

REVISION DE LOS PARAMETROS DE LA FORMULA IRIBARREN PARA DIQUES DE ESCOLLERA. INFLUENCIA DE LA DURACION Y DEL PERIODO EN LA PROBABILIDAD DE FALLO.

Por M. A. LOSADA - L. A. GIMENEZ CURTO

Departamento de Puertos y Obras Marítimas de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Santander.

RESUMEN

De los datos experimentales de Iribarren se obtienen el coeficiente Q como una función del parámetro $\xi = \text{tg } \alpha / \sqrt{H/L_0}$; se calcula, con esta base, la probabilidad de fallo de un dique de escollera cuando es solicitado por un estado de mar de parámetros H_s , T_z , t_d .

1. INTRODUCCION

Un dique de escollera a lo largo de su vida es solicitado por sucesivos temporales, algunos de los cuales aislada o conjuntamente pueden causarle averías o destruirlo totalmente. Cada uno de los temporales puede ser estudiado como una sucesión de estados de mar, de duración t_d , altura de ola significativa H_s , y período medio de paso ascendente por cero T_z , en general, diferentes. Con cada estado de mar se presentarán un número variable de olas, H , T_z , solicitarán al dique de diferente forma y en consecuencia su efecto será diferente, dependiendo del movimiento de las partículas de agua originado por la presencia de la ola y de la forma de la misma, antes y durante su ataque al dique.

En consecuencia el comportamiento de un dique bajo la acción de una única ola u onda, depende de

a) Parámetros estructurales (geométricos y físicos), peso y densidad del bloque, talud, permeabilidad, etc.

b) Parámetros de la onda, altura H , período T , peralte $\frac{H}{L}$, $\frac{h}{L}$, $\frac{H}{L}$, dirección del ataque, θ , etc.

c) Parámetros ambientales, pendiente del fondo antes y después de construir la obra, rugosidad del fondo etc.

A lo largo de los últimos cien años se han propuesto diversas relaciones entre los parámetros de la onda y los parámetros estructurales del dique, todas ellas basadas en criterios semiempíricos.

La mayor parte de los coeficientes de estas fórmulas fueron obtenidos en ensayos con oleaje regular, utilizando diferentes técnicas de trabajo. Una recopilación de éstas se encuentra en (1).

Teóricamente se han intentado justificar estas fórmulas con esquemas, más o menos simples y poco realistas, de los efectos hidrodinámicos producidos bajo la acción de la onda; una clasificación de los cuales puede verse en (2). Recientemente, (3) y (4), se viene realizando un esfuerzo

importante a fin de aclarar la acción hidrodinámica y el efecto del oleaje sobre el dique, así como las causas de la extracción de cantos del manto principal.

Durante varios años estas fórmulas han servido de base para calcular la estabilidad de los diques de escollera durante su vida útil, recayendo sobre ellas la difícil tarea de valorar la acción de todos los temporales sobre el dique, a través, únicamente, de una ola de altura H , olvidando por tanto, la variabilidad de las olas en un estado de mar, la duración del mismo, la acción de un temporal como sucesión de estados de mar y por último la acción de una sucesión de temporales.

En la recopilación realizada por el PIANC, (1) se aprecia que la mayor parte de las formulaciones existentes obtienen el peso del canto del manto principal como una función del cubo de la altura de ola, la densidad relativa del bloque y el talud. Solamente unas pocas fórmulas incluyen el período o la longitud de la onda. Los trabajos más recientes (4), (5) y (6) han demostrado la importancia del período en la estabilidad del manto principal, lo que llevó a la comisión del PIANC (1) a recomendar la utilización exclusivamente de aquellas fórmulas que tengan en cuenta el período.

Conviene destacar en este punto los trabajos de Font, (7) y (8), quien obtuvo los coeficientes de estabilidad en función de la duración del estado de mar, solicitando el dique con un número de olas de altura dada por la distribución de Rayleigh.

A lo largo de estos años la duración del estado de mar se ha tenido en cuenta en cierta manera a la hora de elegir la ola de cálculo. En España un método en este sentido fue propuesto por S. Bores (9), por el cual se elige la ola de cálculo, teniendo en cuenta la duración del estado de mar y el período medio. Esta ola de cálculo así obtenida es un promedio de las olas mayores, admitiendo de esta manera que son aquéllas las causantes de la avería.

Los autores (10), propusieron un modelo teórico para tener en cuenta la duración de un estado de mar en el cálculo de la estabilidad de un dique de escollera, a través del número de olas de altura superior a una dada que solicitan el dique en un estado de mar, así como la influencia de un temporal estudiado éste como una sucesión de estados de mar.

Un intento de valorar la acción de una sucesión de temporales sobre una obra se encuentra en (11), donde se simula la aparición de los temporales, en base a datos recogidos en el punto de implantación de la obra.

Hasta el momento no existe una metodología que conjuntamente tenga en cuenta la influencia de un estado de

REVISIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA FÓRMULA DE IRIBARREN PARA DIQUES DE ESCOLLERA. INFLUENCIA DE LA DURACIÓN Y DEL PERÍODO EN LA PROBABILIDAD DE FALLO.

mar, de la altura de la ola, período de la ola y duración del estado del mar en el análisis de la estabilidad de un dique de escollera.

Presentado un estado de mar definido por H_s , $\bar{T}_z$, t_d , en él pueden aparecer olas de altura H y período T_z cuya presencia puede iniciar averías en el dique o presentadas varias con esas o peores condiciones alcanzarse la destrucción total del mismo. Una valoración de la probabilidad de presentación de estos pares de valores H y T_z permite cuantificar el nivel de riesgo de fallo de la obra con un peso W del canto del manto principal durante la presentación del estado de mar (H_s , $\bar{T}_z$, t_d).

2. EL COEFICIENTE Q DE IRIBARREN

De acuerdo con lo dicho en el apartado 1, para estudiar la probabilidad de fallo de un dique de escollera, primeramente se debe adoptar una relación entre los parámetros estructurales del dique y los parámetros del oleaje, siendo conveniente escoger una formulación que incluye el mayor número de parámetros que intervienen en el fenómeno.

Puesto que ninguna de las formulaciones existentes (1) incluyen todos los parámetros que influyen en el fenómeno, es evidente que cualquiera que se elija presentará dispersiones más o menos grandes, siendo éstas tanto menores cuanto mejor reproduzcan la realidad los ensayos en que se han basado para obtener la fórmula.

Por esta razón la expresión de partida que se utiliza en el presente trabajo es la más simple, propuesta por Iribarren para las aplicaciones prácticas. Recoge la idea, generalmente aceptada (12) y (13) de que el peso de cantos necesario para resistir la acción de una onda de altura H , es proporcional a H^3 y $R = \frac{d}{(d-1)^3}$ (siendo d la densidad relativa del canto), de modo que el peso de cada canto viene dado por:

$$P = Q R H^3 \quad (2-1)$$

Incorporando un único coeficiente, Q , que engloba los dos de Iribarren (14), N_1 y f , siendo

$$Q = \frac{N_1}{(f \cos \alpha - \sin \alpha)^3} \quad (2-2)$$

y cuya relación con el "Número de estabilidad" de Hudson, N_s , es:

$$Q = \gamma_w N_s^{-3} \quad (\gamma_w = \text{peso específico del agua})$$

Este coeficiente se ha estudiado partiendo de los ensayos realizados por Iribarren sobre bloques artificiales y escolleras naturales.

Se fijó como criterio para la INICIACIÓN DE AVERÍAS, la caída de un cierto número de cantos, tal que existiera ya una franca iniciación de averías; asegurando así que se arrancaron del manto principal.

Establecida, para cada ensayo, la altura de ola que iniciaba las averías, H_i , y teniendo en cuenta el período (que fija la longitud de onda en profundidades indefinidas L_0) se calcularon los valores:

$$Q = \frac{P}{R H_i^3}$$

$$\xi = \frac{\text{tg } \alpha}{\sqrt{H_i/L_0}}$$

Resultando que para cada tipo de cantos (bloques o escolleras) y para cada talud del manto principal, se obtenía una serie de pares de valores (Q , ξ).

Se estudió entonces la correlación existente entre Q y ξ mediante regresión lineal, utilizando los siguientes modelos:

- 1.— $Q = A \xi + B$
 - 2.— $Q = A \xi^B$
 - 3.— $Q = A \xi e^{B\xi}$
 - 4.— $Q = A (\xi - \xi_0) e^{B(\xi - \xi_0)}$
- (2-3)

En las tablas 1 y 2 se resumen los coeficientes de correlación que se obtuvieron en cada caso para iniciación de averías.

De la observación de estos resultados se desprende que el modelo 4 es el que responde más adecuadamente en todos los casos, produciendo coeficientes de correlación mayores que 0,9 para taludes normales y un poco más bajos para taludes muy rígidos.

El valor de ξ_0 , del modelo 4, que corresponde al mínimo valor posible de ξ , se estableció por:

$$\left(\frac{H}{L_0} \right)_{\text{mín}} = 0,142 \quad (\text{Michell, 1893})$$

es decir:

$$\xi_0 = 2,65 \text{ tg } \alpha \quad (2-4)$$

Admitimos que no son posibles menores valores de ξ ya que la onda romperá por inestabilidad.

