

Componente de fallo instantáneo, por rotura, de pantalanes (*)

Por Prof. P. S. BORES

Catedrático de Puertos

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

Se presenta la obtención de la FUNCION CRITICA de la COMPONENTE DE FALLO INSTANTANEO, por rotura, de PANTALANES, siguiendo textualmente el ESTUDIO DEL TERMINAL DEL PUERTO DE SAGUNTO, octubre 1976, así como el correspondiente ANALISIS ALEATORIO de la COMPONENTE.

1. INTRODUCCION

Con el fin de impulsar el uso del ANALISIS DE FIABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE ESTABILIDAD —RAOSS (**)— presentamos a continuación, en detalle, la obtención de la FUNCION CRITICA o CARACTERISTICA de la COMPONENTE DE FALLO INSTANTANEO, por rotura, de los PANTALANES, tal como aparece *textualmente* en el ESTUDIO DEL TERMINAL DE GRANELES DEL PUERTO DE SAGUNTO, pasado por el Colegio Profesional de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos en octubre de 1976, Bores (1977a).

Hemos seleccionado precisamente esta COMPONENTE DE ESTABILIDAD para mostrar un ejemplo de fácil y correcta aplicación del ANALISIS DE FIABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE ESTABILIDAD, haciendo recurso únicamente de la experimentación existente y de los modelos matemáticos en uso.

Se escriben con *itálica* los ligeros cambios de nomenclatura y las aclaraciones del texto del 76, necesarias para una mejor comprensión de la publicación.

ζ_k el nivel característico.

Π_k la velocidad de la corriente característica.

Como precisaremos más adelante, en el caso que nos ocupa podemos expresar las diversas dimensiones del pilote —longitud de hinca, longitud de empotramiento, etc.— en función del diámetro del pilote (D), de la profundidad en el punto (d) y de las *variables climáticas*.

Para cada sobrecarga vertical (N), profundidad (d), pendiente (i) y nivel (ζ) existirá, entonces,

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

(**) Sigla de la versión inglesa: RELIABILITY ANALYSIS OF STABILITY SYSTEM.

una relación entre las *variables* características (D), (T_k), (H_k), (Π_k) y (v_k).

De hecho en la mayor parte de los casos prácticos y entre ellos el que nos ocupa, la velocidad resultante de las corrientes litorales —originadas por el viento, marea astronómica, etc.— es despreciable frente a la generada por el oleaje.

Por otra parte, ya que la estructura en estudio se comporta como RIGIDA a la acción del oleaje, su altura de ola característica puede ser expresada en la forma

$$(2.2) \quad H_{\max, N}$$

Bores (1968), estando el subíndice (N) relacionado, a su vez, con la persistencia característica (Π_k).

2. FUNCION CARACTERISTICA MULTIVARIADA

En el caso que nos ocupa, sustentación de un pantalán, formado por pilotes circulares hincados sobre la plataforma costera, la FUNCION CRITICA o CARACTERISTICA MULTIVARIADA puede ser expresada en la forma general

$$(2.1) \quad \Phi(N, D, l, l_e, l_l, e_s, e_t, d, i, T_k, H_k, \Pi_k, \zeta_k, v_k) = 0$$

en donde

N es la sobrecarga vertical *característica*.

D el diámetro del pilote.

l su longitud libre.

l_e su longitud de empotramiento.

l_l su longitud de hinca.

e_s su grado de empotramiento en la superestructura.

e_t su grado de empotramiento en el terreno.

d la profundidad en el punto de hinca.

i la pendiente de la plataforma costera en este punto.

COMPONENTE DE FALLO INSTANTANEO, POR ROTURA, DE PANTALANES

T_k el período característico.
 H_k la altura de ola característica.
 Π_k la persistencia característica.

2.1. Probabilidad de excedencia de las VARIABLES CARACTERISTICAS

La FORMA SIMPLIFICADA DE LA FUNCION CARACTERISTICA MULTIVARIADA nos facilita la "visualización" de la determinación de la probabilidad de excedencia de las variables características (ver figura 2.1).

Evidentemente

$$(2.3) Pr(H \geq H_k) = \sum_i Pr(H \geq H_{k_{2i+1}}) \Delta p_{T_{2i+1}}$$

y

$$(2.4) Pr(H \geq H_{k_{2i+1}}) = \sum_j Pr(H \geq H_{k_{(2i+1)(2j+1)}}) \Delta p_{\Pi_{2j+1}}$$

en consecuencia

$$(2.5) Pr(H \geq H_k) = \sum_i \sum_j Pr(H \geq H_{k_{(2i+1)(2j+1)}}) \Delta p_{T_{2i+1}} \Delta p_{\Pi_{2j+1}}$$

y en el límite

$$(2.6) Pr(H \geq H_k) = \int_T \int_{\Pi} f(\Pi, T) d\Pi dT$$

Ahora bien

$$(2.7) \Delta p_{T_{2i+1}} = Pr(T_{2i} \geq T \geq T_{2(j+1)})$$

o sea

$$(2.8) \Delta p_{T_{2i+1}} = Pr(T \geq T_{2i}) - Pr(T \geq T_{2(i+1)})$$

Análogamente

$$(2.9) \Delta p_{\Pi_{2j+1}} = Pr(\Pi_{2j} \geq \Pi \geq \Pi_{2(j+1)}) = Pr(\Pi \geq \Pi_{2j}) - Pr(\Pi \geq \Pi_{2(j+1)})$$

