

SEPARATA N° 1

- OBTENCION DE REGIMENES DE TEMPORALES  
A PARTIR DE REGIMENES DE OLEAJES
- OBTENCION DEL PARAMETRO  $n$
- DURACION MEDIA DE UN TEMPORAL DE  
ALTURA  $H_s$  :  $t$  ( $H_s$ )

OBTENCION DE REGIMENES DE TEMPORALES A PARTIR DE  
REGIMENES DE OLEAJES. METODO DE COPEIRO

Estimación del parámetro n

Tomando como unidad de tiempo el ciclo meteorológico o sea el año y determinando el tiempo total del año en que puede presentarse un temporal de altura  $H_s$  dada, nos queda por determinar el n° de pruebas "n". Es decir, el n° de veces que el temporal  $H_s$  puede presentarse en el año, que sería la duración del año dividida por la duración media del temporal de altura  $H_s$ .

Es decir, que para cada temporal de altura  $H_s$  dada, el n° de pruebas será:

$$n(H_s) = \frac{365 \text{ días} \times 24 \text{ horas}}{t(H_s) \text{ horas}} = \frac{8.760}{t(H_s)}$$

El parámetro  $n$  quedará determinado para cada  $H_s$ , cuando conozcamos la duración media del temporal ( $t$ ) para esa  $H_s$ .

Estimación de la duración media de los temporales  $t$  de una altura de ola dada

El mejor método de determinación de  $t$  es la observación directa del temporal desde un punto fijo, en -

el área de generación y desarrollo del temporal que se trata de estudiar. Las informaciones de barcos en rutas no valen para este fin, por su variación de posición. Sin embargo para los temporales extraordinarios el obtener un promedio de duración requiere un número de años de observación, tales que exceden de la vida media de una persona, sin que haya suficiente n° de registros hasta el momento. Sin embargo, se logra establecer una Ley, que relacione la duración de un temporal,  $t$ , con su altura de ola significativa,  $H_s$

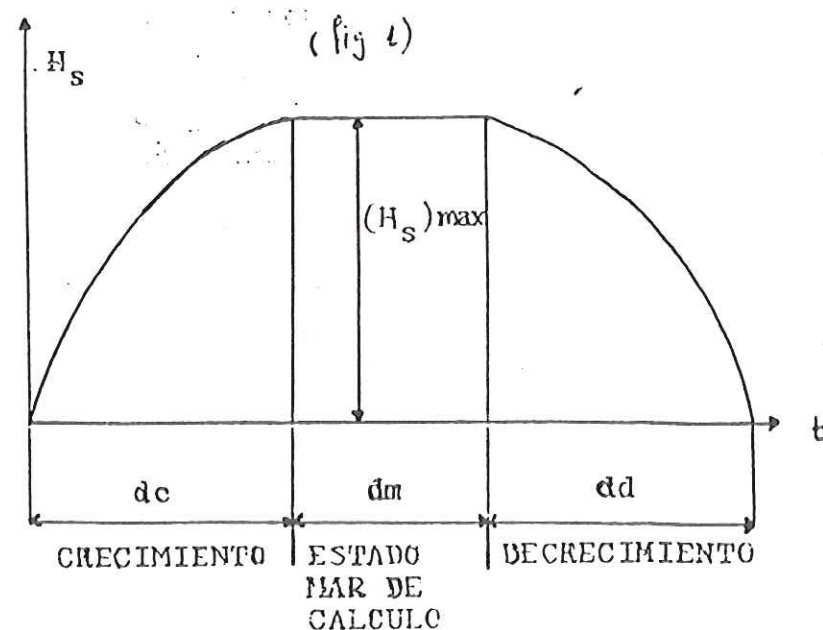
$$t(H_s) = F(H_s) \quad (1)$$

para los temporales más frecuentes, de pequeña altura de ola  $H_s$ ; es aceptable admitir que se puede estrapolar esa ley para valores superiores de  $H_s$ .

Vamos a tratar de definir la curva de la ecuación (1).