Adoptamos pues, el modelo 4 para representar la respuesta del dique a la acción de una onda. Es decir:

$$Q = A (\xi - \xi_0) e^{B(\xi - \xi_0)} \quad \xi \geq \xi_0 \quad (2-5)$$

En las figuras 1.1 y 2.1 se han dibujado las funciones (2-5) correspondientes a iniciación de averías, según el criterio que se ha elegido, junto con los resultados de la experimentación.

Como puede observarse los valores de Q que produce esta curva son siempre menores que los que propuso Iribarren; pero esto es debido a que el criterio de iniciación de averías adoptado es menos restrictivo.

Para poder comparar los valores de Q son los propuestos por Iribarren se han dibujado, en las figuras 1.2 y 2.2, las funciones correspondientes al criterio de rotura de Iribarren. Se puede observar que el valor de Q de éste, está por debajo del máximo de la curva ajustada. Si se conservase el criterio de Iribarren los valores de Q correspondientes a iniciación de averías se obtendrían multiplicando las funciones $Q = f(\xi)$ de rotura por el factor 4.1 y este valor quedaría por debajo del máximo de la curva adoptada. Sin embargo no se ha aceptado este criterio de valoración de Q para iniciación de averías por considerarse excesivamente conservador. El peso correcto del canto no se consigue mejorando aquellos parámetros sobre los que se tiene información; sino eligiendo adecuadamente los valores de todas las variables que influyen.

En este sentido el verdadero problema de la fórmula de Iribarren es que no tiene en cuenta algunos de los parámetros que influyen decisivamente en el fenómeno, como son: la variabilidad y el período del oleaje, la secuencia de

REVISION DE LOS PARAMETROS DE LA FORMULA DE IRIBARREN PARA DIQUES DE ESCOLLERA. INFLUENCIA DE LA DURACION Y DEL PERIODO EN LA PROBABILIDAD DE FALLO.

olas, (grupos), la duración de los estados de mar y, por último, la sucesión de temporales.

En consecuencia, el riesgo que se corre utilizando esta fórmula no está en la respuesta del dique, obtenida de los ensayos, sino en la simplificación de la compleja naturaleza de la sollicitación, la cual se reduce únicamente a una altura de ola H . Un solo parámetro de cálculo al que se encomienda la tarea de representar toda la variabilidad de la sollicitación durante la vida de la obra, no puede permitir dimensionarla adecuadamente.

3. FILOSOFIA DEL MODELO. SUS HIPOTESIS

En la construcción de un modelo, que permita valorar conjuntamente la influencia de la altura de ola, período y duración del estado de mar en la estabilidad de un dique de escollera, establecemos las siguientes hipótesis:

I – CRITERIO DE FALLO:

la.—Un dique falla cuando se inician las averías en su manto principal.

lb.—La iniciación de averías en el manto se produce por la incidencia de al menos una ola cuyas características de altura y período sean suficientes.

lc.—La respuesta del dique a la acción de una ola viene regida por las funciones $Q = f(\xi)$ obtenidas en el apartado anterior para cada talud y tipo de cantos.

Una ola (sollicitación), con un período de paso ascendente por cero T_z , y una altura H ; produce un valor de la variable $W = QRH^3$. Si el peso de los cantos del manto principal del dique es P , diremos que el dique falla cuando:

$$W > P$$

II – HIPOTESIS DE EQUIVALENCIA

En oleaje irregular, el efecto causado en el manto principal del dique por cada ola es equivalente al causado por una onda regular de la misma altura y el mismo período (15), (16), (4).

La hipótesis II b, si bien es restrictiva, en el sentido de que una sola ola, a no ser de características excepcionales, no va a producir un grave daño, puede aceptarse si se tiene en cuenta que estamos estudiando la iniciación de averías, y además, (17), (18), que las olas grandes, que son las que nos interesan, rara vez se presentan aisladas dentro de un estado de mar.

Respecto a la hipótesis II c, es claro que el coeficiente Q depende de más parámetros que el tipo de cantos, el talud del manto y el parámetro de Iribarren ($\xi = \tan \alpha / \sqrt{H/L_0}$); ya que debe recoger, de alguna manera, el efecto de todos los factores que intervienen en el fenómeno y no son directamente considerados, tanto parámetros del oleaje como del dique. Su validez será tanto mayor cuanto más se acerquen los valores dados por las funciones $Q = f(\xi)$ a los resultados experimentales; es decir, cuanto menores sean las dispersiones.

La hipótesis II es discutible, pero necesaria. Sin embargo, en el caso de la iniciación de averías, que es el que se analiza aquí, aparece como una hipótesis razonable si se tiene en cuenta que no influye la ordenación ni el efecto de acumulación de daño de las olas sucesivas; sino que basta, admiti-

da la hipótesis Ib, con que se presentan alguna vez unas determinadas condiciones de altura de ola y período.

Admitidas estas hipótesis, supóngase un dique con un tipo de cantos dado, de peso P y un talud de ángulo α , el cual es abordado por UNA OLA de altura H y período T_z . A partir de α , H y T_z se obtiene un valor de ξ , y por tanto un valor de Q , de (2-5). El dique no tendrá averías si $W = QRH^3 \leq P$.

Supóngase, ahora, que este dique es abordado por un ESTADO DE MAR definido por su altura de ola significativa, período medio de paso por cero ascendente y duración ($H_s, \bar{T}_z, t_d$). El dique no fallará si todas y cada una de las olas que componen el estado de mar producen valores de $W = QRH^3$ menores o iguales que P .

Si se consideran las alturas de ola y períodos como variables aleatorias (H, T_z) el coeficiente Q , que a través de ξ depende de H y T_z , será también una variable aleatoria. Es lícito en consecuencia hablar de $W = QRH^3$ como una variable aleatoria, cuya función de distribución, dentro del estado de mar, será $F_W(w)$.

Según esto se puede escribir:

$$\begin{aligned} \text{Probabilidad de no fallo} &= \\ &= \text{Prob} [\max (W) \text{ en el estado de mar } (H_s, \bar{T}_z, t_d) \leq P] = \\ &= F_{MW}(P) \end{aligned} \quad (3-1)$$

Siendo $F_{MW}(w)$ la función de distribución de los valores máximos de la variable aleatoria W en el estado de mar definido por $H_s, \bar{T}_z, t_d$. Conocida esta distribución se conoce, para cada peso de los cantos del manto principal, P , la probabilidad de que no se inicien las averías, $F_{MW}(P)$.

Admitiendo como nueva hipótesis, la independencia de sucesos, es decir, que las características de altura y período (H, T_z) de una ola no están correlacionadas con las de la anterior; tendremos:

$$\text{Prob (NO FALLO)} = F_{MW}(P) = [F_W(P)]^N \quad (3-2)$$

Siendo N el número de olas del estado de mar.

Para calcular $[F_W(w)]^N$ se utilizó la función de densidad conjunta de las variables H, T_z , dividiéndose el plano (H, T_z) en pequeñas celdas elementales de lados $\Delta H, \Delta T_z$ mediante la malla correspondiente, y variando H y T_z desde 0 hasta unos valores máximos determinados. Cada celda proporciona un valor de W asociado a una probabilidad, con lo cual se obtiene la función de distribución de W y a través de (3-2) la probabilidad de no fallo.

Se aplicó este método utilizando las tres funciones de densidad conjunta de H y T_z más conocidas, Bretschneider (19) Longuet-Higgins (20) y Cavanié, Arhan & Ezraty (21). Los resultados obtenidos fueron muy distintos en los tres casos y además, poco razonables. Esto se debe, sin duda, a que estas distribuciones van bastante bien en los valores medios, pero no están ajustadas a la realidad en las colas, es decir, en sus valores extremos, que son las zonas que en este caso interesan (22).

Para obviar la falta de precisión en la distribución conjunta de períodos y alturas de ola, ha sido necesario modificar el modelo inicial mediante la aceptación de tres nuevas

REVISION DE LOS PARAMETROS DE LA FORMULA DE IRIBARREN PARA DIQUES DE ESCOLLERA. INFLUENCIA DE LA DURACION Y DEL PERIODO EN LA PROBABILIDAD DE FALLO.

hipótesis, cuyo objetivo es maximizar la causa excitatriz (oleaje) en vez de la respuesta estructural (movimiento de cantos).

4. HIPOTESIS COMPLEMENTARIAS

III.—El valor máximo de la variable aleatoria $W = QRH^3$ en un estado de mar (H_s, T_z, t_d) se da para la ola mayor de éste.

IV.—La función de densidad de la altura de ola máxima en un estado de mar (H_s, T_z, t_d) de N olas viene dado por:

$$P_1(H) = \frac{4HN}{H_s^2} \left[1 - e^{-\frac{2H^2}{H_s^2}} \right]^{N-1} \cdot e^{-\frac{2H^2}{H_s^2}} \quad (4-1)$$

V.—No existe correlación entre los períodos y alturas de ola y la función de densidad de los períodos viene dada por (19):

$$P_2(T_z) = 2,7 \frac{T_z^3}{T_d^4} \cdot e^{-0,675 (T_z/\bar{T}_z)^4} \quad (4-2)$$

La hipótesis III es una herramienta de trabajo y responde a la necesidad de obviar el desconocimiento existente en las colas de las distribuciones conjuntas de alturas de ola y períodos. Parece razonable aceptarla si la altura de ola (que va elevada al cubo) influye más que el período. Serán, por tanto, las olas mayores las que causen más daño.