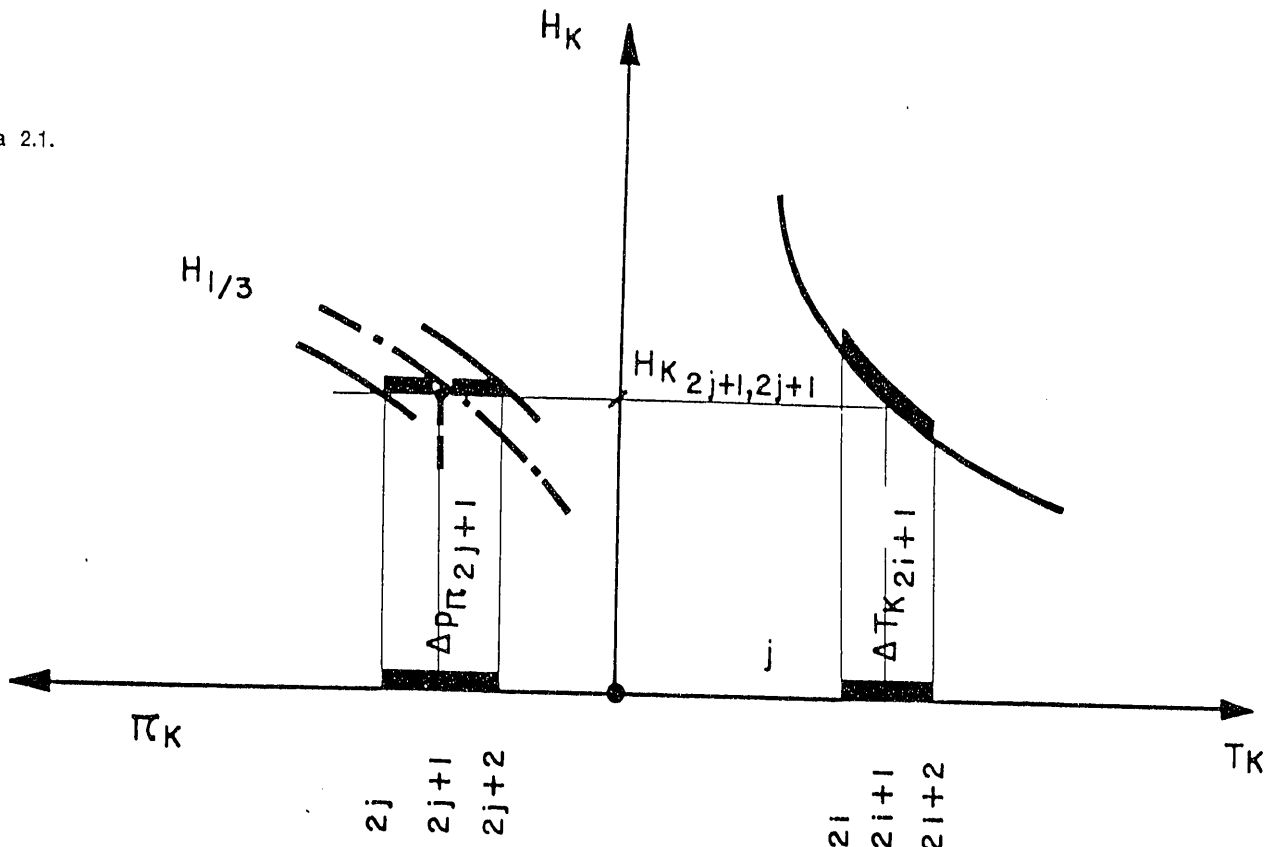
por lo tanto, eliminando

$$\Delta p_{T_{2i+1}} \text{ y } \Delta p_{\Pi_{2j+1}}$$

entre (2.8), (2.9) y (2.5) se obtiene inmediatamente

$$Pr(H \geq H_k) = \sum_i \sum_j | Pr(H \geq H_{k_{(2i+1)(2j+1)}}) \{ Pr(\Pi \geq \Pi_{k_{2j}}) - Pr(\Pi \geq \Pi_{k_{2(j+1)}}) \} \{ Pr(T \geq T_{k_{2i}}) - Pr(T \geq T_{k_{2(j+1)}}) \} |$$

Figura 2.1.



COMPONENTE DE FALLO INSTANTANEO, POR ROTURA, DE PANTALANES

en donde

$$(2.11) \quad H_{k(2i+1)(2j+1)} = f(H_{1/3})_{(2i+1)(2j+1)}$$

2.2. Estimaciones de las distribuciones de probabilidad, regímenes, de los parámetros característicos.

Como hemos visto en el apartado anterior la probabilidad de excedencia de los parámetros característicos críticos viene dada en función de las distribuciones de probabilidad o regímenes de T , H , Π .

Un segundo paso podría permitir, si se estima oportuno, la introducción de la variable característica ξ .

Las previsiones de los máximos temporales anuales realizadas para el Puerto de Sagunto con el METODO INTEGRADO, Bores (1968) (1969) para estimar el régimen de temporales con el METODO DIRECTO, Bores (1969) (1973) (1974) nos ofrece una información indispensable para estimar ahora el REGIMEN DE PERIODOS EN SAGUNTO.

En la hipótesis de DISTRIBUCION NORMAL obtenemos la ESTIMA DEL REGIMEN DE PERIODOS

$$(2.12) \quad T_{opt} = 1,632 y_T + 10,25$$

Otras distribuciones comprobadas por nosotros, como la de Gumbel, proporcionan peor estima.