Los Ingenieros de Caminos, Castillo, Losada y Puig-Pey en el artículo titulado "Análisis Probabilista del núm. de olas, su influencia en la altura de ola de cálculo de obras marítimas" (R.O.P. Agosto 1.977) estudian este problema y establecen: "Es difícil dar criterios para definir la curva de la ecuación (1). El gran número de medidas existentes no ha servido todavía para definir una curva, con parámetros adimensionales, que

proporcione el crecimiento y decrecimiento del oleaje. Incluso el Jonswap ha puesto en tela de juicio el concepto de oleaje totalmente desarrollado. Se ha adoptado una postura pragmática ante este problema aceptando el criterio de Oleaje Totalmente Desarrollado y seleccionando entre las curvas de crecimiento aquella basada en un número elevado de datos."



De esta manera un temporal queda definido por la altura de ola significativa del estado de mar máximo  $(H_s)$  y las curvas de crecimiento y decrecimiento adoptadas (fig. 1). Es necesario destacar que con este criterio nos encontramos del lado de la seguridad, ya que supone que  $(H_s)_{\text{máx}}$  corresponde a oleaje totalmente desarrollado, con lo que definida aquélla, conocemos  $t_m$  o -

tiempo mínimo para que el oleaje alcance un total desarrollo y con él la forma del temporal.

En el citado artículo, se aplica el modelo matemático que se estudia al Mar Cantábrico, adoptándose una serie de criterios y datos de partida, de los que entresacamos los que más nos interesan a nuestro fin, que es la determinación de  $t(H_s)$  y por ende de  $n(H_s)$ , y son los siguientes:

- 1.- El parámetro de la distribución de Poisson del número de temporales altura de ola significativa  $(H_s)_{\text{máx}}$  mayor que 1,9 M. se ha ajustado, como es norma mediante el estimador

$$v = \frac{\text{Número de temporales observados}}{\text{Duración de la observación}}$$

con lo que resultó  $v = 62,18$  temporales/año.

La muestra ha sido obtenida mediante registro continuo durante once meses en el mar Cantábrico, período que se considera excesivamente reducido para este modelo.

- 2.- A partir de los valores muestrales  $(H_s)_{\text{máx}}$  se ha esbozado la función de distribución de mejor ajuste. Esta ha sido la función de Weibull:



$$F = (Hs)_{\text{máx}} = 1 - e^{-\left[\frac{(Hs)_{\text{máx}} - E}{U - F}\right]^K} \quad (Hs)_{\text{máx}} = E$$

$$E = 1,90000$$

$$U = 3,05061$$

$$K = 1,00911$$

La bondad del ajuste ha sido contrastada con el test de Kelnogoroff-Smirnof, resultando de un nivel de confianza superior al 94%. La distribución se ha truncado en  $(Hs)_{\text{máx}}$  a 13 m. por limitación física del área de generación.

3.- La curva de crecimiento y decrecimiento del temporal de cálculo se han supuesto simétricas (fig. 1). y la forma de la curva ha sido definida mediante un polinomio de cuarto grado ajustado a los valores propuestos por Silvestar (tabla 1). La duración del estado de -- mar máximo ha sido tomada de Copeiro, el cual la estima para el barco meteorológico K y cuya expresión analítica es:

$$d_m = 20,857 e^{-\frac{(Hs)_{\text{max}}^{-8}}{6.612}} \quad (\text{horas})$$

4.- El tiempo mínimo  $t_m$  para alcanzar el oleaje su total desarrollo se ha obtenido a partir de la expresión dada por el método Direccional (Losada y Serrano 1977)

$$t_m = \frac{48828}{g} = \left(\frac{g}{0,238}\right)^{\frac{1}{2}} (Hs)_{\text{máx}}^{\frac{1}{2}} \quad (\text{seg.})$$

Por lo tanto la ecuación (1) queda establecida para el mar Cantábrico de la siguiente forma:

$$t(Hs) = 2 t_m + d_m \quad (2)$$

Siendo:

$$t_m = \frac{48,828}{g} \sqrt{\frac{g}{0,238}} \sqrt{Hs_{\text{máx}}} \quad (\text{seg.})$$

$$d_m = 20,857 e^{\frac{Hs_{\text{max}}^{-8}}{6,612}} \quad (\text{horas})$$

Aplicando la ecuación (2) a las distintas alturas de Hs se obtienen:

| (m) | (horas)           |
|-----|-------------------|
| Hs  | $t = 2 t_m + d_m$ |
| 3   | 51,65             |
| 4   | 56,39             |
| 5   | 60,57             |
| 6   | 64,37             |

.../...