La IV hipótesis es una consecuencia de la utilización de la distribución de Rayleigh y la independencia entre las sucesivas alturas de ola.

La V hipótesis será tanto más válida cuanto más se acerque el oleaje a un oleaje totalmente desarrollado, O.T.D., como señaló Bretschneider (19). No obstante esta hipótesis podría establecerse de otra forma; por ejemplo fijando el período, ya que para las olas más altas de un estado de mar el período varía muy poco en general.

5. PROBABILIDAD DE FALLO DEL DIQUE DE ESCOLLERA

Supóngase que un dique, cuyos cantos del manto principal pesan P , es abordado por un estado de mar (H_s, T_z, t_d) Teniendo en cuenta las hipótesis establecidas en 3.

$$\text{Prob (NO FALLO)} =$$

$$= \text{Prob} [\max(W) \text{ en el estado de mar } (H_s, T_z, t_d) \leq P] \quad (5-1)$$

A través de la hipótesis III, y llamando $H_{\max}$ a la variable aleatoria altura de ola máxima del estado de mar, tendremos:

$$\text{Prob (NO FALLO)} = \text{Prob} [W(H_{\max}, T_z) \leq P] \quad (5-2)$$

Por otra parte, a través de las hipótesis IV y V, la función de densidad conjunta de $H_{\max}$ y T_z , viene dada por:

$$P[H_{\max}, T_z] = P_1(H_{\max}) \cdot P_2(T_z) \quad (5-3)$$

Para cada par ($H_{\max}, T_z$) se tiene un valor de ξ , un valor de Q y, en consecuencia, un valor de W . Si a este valor se le

asocia la probabilidad dada por (5-3), se obtiene, con ayuda de (5-2), la probabilidad de no fallo.

Teniendo en cuenta todo esto se elaboró un programa de ordenador cuyo producto final es la FUNCION DE DISTRIBUCION DEL PESO DE LOS CANTOS. En las figuras 3 a 10 se presentan los resultados obtenidos para algunos casos, los cuales han sido elegidos de manera que pueda apreciarse claramente la influencia, tanto de la duración como del período.

Las figuras 3, 4, 3.1 y 4.1 recogen la influencia de la duración de t_d , del estado de mar para manto principal de bloques con taludes 1.5:1 y 2:1 respectivamente, mientras que las figuras 7 y 8 corresponden a manto principal de escollera de talud 2:1. Las figuras 5, 6, 5.1 y 6.1 recogen la influencia del período de la ola, T_z , para manto principal de bloques con taludes 1.5:1 y 2:1 respectivamente, mientras que las figuras 9 y 10 corresponden a manto principal de escollera de talud 2:1.

5. COMENTARIOS

La aportación principal del presente trabajo es la valoración de LA DURACION del estado de mar, en el cálculo de la estabilidad del manto principal de un dique de escollera, conjuntamente con el período y la altura de ola.

Es importante resaltar el nuevo planteamiento probabilista, iniciado por Bruun y Günbak (4), del método. Con el método propuesto no se obtiene un número de toneladas que debe pesar el canto del manto principal, sino una distribución que asigna un grado de fiabilidad a cada peso.

Bajo esta nueva filosofía la ola de cálculo pierde su importancia para ceder su papel al "ESTADO DE MAR DE CALCULO" en el cual se tienen en cuenta los tres parámetros fundamentales del oleaje: ALTURA DE OLA, PERIODO Y DURACION del estado de mar, apreciándose en las figuras 3 a 10 la influencia de estos dos últimos parámetros.

La validez del método propuesto descansa, naturalmente, en las hipótesis en que se apoya, cuya validez ya ha sido comentada en los apartados 3 y 4.

Es necesario finalmente insistir en que los resultados de las figuras 3 a 10 han sido calculados a partir de unos valores de Q , los cuales se han obtenido de una experimentación con talud indefinido. En consecuencia estos resultados serán válidos en tanto en cuanto aquellos ensayos reproducen adecuadamente la realidad.

6. CONCLUSIONES

1. De los resultados de los ensayos de Iribarren, se demuestra la existencia de una relación entre Q y ξ , dependiendo estas funciones del talud del dique y de la forma del canto del manto principal.
2. Las curvas de mejor ajuste a los resultados experimentales indican la existencia de un máximo de Q para un valor determinado de ψ , de acuerdo con los trabajos de Ahrens y Bruun & Günbak, el cual se traslada a valores menores de ξ para taludes crecientes.
3. La influencia de la duración, t_d , del estado de mar para el mismo peso del canto del manto principal, se refleja en una reducción de la probabilidad de NO FALLO.

REVISION DE LOS PARAMETROS DE LA FORMULA DE IRIBARREN PARA DIQUES DE ESCOLLERA. INFLUENCIA DE LA DURACION Y DEL PERIODO EN LA PROBABILIDAD DE FALLO.

4. La influencia del período medio de paso por cero, $\bar{T}_z$, para el mismo peso del canto del manto principal se refleja en una reducción de la probabilidad de NO FALLO.
5. En el desarrollo del trabajo se ha hecho patente la falta de validez de las distribuciones conjuntas de período y altura de ola en los extremos.
6. Los resultados obtenidos se refieren a profundidades indefinidas. En profundidades reducidas el nivel de probabilidad de NO FALLO, en general aumentará para los estados de mar calculados.

7. AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento al Laboratorio de Puertos "Ramón Iribarren" por permitirnos utilizar, desinteresadamente, los resultados obtenidos en la experimentación llevada a cabo por el profesor Iribarren sobre la estabilidad de los diques de escollera. Esta colaboración se enmarca dentro del "Convenio de Cooperación mutua en Ingeniería Oceanográfica y Portuaria", suscrito por la Universidad de Santander y el Laboratorio de Puertos "Ramón Iribarren" del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.

APENDICE I

LISTA DE SIMBOLOS

P	=	Peso del canto
Q	=	Parámetro de estabilidad de Iribarren
d	=	Densidad relativa del canto
R	=	$\frac{d}{(d-1)^3}$
f	=	Coefficiente de encaje (Iribarren)
N ₁	=	Coefficiente de estabilidad (Iribarren)
α	=	Angulo de inclinación del talud
N _s	=	Número de estabilidad de Hudson
W	=	Variable QRH ³
F _W (w)	=	Función de distribución de W
F _{MW} (w)	x	Función de distribución de los máximos de W
H _i	=	Altura de ola de iniciación de averías
H _s	=	Altura de ola significativa
$\bar{T}_z$	=	Período medio de paso ascendente por cero
H	=	Altura de Ola
T _z	=	Período de paso ascendente por cero
L	=	Longitud de onda
L ₀	=	Longitud de onda en profundidades indefinidas
h	=	Profundidad
t _d	=	Duración del estado de mar
N	=	Número de olas del estado de mar
H _{max}	=	Máxima altura de ola del estado de mar
ξ	=	Parámetro de Iribarren ($\text{tg } \alpha / \sqrt{H/L_0}$)
ξ_0	=	Valor mínimo de ξ

APENDICE II

REFERENCIAS

- (1) Final Report of the International Commission for the study of waves. PIANC, 1976.

- (2) S. Bores, P., 1976. Apuntes de la E.T.S.I.C.C.P. de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.
- (3) Bruun, P. y Johannesson, P., 1976. Parameters affecting the stability of rubble mounds. Proc ASCE, Waters Harbors, Coastal Eng. Division, 102 (W W 2).
- (4) Bruun, P. y Günbak Ali Riza, 1978. Stability of sloping structures in relation to $\xi = \text{tg } \alpha / \sqrt{H/L_0}$. Risk criteria in disgn. Coastal Engineering International, Vol. No. 4.
- (5) Cassten et al., 1966. The stability of rubble mound breakwaters against irregular waves. Proc. Conf. Coastal Eng. 10 th Tokyo Sept. 1966 Vol. II.
- (6) Ahreus, P.J. et al., 1975. Wave Period effect on the stability of riprap. Proc. Civil Eng. in the Ocean III pg. 1019-1034.
- (7) Font, J.B., 1968. The effect of storm duration on rubble mound breakwater stability. Proc. Conf. Coastal Eng. Eng. 11 th London.
- (8) Font, J.B. 1970. Damage functions for a rubble-mound Breakwater under the effect of swells. Proc. Conf. Coastal Eng. 12 th Washington.
- (9) S. Bores, P., 1968. Ola de Cálculo. Centro de Estudios y Experimentación del M.O.P. No. 58.
- (10) Losada, M.A., Giménez Curto, L.A. y Tejedor, L., 1977, Altura de Ola de Cálculo en diques de Escollera. British Hovercraft Corp. Isle of Wight.
- (11) Castillo, E., Losada, M.A. y Puig-Pey, J., 1977. Probabilistic analysis of the number of waves and their influence in the design wave height of marine structures. Safety of structures under dynamic loading. Trondheim.
- (12) Iribarren, R., 1938. Una fórmula para el cálculo de diques de escollera. Revista de Obras Públicas.
- (13) Hudson, R., 1959. Laboratory investigation of rubble mound breakwaters. Proc. ASCE, J. Waterways and Harbors Division. W W 3, Spt.
- (14) Iribarren, R., 1965. Fórmula para el cálculo de los diques de escollera naturales o artificiales. Revista de Obras Públicas, Septiembre y Octubre.
- (15) Saville, T., 1962. An approximation of the wave run-up frequency distribution. Proc. Conf Coastal Eng. 8 th Mexico.
- (16) Battjes, J.A., 1974. Surf Similarity. Proc Conf on Coastal Eng. 14 th Copenhagen, Vol. I.
- (17) Goda, Y., 1976. On Wave Groups. Conf. Boss Conf. pg. 13 - 26 Trondheim.
- (18) Rye, H., 1972. Wave Group Formation Among Storm waves. Proc. Conf Coastal Eng. 14th, Washington.
- (19) Bretschneider, C.L., 1959. Wave variability and wave spectra for wind generated gravity waves, U.S. Army Corp. of Engineers, B.E.B. Tech. Mem. 118.
- (20) Longuet-Higgins, M.S., 1975. On the joint distribution of the period and amplitude of sea waves. J. Geophysical Research, vol. 80, No. 18.
- (21) Cavanie, A., Arhan, M. and Ezraty, R., 1976. A statistical relationship between individual heights and periods of storm waves Proc. Boss Conf. Vol. II, pg. 354-360.
- (22) Battjes, J.A., 1977. Engineering aspects of ocean waves and currents. Safety of structures under dynamic loading. Trondheim.
- (23) Longuet-Higgins, 1952. On the statistical distribution of the heights of sea waves. J. Mar. XI, 3 pg. 245-266.