No disponiendo, desgraciadamente, de registros suficientes en el emplazamiento o sus inmediaciones, nos vemos obligados a utilizar otras observaciones, realizadas principalmente por THALAS, S. A., proponiendo, provisionalmente, para el caso que nos ocupa la ESTIMA DEL REGIMEN DE PERSISTENCIA

$$(2.13) \quad y_{PI} = \frac{N - 732,696}{97,692}$$

La ESTIMA DIRECTA (Método Directo, Bores (1969)) DEL REGIMEN EXTREMAL DE ALTURA DE OLA deducido para Sagunto —ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL, TERMINAL PARA GRANULES DEL PUERTO DE SAGUNTO, Bores (1975)— es

$$(2.14) \quad H_{1/3} = 1,19 y_H + 3,36$$

3. ESTIMA DE LA FORMA SIMPLIFICADA DE LA FUNCION CARACTERISTICA MULTIVARIADA

La relación funcional entre las variables características ligadas por la expresión (2.1) depende

no sólo, como antes indicamos, de las características del terreno y de la estructura —longitud libre, grado de empotramiento en la superestructura y en el terreno—, sino de la disposición y características del grupo de pilotes y, por supuesto, del modelo matemático adoptado para valorar las fuerzas y momentos sobre el pilote.

En el caso que nos ocupa admitiremos que el oleaje aborda el grupo de pilotes prácticamente según el eje del pantalán y que éste está formado por dos pilotes únicamente, no existiendo interacción entre ellos.

Admitiremos que el pilote se hinca en el terreno una longitud

$$(3.1.) \quad l_t = 10 D$$

quedando empotrado en una longitud

$$(3.2) \quad l_e = 8 D$$

y un grado de empotramiento en el terreno

$$(3.3) \quad e_t = 1$$

Con un resguardo

$$(3.4) \quad \rho = H_{\max, N}$$

la longitud libre, de cálculo, del pilote, resulta en este caso

$$(3.5) \quad l = 2 D + d + H_{\max, N}$$

Admitimos así mismo, en este caso, que el extremo superior del pilote es articulado y sin traslación.

Según venimos haciendo en este apartado, con el fin de simplificar el análisis y facilitar el uso del METODO introducido en este ESTUDIO, admitiremos aquí la más sencilla de las soluciones, la propuesta por Morison en los años cincuenta.

De acuerdo con este investigador, véase, por ejemplo, Bores (1968),

$$(3.6) \quad f = f_D + f_I \\ = \frac{\rho}{2} C_D D |u| u + \frac{\pi}{4} \rho C_M D^2 \dot{u}$$

con

$$(3.7) \quad u = -\frac{H}{2} \omega \frac{C h \kappa (d+2)}{S h \kappa d} \cos \theta$$

y

$$\theta = \kappa x - \omega t$$

COMPONENTE DE FALLO INSTANTANEO, POR ROTURA, DE PANTALANES

$$(3.8) \quad \kappa = \frac{2\pi}{L}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Las fuerzas y momentos serán, respectivamente

$$(3.9) \quad F_t = \int_0^{d+\eta} f ds = F_D + F_I$$

$$(3.10) \quad M_t = \int_0^{d+\eta} s f ds = M_D + M_I$$

Sustituyendo en (3.7) la velocidad (u) y su derivada con respecto al tiempo (\dot{u}) la fuerza (f) puede escribirse

$$(3.11) \quad f = K_1 H^2 |\cos \theta| \cos \theta + K_2 H \sin \theta$$

en donde

$$(3.12) \quad K_1 = \frac{1}{2} \rho C_D D \left| \frac{\omega}{2} \frac{C h \kappa (d+z)}{S h \kappa d} \right|^2 \rightarrow \theta = 0$$

$$(3.13) \quad K_2 = \frac{\pi}{4} \rho C_m D^2 \frac{\omega^2 C h \kappa (d+z)}{2 S h \kappa d} \rightarrow \theta = \pi/2$$

Los máximos de la expresión (3.11) vendrán dados por la solución de la ecuación

$$(3.14) \quad \frac{df}{d\theta} = -2 K_1 H^2 \cos \theta \sin \theta + K_2 H \cos \theta = 0$$

de donde inmediatamente se obtiene

$$(3.15) \quad \beta = \theta = \arcsen \frac{K_2}{2 K_1 H}$$

con

$$(3.16) \quad -\pi/2 \leq \beta \leq \pi/2$$

o bien, ya que el máximo de la fuerza resultante ocurre siempre en o inmediatamente delante de la cresta de la onda

$$(3.17) \quad 0 \leq \beta \leq \pi/2$$

Sustituyendo

$$(3.18) \quad \sen \beta = \frac{K_2}{2 K_1 H}$$

y

$$(3.19) \quad \cos^2 \beta = 1 - \sen^2 \beta = 1 - \frac{K_2^2}{4 K_1^2 H^2}$$

en la expresión (3.11) se obtiene

$$(3.20) \quad f_m = K_1 H^2 + \frac{1}{4} \frac{K_2^2}{K_1} \quad (0 \leq \beta \leq \pi/2)$$

