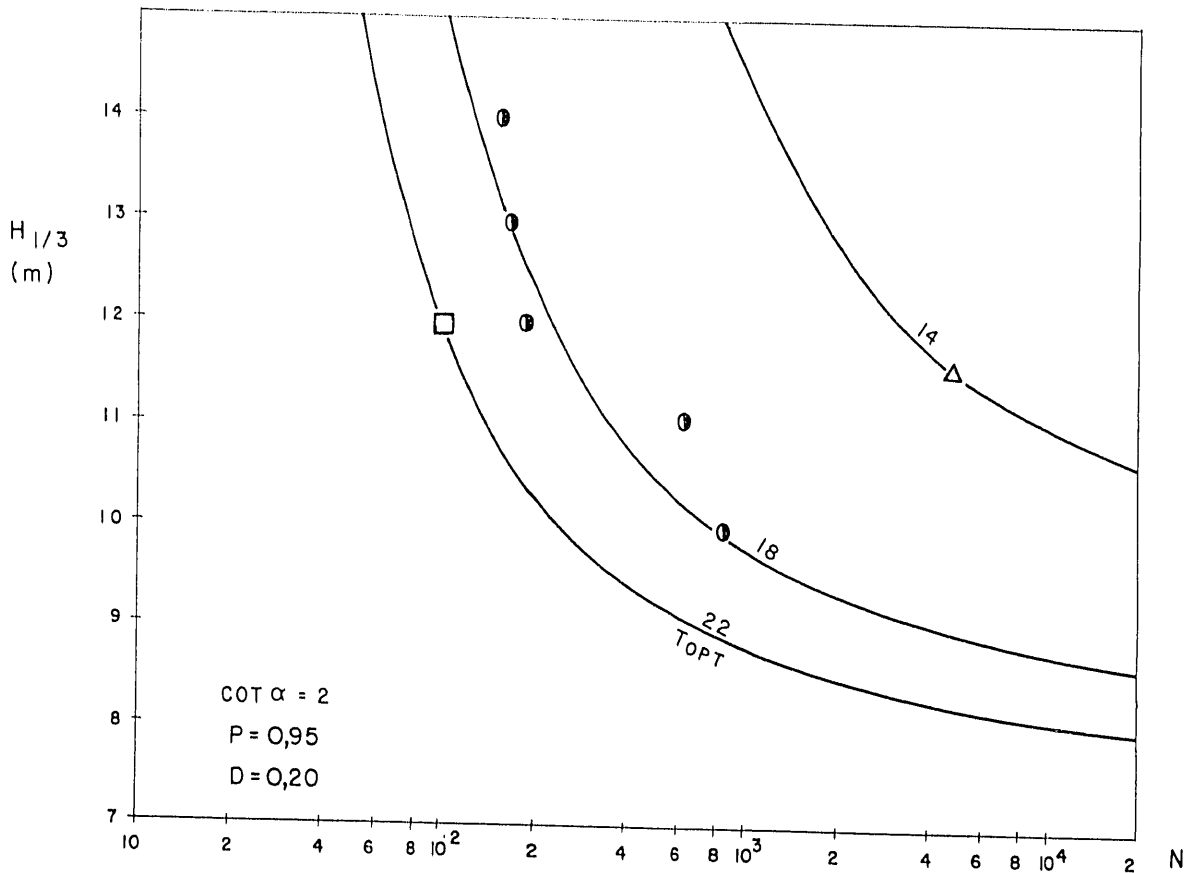
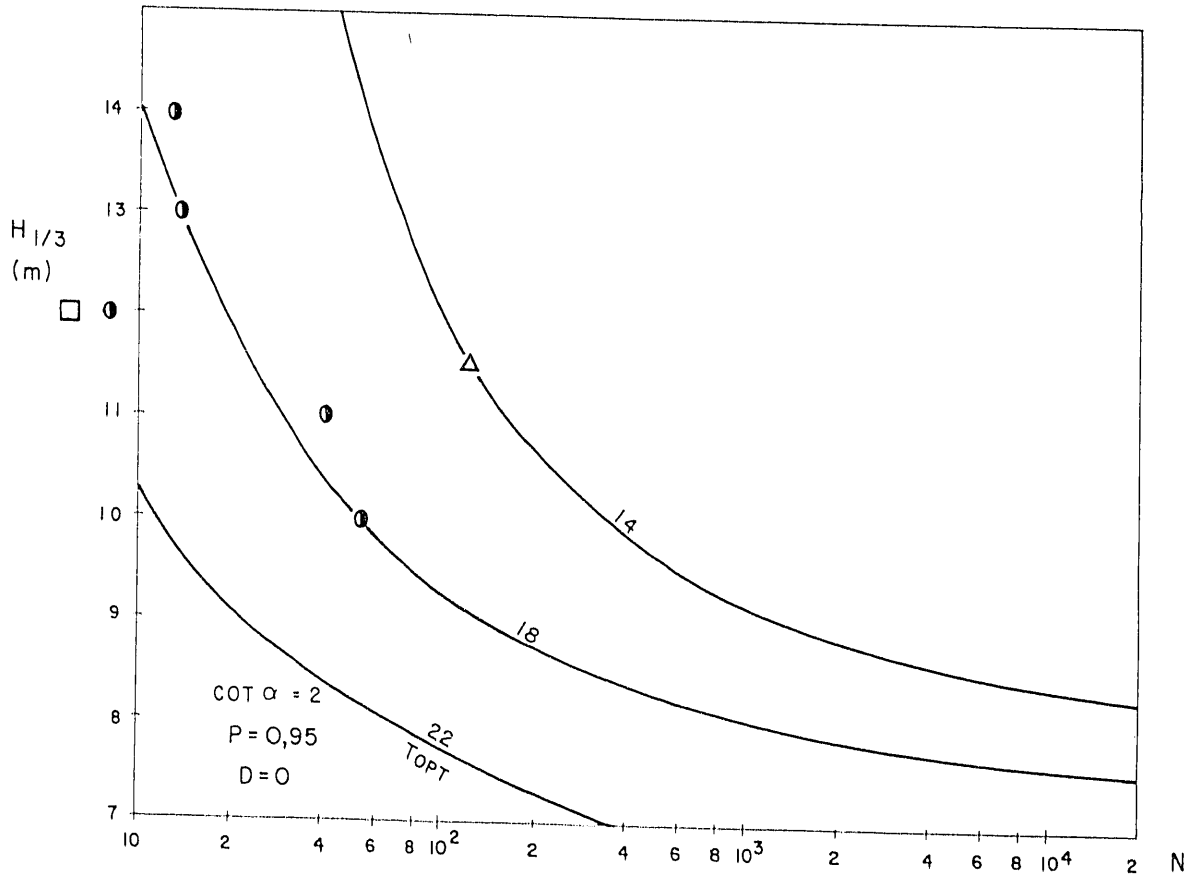
COMPONENTE DE FALLO GRADUAL DEL MANTO PRINCIPAL DE LOS DIQUES DE...