REVISION DE LOS PARAMETROS DE LA FORMULA DE IRIBARREN
PARA DIQUES DE ESCOLLERA. INFLUENCIA DE LA DURACION
Y DEL PERIODO EN LA PROBABILIDAD DE FALLO.

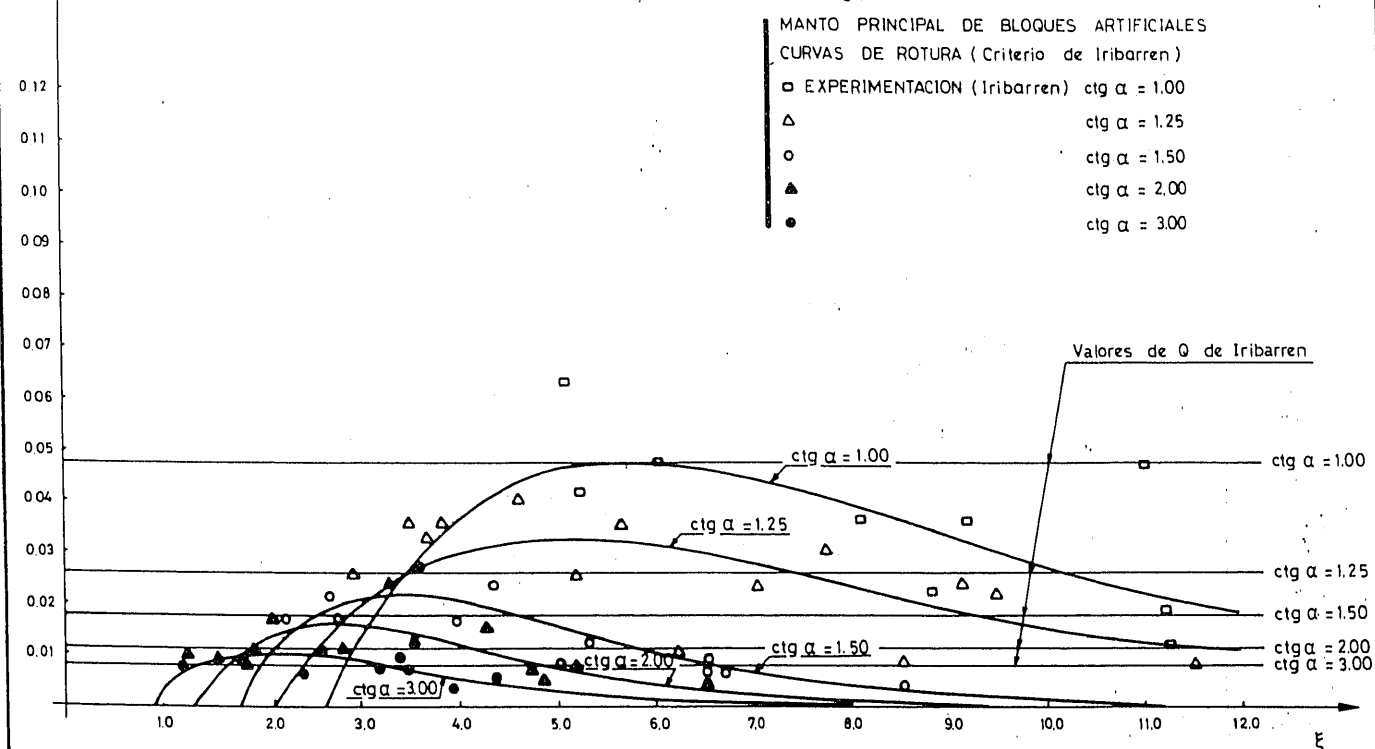
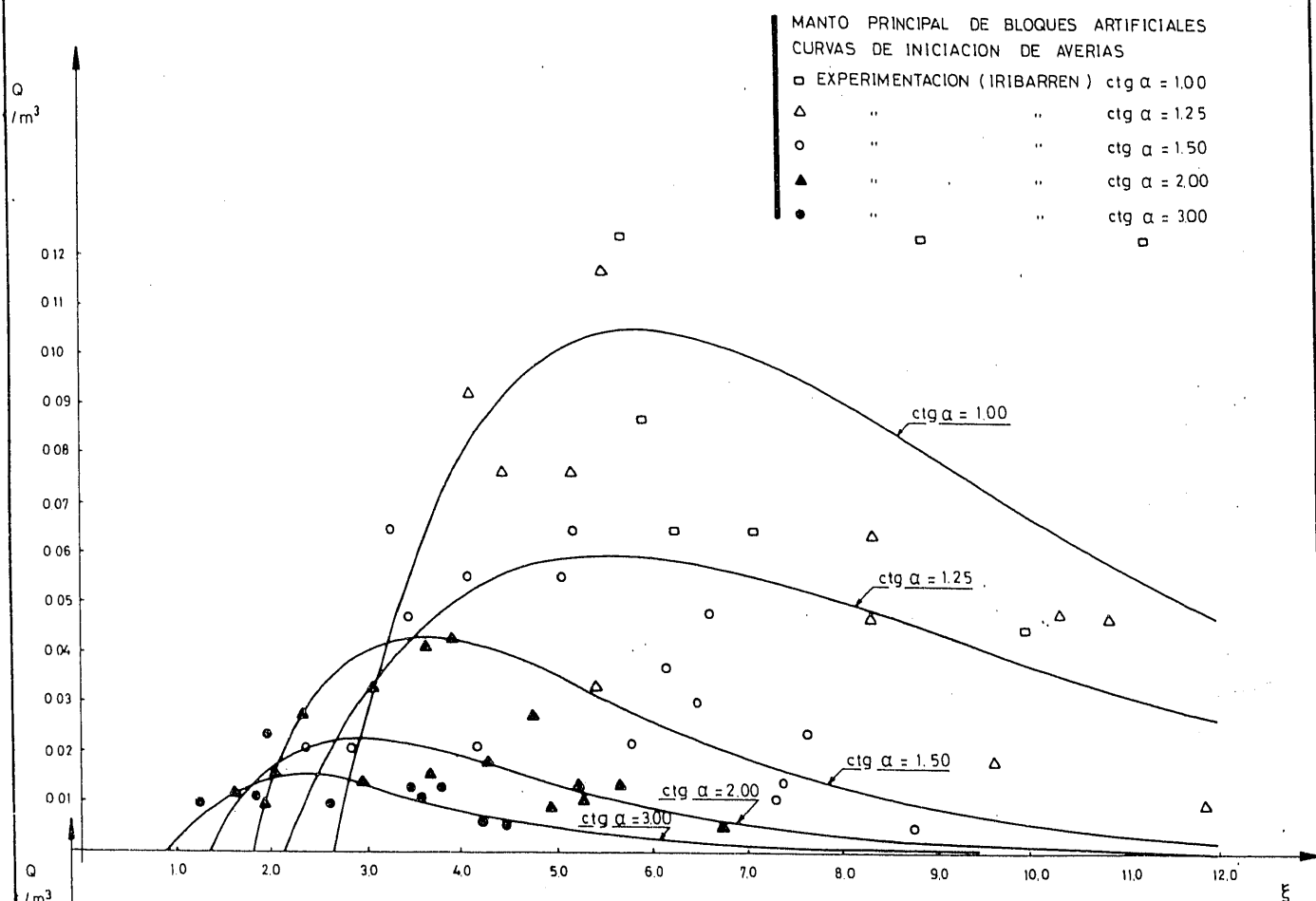
TABLA 1.- Coeficientes de correlación
Manto principal de bloques artificiales
Iniciacion de averías