Denominando

$$(3.21) \quad f_D = K_1 H^2$$

$$f_I = K_2 H$$

y eliminando (K_1), (K_2) y (H) entre las expresiones (3.20) y (3.21) inmediatamente se deduce

$$(3.22a) \quad f_m = f_D \left| 1 + \frac{1}{4} \left| \frac{f_I}{f_D} \right|^2 \right| \quad (0 \leq f_I/f_D \leq 2)$$

$$(3.22b) \quad f_m = f_I \quad (f_I/f_D \geq 2)$$

Un resultado análogo se obtiene considerando las fuerzas totales, F_D y F_I , que actúan sobre el pilote, Reid y Bretschneider (1953). En consecuencia

$$(3.23a) \quad F_m = F_{Dm} \left| 1 + \frac{1}{4} \left| \frac{F_{Im}}{F_{Dm}} \right|^2 \right| \quad (0 \leq F_{Im}/F_{Dm} \leq 2)$$

$$(3.23b) \quad F_m = F_{Im} \quad (F_{Im}/F_{Dm} \geq 2)$$

3.1. Estima del momento en el empotramiento.

Los resultados obtenidos son directamente aplicables a la determinación de una ESTIMA del momento en el empotramiento, estima que es suficientemente aproximada para las aplicaciones prácticas.

Esta estima consiste en sustituir éste por el momento de la fuerza resultante máxima aplicada en la superficie, cuya expresión es

$$(3.24) \quad M = 0.168 F_m l$$

en donde, según indicamos anteriormente,

$$(3.5) \quad l = 2D + d + H_{\max, N}$$

3.2. Momentos flectores en el empotramiento.

El momento portante, momento flector en el empotramiento, de un pilote circular sometido a una sobrecarga normal, N , sobre fondos de profundidad (d) y resguardo (ρ) puede ser expresado en la forma

$$(3.25) \quad M = M(d, D, \rho, \mu, \nu)$$

COMPONENTE DE FALLO INSTANTANEO, POR ROTURA, DE PANTALANES

en donde (μ) y (ν) son dos parámetros de la forma —ver Jiménez Montoya, por ejemplo—

$$(3.26) \quad \mu = \frac{M_d}{A_c D f_{cd}}$$

$$\nu = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

con

$$M_d = M \gamma_f$$

$$N_d = N \gamma_f$$

$$(3.27) \quad f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_s$$

$$A_c = \frac{\pi}{4} D^2$$

Dividiendo entre sí las expresiones (3.25) resulta

$$(3.28) \quad \frac{\mu}{\nu} = \frac{M_d}{D N_d} = \frac{M}{D N}$$

de donde

$$(3.29) \quad M = D N \frac{\mu}{\nu}$$

Del DIAGRAMA DE INTERACCION ADIMENSIONAL PARA SECCIONES CIRCULARES, correspondiente a

$$d' = 0,05 h \cong 0,05 D$$

—ver Jiménez Montoya, pág. 32— fácilmente se deduce que, para la cuantía ($\omega = 0,5$) y valores ($\nu \geq 0,6$), con error inapreciable podemos escribir

$$(3.30) \quad \mu = 0,178 + 0,23 \nu - 0,34 \nu^2$$

De acuerdo con la Instrucción Española EH-73 el momento adicional debido a pandeo viene dado por

$$(3.31) \quad M_p = N e_a$$

en donde

$$(3.32) \quad e_a = \left[0,85 + \frac{f_{yd}}{12000} \right] \frac{D + 20 \frac{M}{N}}{D + 10 \frac{M}{N}} \frac{l^2}{i} 10^{-2}$$

en donde

$$i = \frac{J}{S} = \frac{D}{4} \quad \text{es el radio de giro}$$

y

$$l_c = (0,6) l = (0,6) (2D + d + H_{\max, N})$$

Tomando como coeficientes de seguridad

$$(3.33) \quad \begin{aligned} \gamma_c &= 1,5 \\ \gamma_s &= 1,15 \\ \gamma_c &= 1,6 \end{aligned}$$

y

$$(3.34) \quad \begin{aligned} f_{ck} &= 2000 \text{ ton/m}^2 \\ f_y &= 4200 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

resultan

$$(3.35) \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2000}{1,5} = 1333 \text{ ton/m}^2$$

$$(3.36) \quad f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_s} = \frac{4200}{1,15} = 3652 \text{ ton/m}^2$$

y la expresión (3.32) toma la forma

$$(3.37) \quad e_a = \left[0,85 + \frac{3652}{12000} \right] \frac{4 (0,6)^2}{10000} \frac{D + 20 \frac{M}{N}}{D + 10 \frac{M}{N}} \frac{l^2}{D}$$

o bien

$$(3.38) \quad e_a = \frac{1,662}{10000} \frac{D + 20 \frac{M}{N}}{D + 10 \frac{M}{N}} \frac{(k d + 2 D)^2}{D}$$

en donde

$$(3.39) \quad k d = H + d$$

representa la longitud sumergida del pilote, afectada directamente por la acción del oleaje. En el caso de fondo horizontal, que es la hipótesis que

COMPONENTE DE FALLO INSTANTANEO, POR ROTURA, DE PANTALANES

estamos desarrollando en este ESTUDIO, por ser la más sencilla

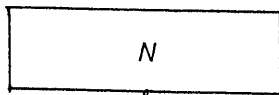
- $k = 1,78$ en el caso de ola en rotura
- $k = 1$ con oleaje nulo
- $k = 1,39$ en condiciones medias

El programa para la determinación del momento flector resultante en el empotramiento

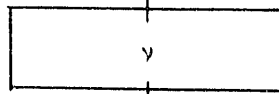
$$(3.40) \quad M_r = M - N e_a$$

viene esquematizado en la figura.