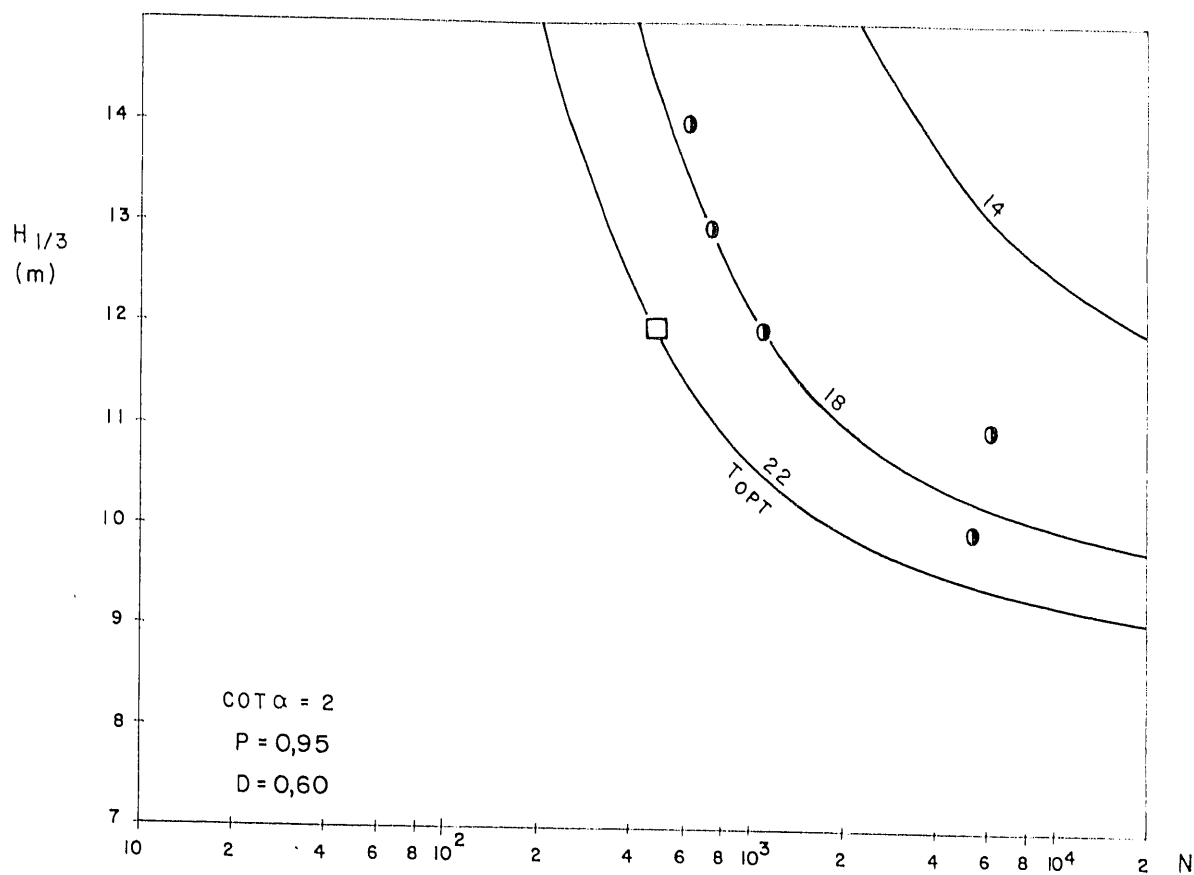
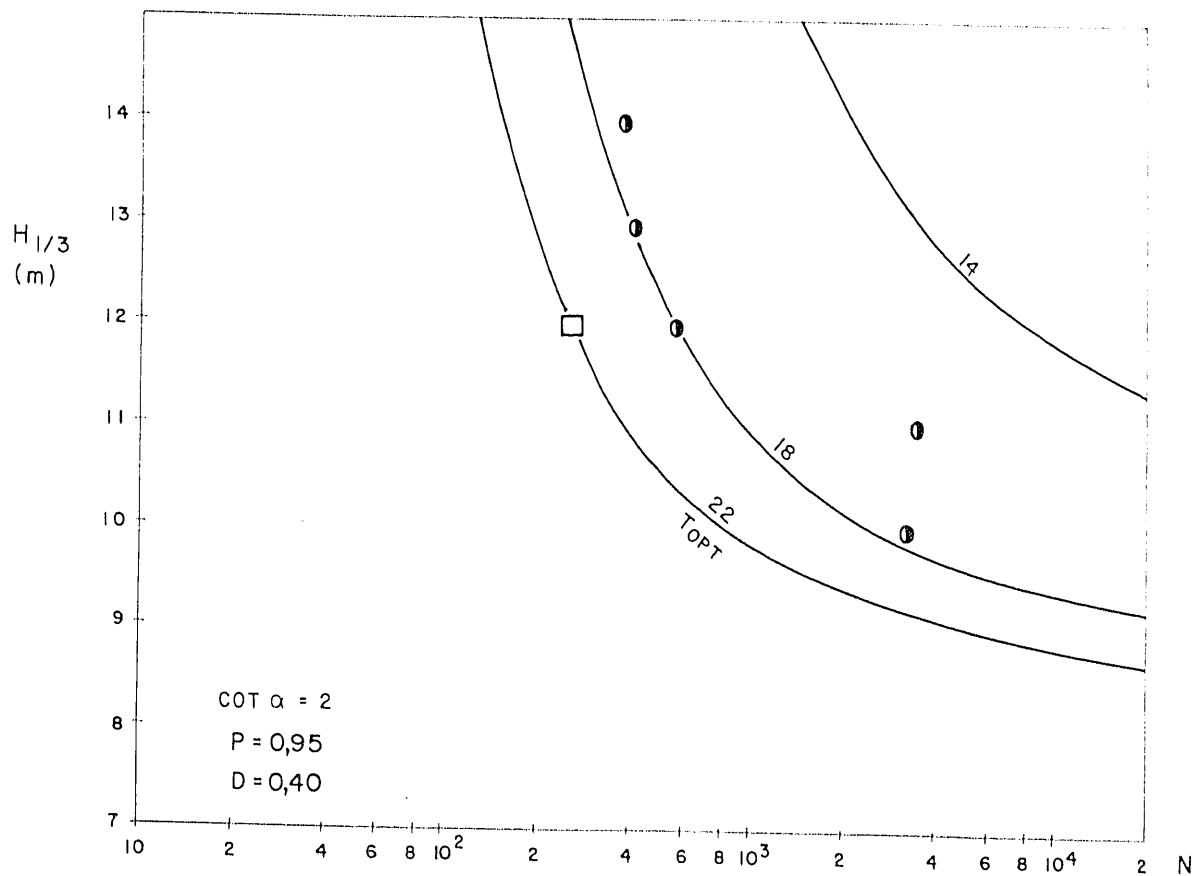
COMPONENTE DE FALLO GRADUAL DEL MANTO PRINCIPAL DE LOS DIQUES DE...