TALUD	MODELO				Nº DE ENSAYOS
	1	2	3	4	
1.00	· 64	· 63	· 83	· 87	10
1.25	· 45	· 43	· 79	· 86	16
1.50	· 43	· 41	· 80	· 90	17
2.00	· 23	· 21	· 82	· 94	14
3.00	· 23	· 21	· 85	· 95	9
TOTAL					66

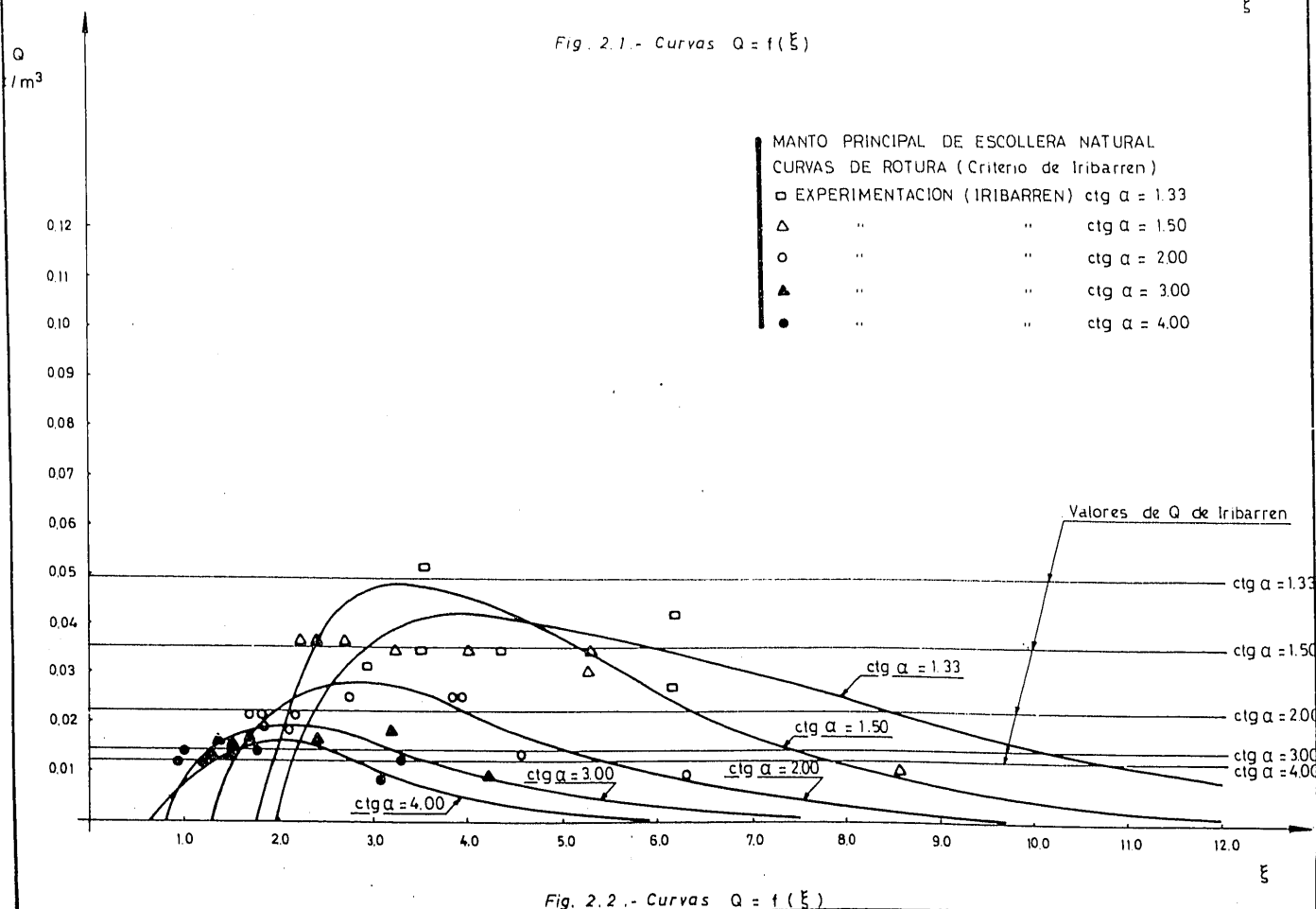
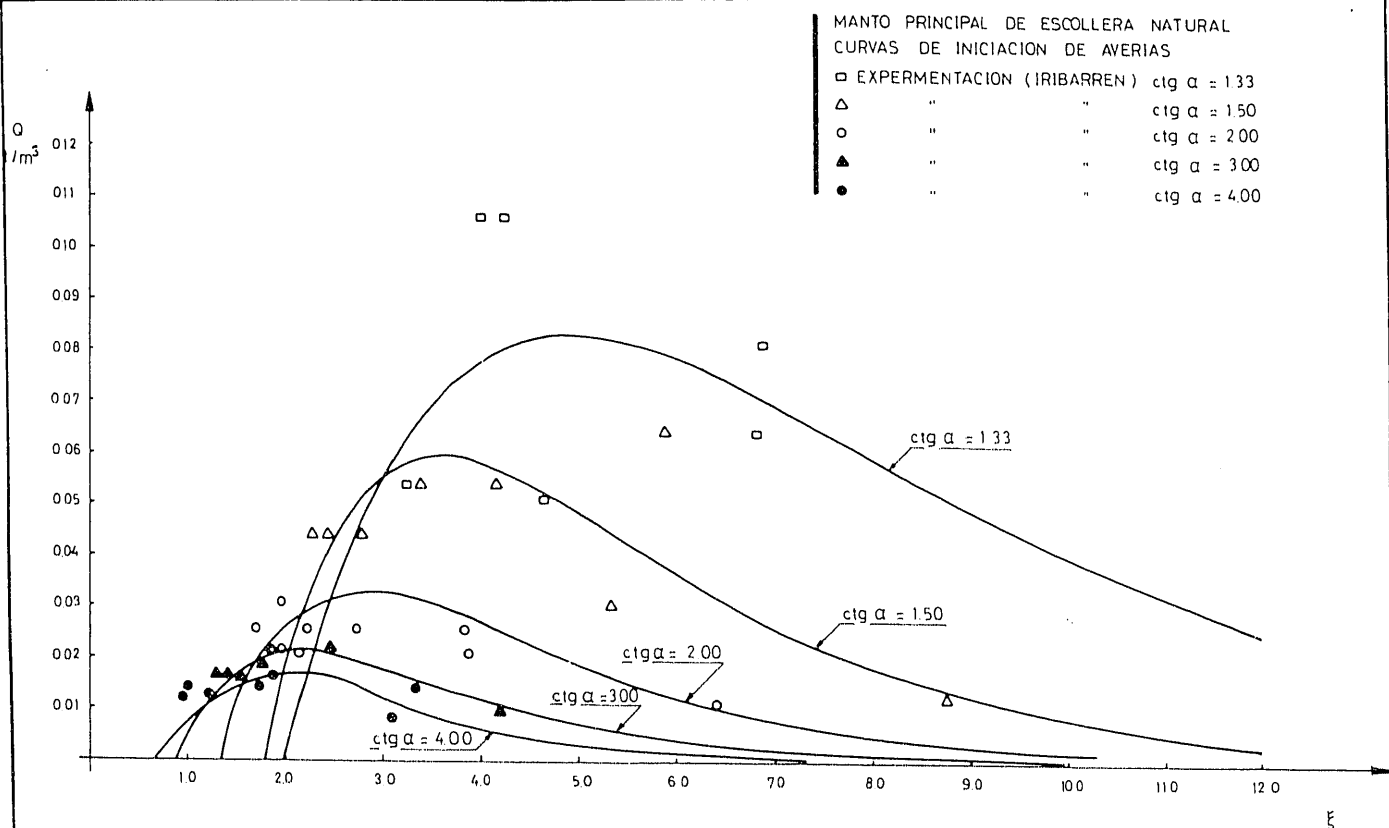
TABLA 2.- Coeficientes de correlación
Manto principal de escolleras naturales
Iniciación de averías

TALUD	MODELO				Nº DE ENSAYOS
	1	2	3	4	
1.33	· 08	· 03	· 69	· 87	6
1.50	· 53	· 58	· 93	· 98	8
2.00	· 77	· 71	· 98	· 99	12
3.00	· 31	· 33	· 95	· 98	7
4.00	· 29	· 29	· 95	· 96	7
TOTAL					40

REVISION DE LOS PARAMETROS DE LA FORMULA DE IRIBARREN PARA DIQUES DE ESCOLLERA. INFLUENCIA DE LA DURACION Y DEL PERIODO EN LA PROBABILIDAD DE FALLO.



REVISION DE LOS PARAMETROS DE LA FORMULA DE IRIBARREN PARA DIQUES DE ESCOLLERA. INFLUENCIA DE LA DURACION Y DEL PERIODO EN LA PROBABILIDAD DE FALLO.



REVISION DE LOS PARAMETROS DE LA FORMULA DE IRIBARREN PARA DIQUES DE ESCOLLERA. INFLUENCIA DE LA DURACION Y DEL PERIODO EN LA PROBABILIDAD DE FALLO.