.../...

|    |       |
|----|-------|
| 7  | 67,85 |
| 8  | 71,09 |
| 9  | 74,15 |
| 10 | 77,02 |
| 11 | 79,75 |
| 12 | 82,36 |

Como se ve los valores de  $t$  para el mar Cantábrico están comprendidos entre 50 y 80 horas aproximadamente.

# OBSERVACIONES PARA EL AREA DE CANARIAS

Por otra parte la observación directa de los temporales ocurridos en las costas oeste de Canarias en los últimos 10 años y la contrastada con observaciones de los pescadores de la zona de los últimos 30 años, nos permiten sacar las siguientes conclusiones:

- 1.- Los grandes temporales tanto del Oeste como del Sur tienen un desarrollo muy rápido, que va desde las 2 ó 3 horas, hasta las 6 ó 7 horas, hasta que se alcanzan los valores altos de  $H_s$ .
- 2.- La duración de los temporales desarrollados  $H_{s\text{máx}}$ , no suele ser superior a 1 día para los que afectan a la costa Oeste, aunque en ocasiones puede llegar a los 2 días.
- 3.- El decrecimiento de los temporales es algo más lento, el temporal amaina y desaparece en un tiempo que varía de 6 horas a 1 día.
- 4.- Los temporales que más daño han causado en los últimos 10 años, comienzan desarrollándose por el Suroeste y van "volando" hacia el SUR, SW, W y NW afectando a las costas respectivas en un período de un día como hemos dicho.

Como resumen de lo expuesto podemos decir que para las Costas Sur, Oeste y NW de las islas la duración de los temporales es:

|               | <u>Mín.</u> | <u>Máx.</u> |
|---------------|-------------|-------------|
| Desarrollo    | 3           | 7           |
| Máximo        | 18          | 24          |
| Decrecimiento | <u>6</u>    | <u>24</u>   |
|               | 27 h.       | 55 h.       |

Por lo tanto la duración de los temporales varía entre 25 y 50 horas.

#### LA EXPERIENCIA DE INTECSA

En el estudio realizado por Intecsa para la variante de Bajamar (La Palma), se establece.

"Se desconoce los valores que toma n (Hs) en la zona ya que la única forma de obtener una muestra directa de n (Hs) es registrar la curva de estados del mar, de -- forma casi continua (con intervalos de tres a cuatro horas), durante un tiempo no inferior a un año; sin embargo, es razonable suponer, en base a la experiencia obtenida - de otras áreas marítimas, que, dentro del rango de períodos de retornos usuales, en la práctica, los valores que toma n (Hs) esten comprendidos entre 500 y 1.500 aproximadamente. Con ellos se obtiene, en lugar de una curva - extremal, banda cuya amplitud es admisible para los objetivos que persigue este cálculo".

Según esto t (Hs) sería:

$$n = 500 \quad t(Hs) = \frac{8760}{500} = 17,50 \text{ h.} = 18 \text{ horas.}$$

$$n = 1500 \quad t(Hs) = \frac{8760}{1500} = 5,84 \text{ h.} = 6 \text{ horas.}$$

CONCLUSIONES

Como resumen de lo expuesto cabe decir:

- 1.- Nos parecen excesivos los tiempos teóricos que se obtienen en el modelo aplicado al mar Cantábrico para el desarrollo, decrecimiento del temporal, ya que se da el caso de durar más del doble que el temporal propiamente dicho. En todo caso choca generalmente con las observaciones directas realizadas en Canarias. Tomaremos pues para el desarrollo y decrecimiento del temporal un tiempo razonable entre 9 y 24 horas.
- 2.- Los tiempos de decreción del temporal totalmente desarrollado para el Cantábrico están en torno a las 21 horas, en tanto que para Canarias varían entre 18 y 24 horas. Parece aceptable tomar estos últimos valores como buenos.
- 3.- Finalmente a pesar de la experiencia de Intecsa, la duración total de 6 horas para un temporal parece excesivamente corta en la zona de Canarias, en tanto que el valor de 18 horas podría aceptarse aunque como límite inferior.

Como conclusión de lo expuesto podríamos admitir que t (Hs) varía entre 18 y 48 horas lo que da para n los siguientes valores.

$$n = \frac{8760}{18} = 486,66 \longrightarrow \underline{500}$$

$$n = \frac{8760}{48} = 182,5 \longrightarrow \underline{200}$$

En esta banda nos moveremos.



3.- DETERMINACION DE LA ALTURA DE  
OLA DE CALCULO DE CADA  
ESTRUCTURA

3.- DETERMINACION DE LA ALTURA DE OLA DE  
CALCULO DE CADA ESTRUCTURA

- 3.1. Introducción
- 3.2. Situación de las obras respecto de  
las olas
- 3.3. Análisis de la "no rotura"
- 3.4. Análisis de la "rotura"
- 3.5. Resumen de los análisis de la "rotura"  
y "no rotura"
- 3.6. Determinación de las alturas de ola  
significante a pie de obra para cada  
estructura
- 3.7. Elección de la altura de ola de cál-  
culo para cada estructura



### 3.- DETERMINACION DE LA ALTURA DE OLA DE CALCULO DE CADA

#### ESTRUCTURA

#### 3.1.- INTRODUCCION

En lo que sigue, vamos a determinar la altura de ola de cálculo que afecta a cada una de las estructuras que se proyectan. A saber: Dique del Oeste, Espigón del Este, Dique de defensa de playa y defensa de la isla artificial.

Estas estructuras están completamente de finidas en los planos de oleaje adjuntos.

#### 3.2.- SITUACION DE LAS OBRAS RESPECTO DE LAS OLAS INCIDENTES

Respecto de cualquier ola incidente, una estructura puede quedar situada en tres posiciones. A saber:

a) Posición de "no rotura". La ola ataca la estructura antes de romper. Es el caso de, estructuras situadas en aguas profundas o en aguas someras, respecto de altura de ola pequeña.

b) Posición de "rotura", La ola rompe directamente sobre la estructura. Es el caso de, estructuras situadas en la zona de rompiente de determinadas alturas de ola.

c) Posición de "ola rota". La ola rompe antes de llegar a la obra. Es el caso de estructuras situadas en aguas someras y defensas de costa.

Ninguna de las estructuras estudiadas en nuestro caso están situadas en zona de 'ola rota', como situación más desfavorable, por lo que prescindimos de su análisis en lo que sigue.

A continuación estudiaremos las situaciones de 'rotura' y 'no rotura' como susceptible de dar las condiciones de estabilidad más desfavorables.

#### 3.3.- ANALISIS DE LA "NO ROTURA"

En el apartado de Clima Marítimo hemos determinado las alturas de ola significativa en profundidades indefinidas (H'o) correspondiente a cada una de las direcciones del abanico que afectan a la obra.

Asímismo se dispone de datos estadísticos suficientes para determinar los períodos más frecuentes en cada una de las direcciones estudiadas.

Se han dibujado los planos de oleaje (de aproximación y de detalle) correspondientes a cada una de las direcciones del abanico (que se adjuntan). De estos planos hemos obtenido los coeficientes de refracción correspondientes a cada una de las alturas de ola significantes direccionales al aproximarse a la obra.