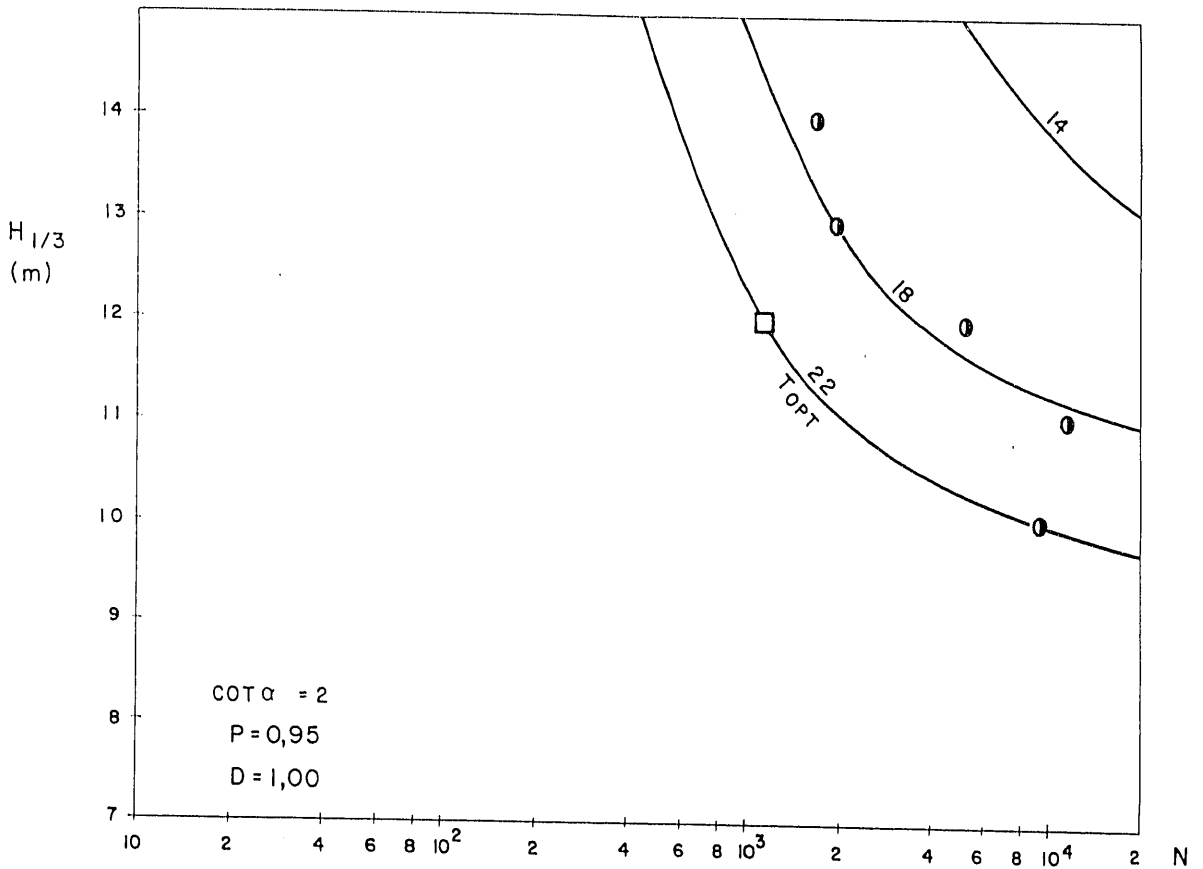
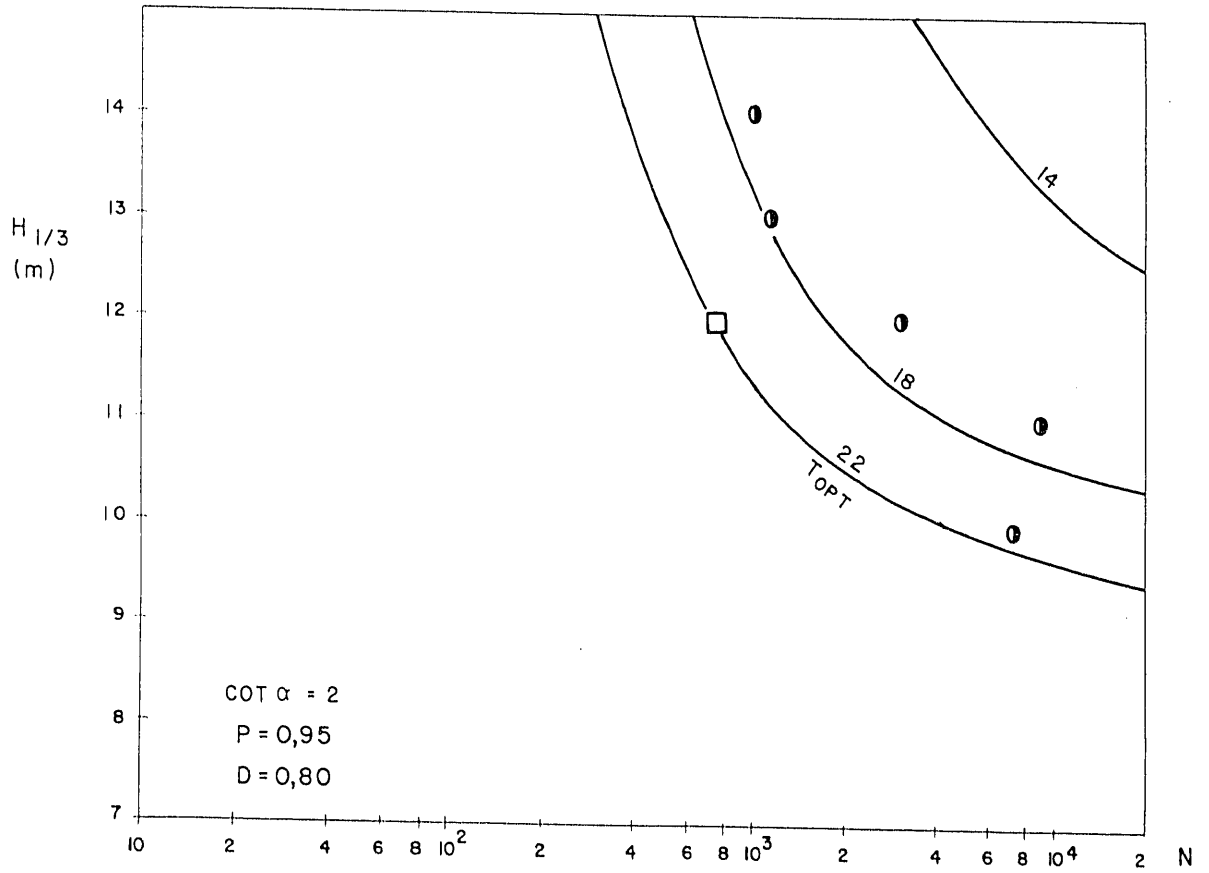
COMPONENTE DE FALLO GRADUAL DEL MANTO PRINCIPAL DE LOS DIQUES DE...