ESTADO DE MAR $\left\{ \begin{array}{l} H_s = 8 \text{ m.} \\ \bar{T}_z = 12 \text{ sg} \\ \text{duracion } l_d = \text{variable} \end{array} \right.$
PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

MANTO PRINCIPAL DE BLOQUES
DENSIDAD $S_r = 2.3 \text{ T/m}^3$
 $\text{ctg } \alpha = 1.5$
CURVAS DE INICIACION DE AVERIAS

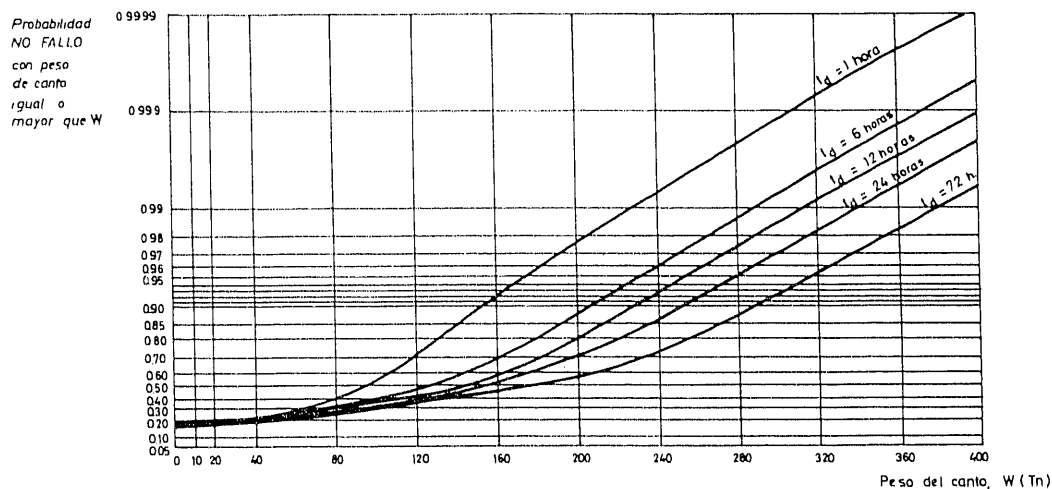


Fig. 3 - Influencia de la duración l_d

ESTADO DE MAR $\left\{ \begin{array}{l} H_s = 8 \text{ m.} \\ \bar{T}_z = 12 \text{ sg} \\ \text{duracion } l_d = \text{variable} \end{array} \right.$
PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

MANTO PRINCIPAL DE BLOQUES
DENSIDAD $S_r = 2.3 \text{ T/m}^3$
 $\text{ctg } \alpha = 2$
CURVAS DE INICIACION DE AVERIAS

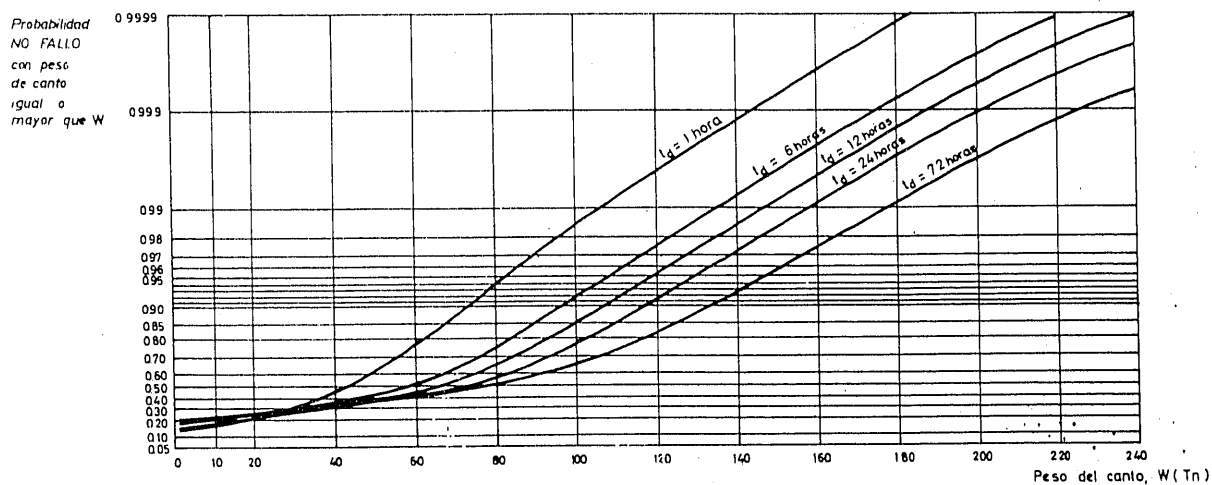


Fig. 3)- Influencia de la duración l_d

REVISION DE LOS PARAMETROS DE LA FORMULA DE IRIBARREN PARA DIQUES DE ESCOLLERA. INFLUENCIA DE LA DURACION Y DEL PERIODO EN LA PROBABILIDAD DE FALLO.

ESTADO DE MAR $\left\{ \begin{array}{l} H_s = 8 \text{ m} \\ T_z = 12 \text{ sg} \\ \text{duración } t_d = \text{variable} \end{array} \right.$
PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

MANTO PRINCIPAL DE BLOQUES
DENSIDAD $S_r = 2.3 \text{ T/m}^3$
 $\text{ctg } \alpha = 1.5$
CURVAS DE INICIACION DE AVERIAS

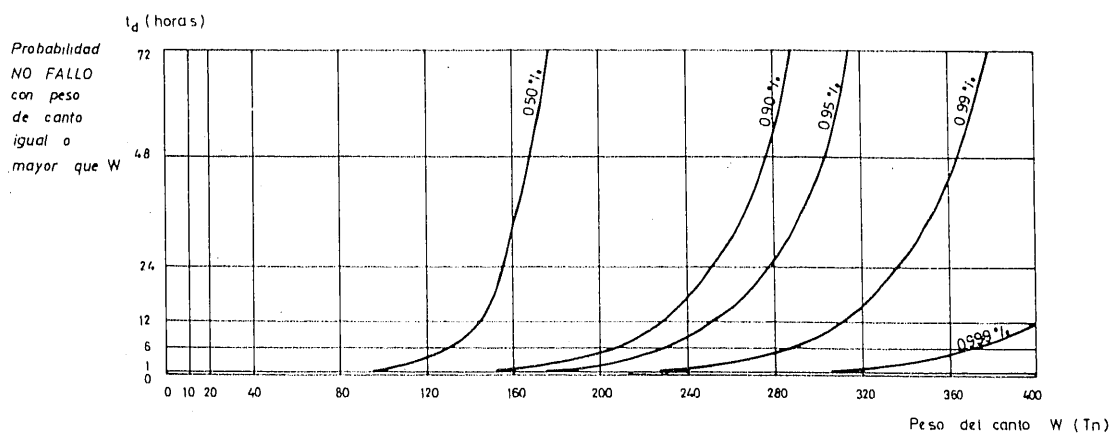


Fig 4 - Influencia de la duración al nivel de fallo del $\alpha\%$.

ESTADO DE MAR $\left\{ \begin{array}{l} H_s = 8 \text{ m} \\ T_z = 12 \text{ sg} \\ \text{duración } t_d = \text{variable} \end{array} \right.$
PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

MANTO PRINCIPAL DE BLOQUES
DENSIDAD $S_r = 2.3 \text{ T/m}^3$
 $\text{ctg } \alpha = 2$
CURVAS DE INICIACION DE AVERIAS

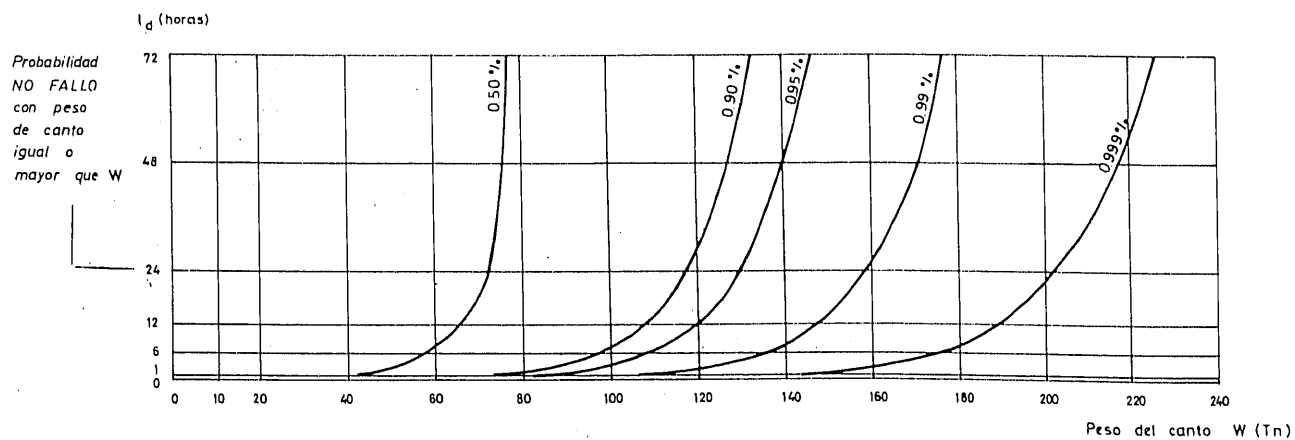


Fig. 4.1.- Influencia de la duración al nivel de fallo del $\alpha\%$.