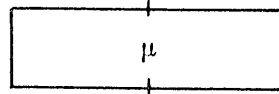
MOMENTO FLECTOR EN EL EMPOTRAMIENTO (PROGRAMA)



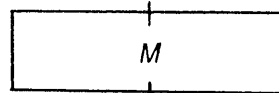
$$(3.26)$$



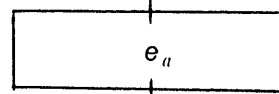
$$(3.30)$$



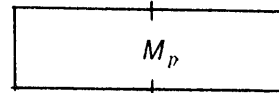
$$(3.29)$$



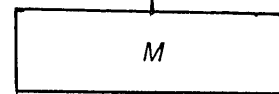
$$(3.38)$$



$$(3.31)$$



$$(3.41)$$



4. PROBABILIDAD MULTIVARIADA DE EXCEDENCIA

De acuerdo con los resultados del Apartado 2, la probabilidad de que la altura de ola característica exceda la correspondiente a un cierto diámetro, en el intervalo (i) , es

$$(2.4) \quad Pr(H \geq H_{k_{2i+1}}) = \sum_j Pr(H \geq H_{k_{2i+1, 2j+1}}) \cdot \Delta p_{\Pi_{2j+1}}$$

con

$$(2.9) \quad \Delta p_{\Pi_{2j+1}} = Pr(\Pi \geq \Pi_{2j}) - Pr(\Pi \geq \Pi_{2(j+1)})$$

La altura de ola característica puede ser escrita en la forma

$$(4.1) \quad \frac{H_{k_{2i+1}}}{H_{1/3_{2j+1}}} = \frac{(\ln N_{2j+1})^{1/2}}{1,416}$$

y, en consecuencia,

$$(4.2) \quad H_{1/3_{2j+1}} = \frac{1,416 H_{k_{2i+1}}}{(\ln N_{2j+1})^{1/2}}$$

De la distribución extremal de altura de ola, (2.14), inmediatamente se deduce

$$(4.3) \quad (y_H)_{2j+1} = \frac{H_{1/3_{2j+1}} - 3,36}{1,19}$$

y siendo esta la distribución doble exponencial

$$(4.4) \quad Pr(H \geq H_{k_{2j+1}}) = 1 - e^{-e^{-(y_H)_{2j+1}}}$$

A partir de los valores de $p(\Pi)$ adoptados para la partición inmediatamente se deduce $\Delta p_{\Pi_{2j+1}}$ —ver Apartado 2— y $Pr(\Pi \geq \Pi_{2j+1})$, así como el valor de $(y_N)_{2j+1}$ derivado de este último, hipótesis distribución normal.

Haciendo recurso de la distribución (2.14) obtenemos finalmente

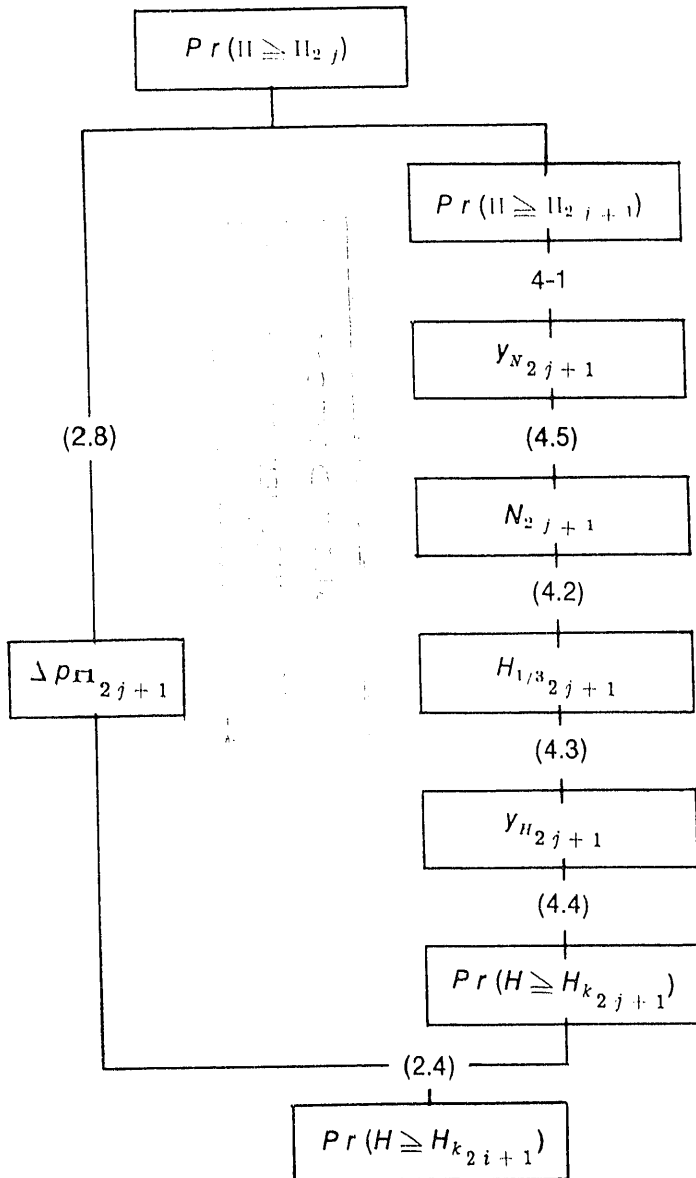
$$(4.5) \quad N_{2j+1} = 97,7 y_{N_{2j+1}} - 732,7$$

que utilizamos como valor de entrada en la subrutina del programa esquematizado seguidamente.