COMPONENTE DE FALLO GRADUAL DEL MANTO PRINCIPAL DE LOS DIQUES DE...



COMPONENTE DE FALLO GRADUAL DEL MANTO PRINCIPAL DE LOS DIQUES DE...



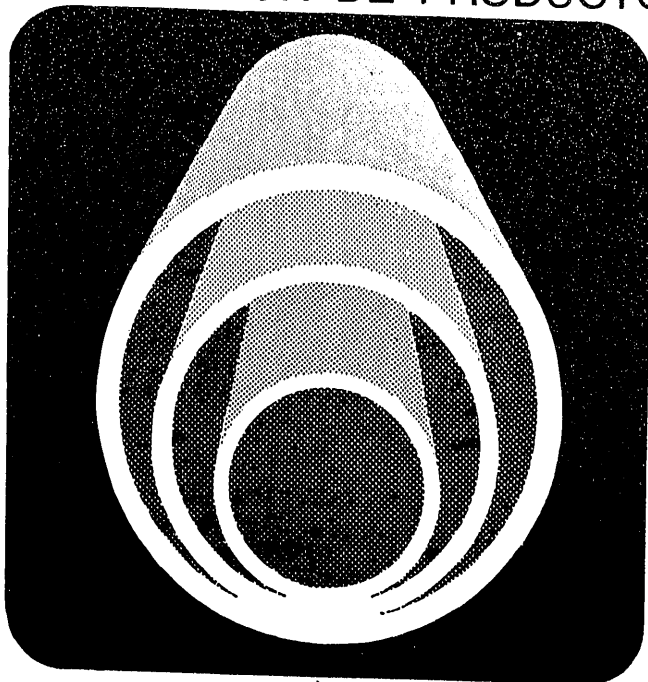
COMPONENTE DE FALLO GRADUAL DEL MANTO PRINCIPAL DE LOS DIQUES DE...

BIBLIOGRAFIA

- [1] AHRENS, P. J. (1975): "The influence of wave period on the stability of rubble mound breakwaters". Coastal Eng. Res. Center. Techn. Mem. 51.
- [2] BORES, P. S. (1968): "Ola de Cálculo". Ministerio de Obras Públicas, 4B. Madrid.
- [3] BORES, P. S. (1973): "Apuntes de Diques". Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.
- [4] BORES, P. S. (1977): "Multivariate Risk and Optimum Economic Analysis in Maritime Structures". Isle of Wight. England.
- [5] BRUUN, P., and JOHANNESSON, P. (1976): "Parameters affecting the stability of rubble mounds". Proc. A.S.C.E. Harbors and Coastal Div. 102.
- [6] BRUUN, P., and GUNBAK, A. R. (1978): "Stability of sloping structures in relation to $\xi = \tan \alpha / \sqrt{H}/L_1$. Risk criteria in design". Coastal Eng. Intern. Vol. 4.
- [7] CASTRO, E. (1934): "Diques de escollera". Revista de Obras Públicas.
- [8] HEDAR, A. (1960): "Stability of rock-fill breakwaters". Chalmers Techn. Hog. Goteborg.
- [9] HUDSON, R. Y. (1953): "Wave forces on breakwaters. Engineering Aspects of Water Waves". Trans A.S.C.E.
- [10] HUDSON, R. Y. (1959): "Laboratory Investigation of rubble mound breakwaters". Proc. A.S.C.E., WW-3.
- [11] IRIBARREN, R. (1938): "Fórmula para el cálculo de los diques de escollera". San Sebastián.
- [12] IRIBARREN, R. (1965): "Formule pour le calcul des digues en anrochement naturels ou elements artificiels". P.I.A.N.C. Int. Congress Stockholm.

IBERTUBO, S.A.

FABRICACION DE PRODUCTOS DE AMIANTO-CEMENTO



- PLACAS ONDULADAS
- PLACAS LISAS
- PLACAS ESPECIALES
- TUBERIA DE PRESION
- TUBERIA SANITARIA
- TUBERIA LIGERA
- PIEZAS Y ACCESORIOS
PARA TUBERIA Y PLACAS



FABRICA:
POLIGONO INDUSTRIAL
DE TOLEDO

OFICINA COMERCIAL:
BRAVO MURILLO, 52, 6.º
TELEFONO: 441 21 00
MADRID - 3