Con todos estos datos hemos elaborado los cuadros resumen adjuntos que nos permiten determinar la altura de ola de cálculo en "no rotura" para cada una de las estructuras proyectadas, en la hipótesis de que la ola se refracta y alcanza la estructura sin romper. La posibilidad evidente de que la ola rompa antes de llegar a la estructura o contra ella no se considera en este apartado, ya que será objeto del estudio de "rotura".

Es importante hacer notar que el análisis que nos ocupa hay que hacerlo en la marea más desfavorable, por lo que los cuadros resumen se han obtenido en las dos situaciones extremas de

PMVE y BMVE. Cualquier situación de marea intermedia se puede obtener por interpolación.

Como quiera que los planos de oleaje han sido dibujados en BMVE y a fin de evitar el dibujarlos nuevamente en PMVE, se ha considerado aproximación suficiente el tomar como onda refractada que alcanza la obra en PMVE, la correspondiente a la batimétrica de BMVE + la carrera de marea (+2,60) que obviamente estará mar adentro de la obra.

Se ha prescindido de estudiar la dirección  $W 10^{\circ} N$  ya que el plano de aproximación es exactamente igual al de W con altura de ola menor.

En lo que se refiere al ángulo con que el frente de ondas de cada dirección ataca en la estructura se ha representado por  $\theta$  (ángulo que forma el frente de la onda con el eje de cada estructura) y también se recoge en los cuadros adjuntos.



A N A L I S I S D E L A " N O R O T U R A "

ALTURA DE OLA MAXIMA REFRACTADA QUE ALCANZA A LA ESTRUCTURA, SIN ROMPER

ESTRUCTURA: DIQUE OFSTF

| DIRECCION | H'o (M) | To (sg) | período más frecuente (seg) | ALTURA DE OLA REFRACTADA EN LA ESTRUCTURA |       |         |       |       | Ho (M)       |         |
|-----------|---------|---------|-----------------------------|-------------------------------------------|-------|---------|-------|-------|--------------|---------|
|           |         |         |                             | P M V E                                   |       | B M V E |       |       | θ° INCIDENC. | OBSERV. |
|           |         |         |                             | Dique                                     | Morro | P.Sing  | Dique | Morro | P.Sing       |         |
| E 30° S   | 4,34    | 10,5    | 6,5                         | 2                                         | 2     | 2,5     | 2     | 2     | 2,5          |         |
|           |         |         |                             | N                                         | - -   | N       | N     | - -   | N            |         |
| SE        | 4,06    | 10      | 6,5                         | 1,70                                      | 1,70  | 1,80    | 1,7   | 1,70  | 1,80         | -17-    |
|           |         |         |                             | N                                         | - -   | N       | N     | - -   | N            |         |
| S         | 4,28    | 10,4    | 6,5                         | 2,40                                      | 2,40  | 3,20    | 2,4   | 2,40  | 3,20         |         |
|           |         |         |                             | 25°                                       | - -   | 25°     | 25°   | - -   | 25°          |         |
| SW        | 5,67    | 12,6    | 6,5                         | 5,75                                      | 5,75  | 7,00    | 5,75  | 5,75  | 7,00         |         |
|           |         |         |                             | 36°                                       | - -   | 36°     | 36°   | - -   | 36°          |         |
| N         | 8       | 15,8    | 6,8,9                       | 6                                         | 6     | 7       | 6     | 6     | 7            |         |
|           |         |         |                             | 45°                                       | - -   | 45°     | 45°   | - -   | 45°          |         |

θ = Angulo que forma el frente de ondas con el eje del dique.

(si θ = 90° la incidencia es normal (N)).

Nota 1: Ps este dique hay un punto singular en que existe una sobreelevación de la ola debido a la batimetría del fondo.