Ya que admitimos independencia entre las características del oleaje, la presentación de cualquier período con la altura de ola máxima es igual-

COMPONENTE DE FALLO INSTANTANEO, POR ROTURA, DE PANTALANES

PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA DE LA ALTURA DE OLA CARACTERISTICA (PROGRAMA)



mente probable y, en consecuencia, la probabilidad bivariada de que para el período característico

$$(4.6) \quad T_{k_{2i+1}} = T_{opt_{2i+1}}$$

se presente con la altura de ola máxima un período superior al óptimo será

$$(4.7) \quad Pr(T \geq T_{k_{2i+1}}) = Pr(T_{opt_{2i+0}} \geq T_{opt} \geq T_{opt_{2i+2}}) \cdot Pr(T \geq T_{opt_{2i+1}})$$

en donde, recordando las expresiones (2.18), (2.24) y (2.31) podemos escribir

$$(4.8) \quad Pr(T \geq T_{opt_{2i+1}}) = q_{2i+1} = e^{-\left[1,416 \frac{H_{q_{2i+1}}}{H_{1/3_{2i+1}}}\right]^2} = e^{-\frac{T_{q_{2i+1}}}{(1,416)^2 T_{opt_{2i+1}}}}$$

y siendo

$$(4.9) \quad T_{q_{2i+1}} = T_{opt_{2i+1}}$$

resulta

$$(4.10) \quad Pr(T \geq T_{opt_{2i+1}}) = e^{-(1,416)^2} = 0,13465$$

en consecuencia

$$(4.11) \quad Pr(T \geq T_{k_{2i+1}}) = 0,13465 Pr(T_{opt_{2i}} \geq T_{opt} \geq T_{opt_{2i+2}})$$

5. APLICACION AL PROYECTO DEL PANTALAN DEL TERMINAL DE GRANELES DEL PUERTO DE SAGUNTO

El contenido del presente apartado no sigue textualmente el ESTUDIO de octubre del 76, orientado hacia la consecución del Análisis Económico del Pantalán, sino sus líneas generales de razonamiento, detallando la exposición que sobre el Pantalán de Sagunto aparece en el Symposium de la Isle of Wight [5].

Como entonces, los datos son

Profundidad	$z_0 = 20$
Pendiente plataforma costera	$l = 0.01$
Coefficiente de empotramiento	$E = 2D$
Resguardo	$B = 0.75 H$
Cuantía del acero	$Q = 0.5$
Coefficiente de arrastre	$C_D = 1.7$
Coefficiente inercial	$C_I = 2$
Peso específico del agua	$\gamma = 1.03$

Admitimos, ahora, que la variación del nivel del mar

$$(5.1) \quad S = S_{AT} + S_{AM}$$

COMPONENTE DE FALLO INSTANTANEO, POR ROTURA, DE PANTALANES

es despreciable y consideramos como distribución de sobrecargas

$$(5.2) \quad W = 500 + 100 y_w$$

en lugar de

$$W = 500 \text{ tons}$$

constante, como entonces [5] presentamos.

No disponiendo de experimentación sobre la DISPERSION de la resistencia integral de los pilotes, considerados como elementos o piezas resistentes y, en consecuencia, función de las VARIABLES ENDOGENAS —resistencia del hormigón, resistencia del acero, proceso de fabricación, etcétera— utilizamos como única variable la resistencia del hormigón, considerando a las restantes como parámetros.

Admitiendo para el hormigón la máxima dispersión aceptada por Saliger [13]

$$(5.3) \quad \frac{f_{ck}}{f_{cm}} = 0.75$$

que corresponde a una probabilidad ($F(x) = 0.95$), con lo que ($x = 1.64$), se verifica [13]

$$(5.4) \quad \frac{f_{ck}}{f_{cm}} = 1 - 1.64 \frac{\sigma}{f_{cm}}$$

de donde, eliminando (f_{ck}/f_{cm}) entre ambas expresiones se deduce inmediatamente

$$(5.5) \quad \sigma = 0.152 f_{cm}$$

En términos generales, para cualquier valor de ($F(x)$) podemos entonces escribir

$$(5.6) \quad f_{ck} = (1 - 0.152 x) f_{cm}$$

Por ejemplo, en el caso de 200 pilotes, el fallo de todos ellos menos uno vendrá dado por

$$(5.7) \quad F(x) = p = 1 - \frac{1}{200} = 0.995$$

de donde

$$(5.8) \quad x = 2.575$$

y, en consecuencia, de (5.6) se obtiene

$$(5.9) \quad f_{ck} = 0.609 f_{cm}$$

A un valor semejante se llega con estadística de extremos, por lo que se mantiene el método aquí propuesto.

Número de pilotes	f_{ck}/f_{cm}
50	0.688
100	0.646
200	0.609
500	0.562

Siendo los pilotes ELEMENTOS del SISTEMA DE ESTABILIDAD DEL PANTALAN, el fallo de cualquiera de ellos afectará, seguramente, a la estabilidad del pórtico al que pertenece y, muy probablemente, a la de los pórticos adyacentes, vinculados a aquél, provocando así, la ruina de una parte de la obra, con la consiguiente paralización del servicio, función, etc. En consecuencia, el ANALISIS LOCAL debe ser determinante del proyecto de pantalan.