REVISION DE LOS PARAMETROS DE LA FORMULA DE IRIBARREN PARA DIQUES DE ESCOLLERA. INFLUENCIA DE LA DURACION Y DEL PERIODO EN LA PROBABILIDAD DE FALLO.

ESTADO DE MAR $\left\{ \begin{array}{l} H_s = 8 \text{ m} \\ \bar{T}_z = \text{variable} \\ \text{duración } t_d = 4 \text{ horas} \end{array} \right.$
PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

MANTO PRINCIPAL DE BLOQUES
DENSIDAD $S_r = 2.3 \text{ T/m}^3$
 $\text{ctg } \alpha = 2$
CURVAS DE INICIACION DE AVERIAS

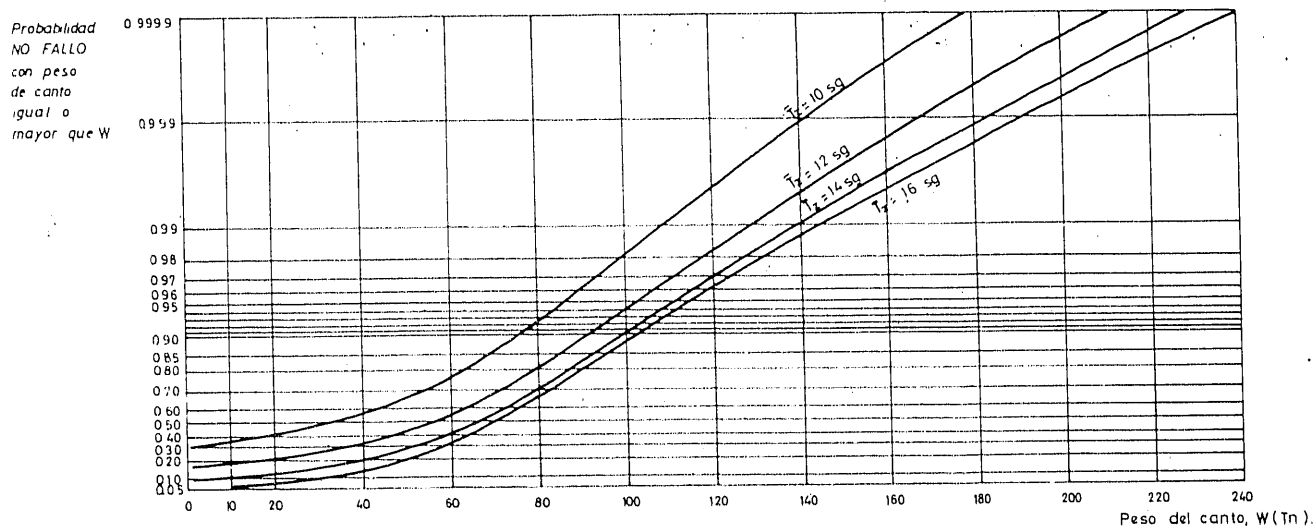


Fig 5 - Influencia del periodo, $\bar{T}_z$

ESTADO DE MAR $\left\{ \begin{array}{l} H_s = 8 \text{ m} \\ \bar{T}_z = \text{variable} \\ \text{duración } t_d = 4 \text{ horas} \end{array} \right.$
PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

MANTO PRINCIPAL DE BLOQUES
DENSIDAD $S_r = 2.3 \text{ T/m}^3$
 $\text{ctg } \alpha = 1.5$
CURVAS DE INICIACION DE AVERIAS

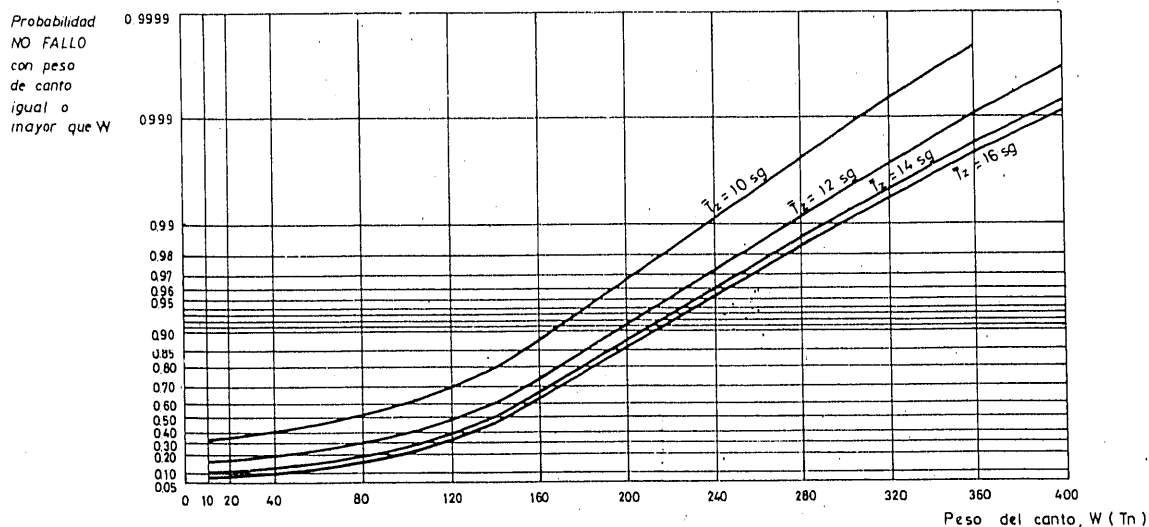


Fig. 5.1.- Influencia del periodo, $\bar{T}_z$

REVISION DE LOS PARAMETROS DE LA FORMULA DE IRIBARREN PARA DIQUES DE ESCOLLERA. INFLUENCIA DE LA DURACION Y DEL PERIODO EN LA PROBABILIDAD DE FALLO.

ESTADO DE MAR $\left\{ \begin{array}{l} H_s = 8m. \\ \bar{T}_Z = \text{variable} \\ \text{duracion } t_d = 4 \text{ horas} \end{array} \right.$
PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

MANTO PRINCIPAL DE BLOQUES
DENSIDAD $S_r = 2.3 \text{ T/m}^3$
 $\text{ctg } \alpha = 2$
CURVAS DE INICIACION DE AVERIAS

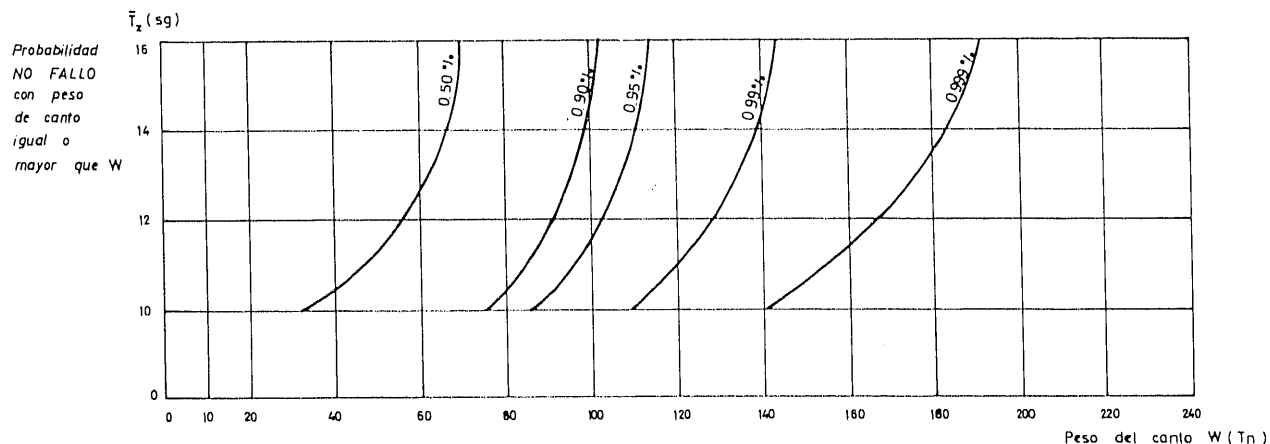


Fig. 6 - Influencia del periodo al nivel de fallo del $\alpha\%$.