En la figura (5.1) se muestra la FIABILIDAD LOCAL del pantalán en función del diámetro en la hipótesis

Número de pilotes	$n = 200$
Resistencia media hormigón	$\sigma_b = 2000 \text{ ton/m}^2$

La curva (1) corresponde al caso de variables no ponderadas, es decir

$$(1) \quad \rho_{II} = \rho_T = \rho_{\sigma_b} = \dots = 1$$

mientras que

$$(2) \quad \rho_{II} = \rho_T = \rho_{\sigma_b} = 1.1$$

$$(3) \quad \rho_{II} = \rho_T = 1.1$$

$$(4) \quad \rho_{\sigma_b} = 1.2$$

respectivamente.

Como muestra la figura (5.2) la SENSIBILIDAD de la FIABILIDAD a las sobrecargas extremas se hace muy acusada para diámetros inferiores a ($D = 1,2$), lo que constituye un límite inferior de diseño.

Este límite es coherente con la duplicación del riesgo, en razón de la baja precisión de la información y de los modelos matemáticos utilizados, curva (D).

Es así mismo interesante destacar que este resultado —curva (D)— es envolvente de todas las alternativas de análisis, (2), (3) y (4), consideradas para valores de la fiabilidad (R) inferiores a (0.8).

COMPONENTE DE FALLO INSTANTANEO, POR ROTURA, DE PANTALANES

ANALISIS LOCAL (200 pilotes)

fig 5.1

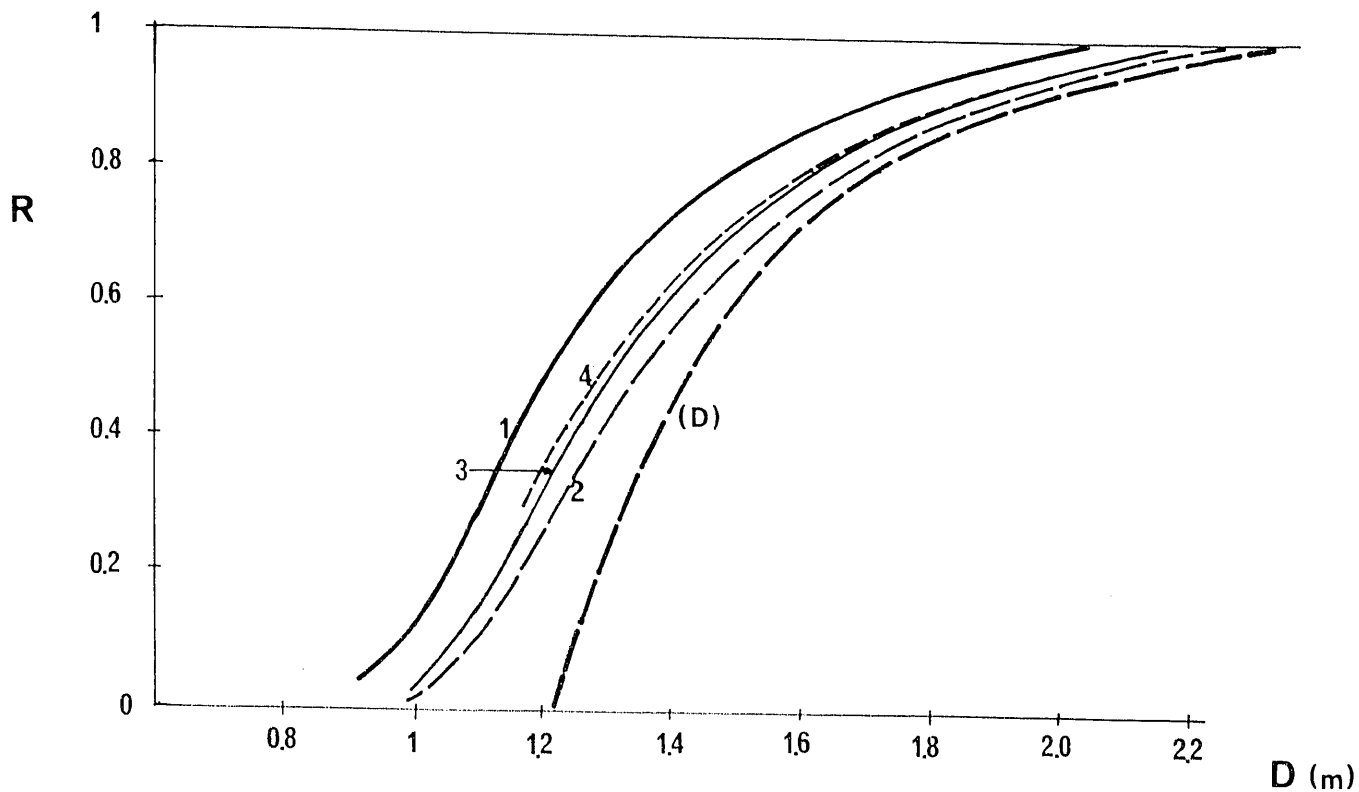
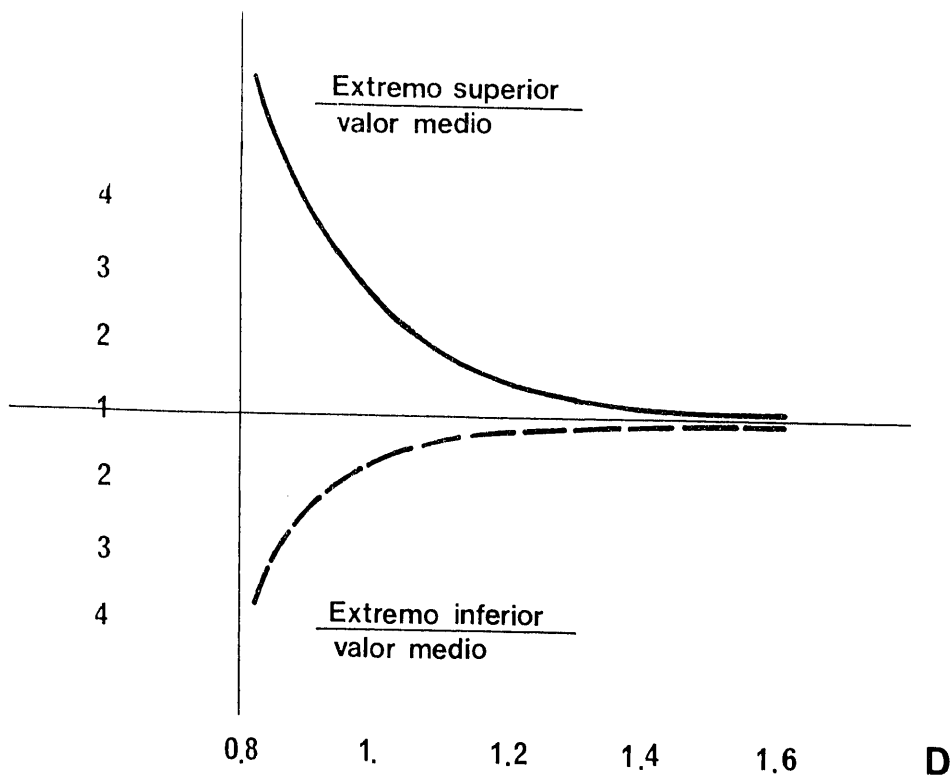


fig 5.2



COMPONENTE DE FALLO INSTANTANEO, POR ROTURA, DE PANTALANES

ABSTRACT

The CRITICAL FUNCTION OF SUDDEN FAILURE COMPONENT, by breaking, of a JETTY is presented, following textually the Study for the TERMINAL OF THE PUERTO DE SAGUNTO. The RANDOM ANALYSIS of the COMPONENT is sketched.

BIBLIOGRAFIA

- [1] BAUM, G. (1970): "Tablas para el cálculo de vigas". Ed. Gustavo Gili. Barcelona.
- [2] BORES, J. S. (1968): "Ola de cálculo". Ministerio de Obras Públicas, 5B. Madrid.
- [3] BORES, P. S. (1968): "Acción del oleaje sobre las estructuras exteriores". Ministerio de Obras Públicas, 7B. Madrid.
- [4] BORES, P. S. (1974): Waves 74. New Orleans. Amer. Soc. Civil Eng.
- [5] BORES, P. S. (1977): Symposium on Rubble Mound Breakwaters. Isle of Wight. England.
- [6] BORGMAN, L. (1965): "The spectral density for ocean wave forces". Proc. 10th Conf. on Coastal Eng.
- [7] BRETSCHNEIDER, CH. (1957): "Evaluation of drag and inertial coefficients for maximum range of total wave force". Texas A. and M. Res. Found., Techn. Rep. No. 55-5.
- [8] BRETSCHNEIDER, CH.; COLLINS, J. I., and PICK, G. S. (1965): "Gravity wave and wave forces theory, measurements and data analysis: State of Art". Nerco, Techn. Rep. 98, vol. 1.
- [9] HALL, M. A. (1958): "Laboratory study of breaking wave forces on piles". BEB Techn. Mem. No. 106.
- [10] HARLEMAN, D. R. F., and SHAPIRO, W. C. (1955): "Experimental and analytical studies of wave forces on offshore structures". Part. 1, M.I.T. Hydr. Lab. Techn. Rep. No. 19.
- [11] HARLEMAN, D. R. F.; SHAPIRO, W. C., and MARLOW, T. A. (1957): "Experimental and analytical studies of wave forces on offshore structures". Part. 2. M.I.T. Hydr. Lab. Techn. Rep. No. 24.
- [12] McCAMY, R. C., and FUSCH, R. A. (1954): "Wave forces on piles: A diffraction theory". B.E.B. Techn. Mem. No. 69.
- [13] MONTOYA, J. J. (1974): "Hormigón armado". Gustavo Gili.
- [14] MORISON, J. R.; O'BRIEN, M. P.; JOHNSON, J. W., and SCHAAF, S. (1950): "The force exerted by surface waves on piles". Petroleum Trans. 189.
- [15] MORISON, J. R.; JOHNSON, J. W., and O'BRIEN, M. P. (1954): "Experimental studies of forces on piles". Proc. 4th Conf. on Coastal Eng.
- [16] PAAPE, A., and BREUSENRS (1966): "The influence of pile dimensions on forces exerted by waves". Proc. 10th Conf. on Coastal Eng.
- [17] REID, R. O., and BRETSCHNEIDER, CH. (1953): "Surface waves and offshore structures: The design wave in deep and shallow water". Texas A. and M.
- [18] SKJELBREIA, L.; HEDRICKSON, J. A.; GRAGG, W., and WEBB, L. M. (1960): "Loading on cylindrical piling due to the action of ocean waves". Nesco Techn. Rep. 4.

CEMENTOS PORTLAND, S.A.

Cemento Portland Cangrejo Supercemento Diamante

Capacidad de producción: 750.000 toneladas anuales

Estella, 6 • Apartado 107

Teléfono 21 18 60 (PAMPLONA)