ESTADO DE MAR $\left\{ \begin{array}{l} H_s = 8m. \\ \bar{T}_Z = \text{variable} \\ \text{duracion } t_d = 4 \text{ horas} \end{array} \right.$
PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

MANTO PRINCIPAL DE BLOQUES
DENSIDAD $S_r = 2.3 \text{ T/m}^3$
 $\text{ctg } \alpha = 1.5$
CURVAS DE INICIACION DE AVERIAS

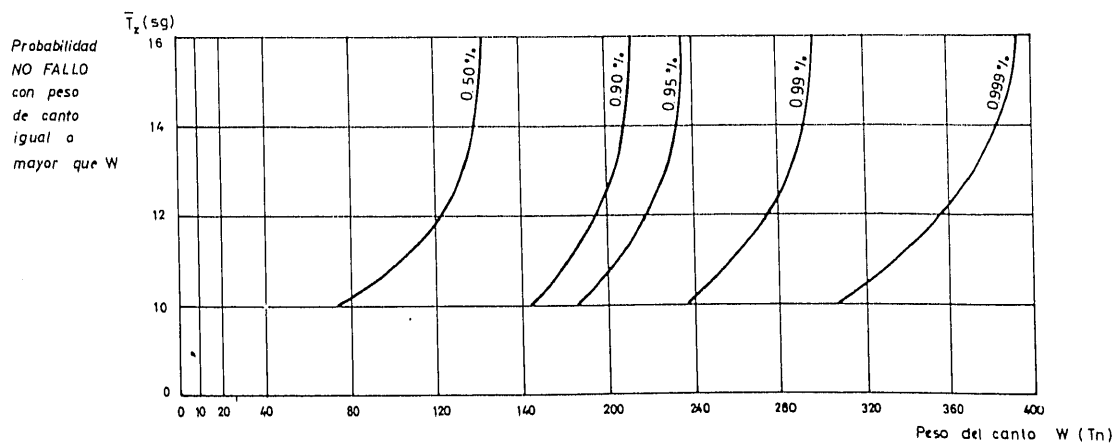


Fig. 6,1.- Influencia del periodo al nivel de fallo del $\alpha\%$.

REVISION DE LOS PARAMETROS DE LA FORMULA DE IRIBARREN PARA DIQUES DE ESCOLLERA. INFLUENCIA DE LA DURACION Y DEL PERIODO EN LA PROBABILIDAD DE FALLO.

ESTADO DE MAR $\left\{ \begin{array}{l} H_s = 4 \text{ m.} \\ T_z = 8 \text{ sg} \\ \text{duración } t_d = \text{variable} \end{array} \right.$
PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

MANTO PRINCIPAL DE ESCOLLERA
DENSIDAD $S_r = 2.6 \text{ T/m}^3$
 $\text{ctg } \alpha = 2$
CURVAS DE INICIACION DE AVERIAS

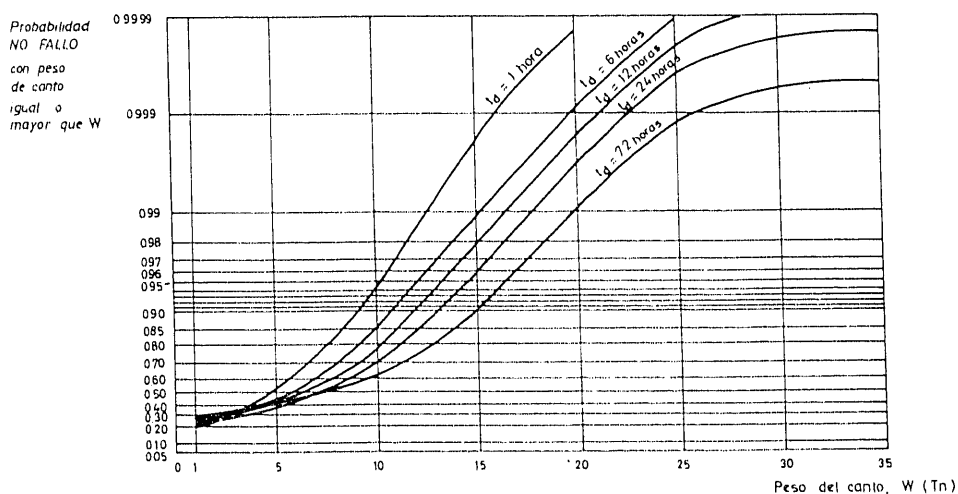


Fig. 7 - Influencia de la duración, t_d

ESTADO DE MAR $\left\{ \begin{array}{l} H_s = 4 \text{ m} \\ T_z = 8 \text{ sg} \\ \text{duración } t_d = \text{variable} \end{array} \right.$
PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

MANTO PRINCIPAL DE ESCOLLERA
DENSIDAD $S_r = 2.6 \text{ T/m}^3$
 $\text{ctg } \alpha = 2$
CURVAS DE INICIACION DE AVERIAS

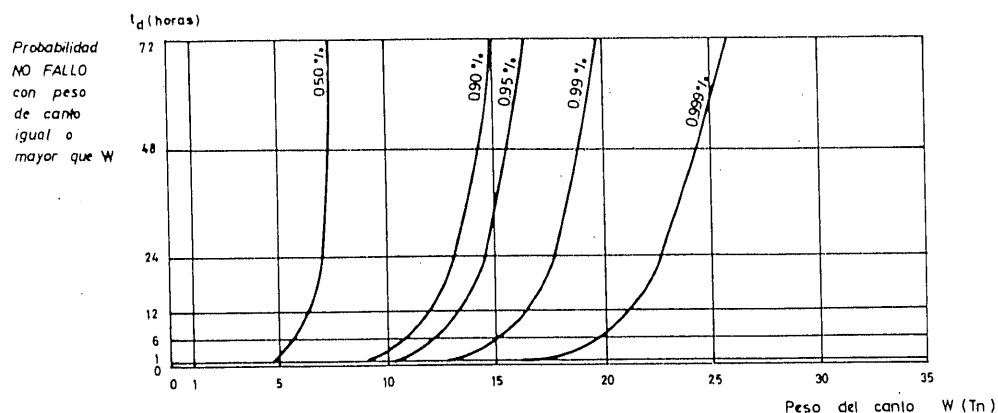


Fig. 8 - Influencia de la duración al nivel de fallo del $\alpha \%$

REVISION DE LOS PARÁMETROS DE LA FORMULA DE IRIBARREN PARA DIQUES DE ESCOLLERA. INFLUENCIA DE LA DURACION Y DEL PERIODO EN LA PROBABILIDAD DE FALLO.

ESTADO DE MAR $\begin{cases} H_s = 4 \text{ m} \\ \bar{T}_z = \text{variable} \\ \text{duracion } t_d = 12 \text{ horas} \end{cases}$
PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

MANTO PRINCIPAL DE ESCOLLERA
DENSIDAD $S_r = 2.6 \text{ T/m}^3$
 $\text{ctg } \alpha = 2$
CURVAS DE INICIACION DE AVERIAS

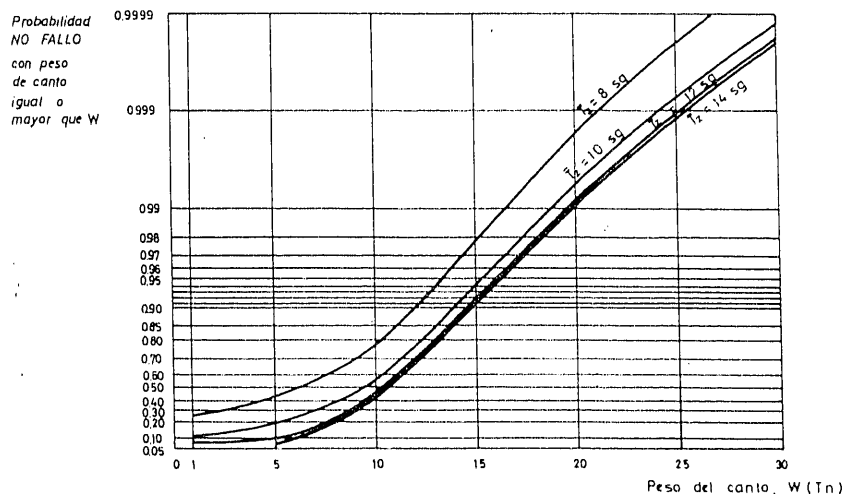


Fig. 9. - Influencia del periodo $\bar{T}_z$

ESTADO DE MAR $\begin{cases} H_s = 4 \text{ m} \\ \bar{T}_z = \text{variable} \\ \text{duracion } t_d = 12 \text{ horas} \end{cases}$
PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

MANTO PRINCIPAL DE ESCOLLERA
DENSIDAD $S_r = 2.6 \text{ T/m}^3$
 $\text{ctg } \alpha = 2$
CURVAS DE INICIACION DE AVERIAS

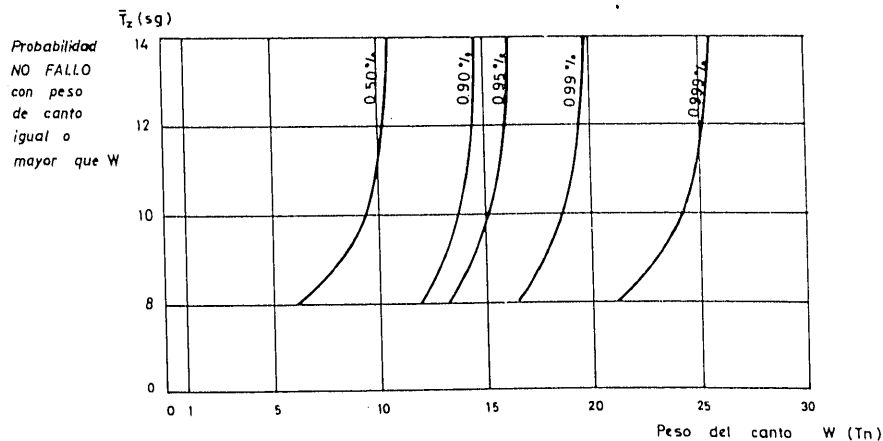


Fig. 10. - Influencia del periodo al nivel de fallo del $\alpha\%$.