A N A L I S I S D E L A " N O R O T U R A "

ALTURA DE OLA MAXIMA REFRACTADA QUE ALCANZA A LA ESTRUCTURA, SIN ROMPER

ESTRUCTURA: ESPIGON ESTE

| DIRECCION | H'o (M) | To (sg) | período más frecuente (seg) | ALTURA DE OLA REFRACTADA EN LA ESTRUCTURA |       |         |       |       | Ho (M)       |         |
|-----------|---------|---------|-----------------------------|-------------------------------------------|-------|---------|-------|-------|--------------|---------|
|           |         |         |                             | P M V F                                   |       | B M V E |       |       | θ° INCIDENC. | OBSERV. |
|           |         |         |                             | Dique                                     | Morro | P.Sing  | Dique | Morro | P.Sing       |         |
| E 30° S   | 4,34    | 10,5    | 6,5                         | 1,80                                      | 1,80  | - -     | 1,80  | 1,80  | - -          |         |
|           |         |         |                             | 90°                                       | - -   | - -     | 90°   | - -   | - -          |         |
| SE        | 4,06    | 10      | 6,5                         | 1,30                                      | 1,30  | - -     | 1,30  | 1,30  | - -          |         |
|           |         |         |                             | 90°                                       | - -   | - -     | 90°   | - -   | - -          | -18-    |
| S         | 4,28    | 10,4    | 6,5                         | 3,23                                      | 1,77  | - -     | 3,23  | 1,77  | - -          |         |
|           |         |         |                             | 90°                                       | - -   | - -     | 90°   | - -   | - -          |         |
| SW        | 5,67    | 12,6    | 6,5                         | 3,23                                      | 3,23  | - -     | 3,23  | 3,23  | - -          |         |
|           |         |         |                             | 90°                                       | - -   | - -     | 90°   | - -   | - -          |         |
| N         | 8       | 15,8    | 6,8,9                       | 3,25                                      | 3,25  | - -     | 3,25  | 3,25  | - -          |         |
|           |         |         |                             | 90°                                       | - -   | - -     | 90°   | - -   | - -          |         |

θ = Angulo que forma el frente de ondas con el eje del dique.

(si θ = 90° la incidencia es normal (N)).



A N A L I S I S D E L A " N O R O T U R A "

ALTURA DE OLA MAXIMA REFRACTADA QUE ALCANZA A LA ESTRUCTURA, SIN ROMPER

ESTRUCTURA: DIQUE SUMERGIDO. DEFENSA PLAYA

| DIRECCION | H'o (M) | To (sg) | período más frecuente (seg) | ALTURA DE OLA REFRACTADA EN LA ESTRUCTURA |     |         |     | Ho (M)       |         |
|-----------|---------|---------|-----------------------------|-------------------------------------------|-----|---------|-----|--------------|---------|
|           |         |         |                             | P M V F                                   |     | B M V E |     | θ° INCIDENC. | OBSERV. |
|           |         |         |                             | Dique                                     |     | Dique   |     |              |         |
| F 30° S   | 4,34    | 10,5    | 6,5                         | 1,80                                      | - - | 1,80    | - - |              |         |
|           |         |         |                             | 35°                                       | - - | 35°     | - - |              |         |
| SF        | 4,06    | 10      | 6,5                         | 1,20                                      | - - | 1,20    | - - |              | -19-    |
|           |         |         |                             | 35°                                       | - - | 35°     | - - |              |         |
| S         | 4,28    | 10,4    | 6,5                         | 1,70                                      | - - | 1,70    | - - |              |         |
|           |         |         |                             | 40°                                       | - - | 40°     | - - |              |         |
| SW        | 5,67    | 12,6    | 6,5                         | 3                                         | - - | 3       | - - |              |         |
|           |         |         |                             | 40°                                       | - - | 40°     | - - |              |         |
| W         | 8       | 15,8    | 6,8,9                       | 3,10                                      | - - | 3,10    | - - |              |         |
|           |         |         |                             | 40°                                       | - - | 40°     | - - |              |         |

θ = Angulo que forma el frente de ondas con el eje del dique.

(si θ = 90° la incidencia es normal (N)).

A N A L I S I S D E L A " N O R O T U R A "

ALTURA DE OLA MAXIMA REFRACTADA QUE ALCANZA A LA ESTRUCTURA, SIN ROMPER

ESTRUCTURA: DEFENSA ISLA

| DIRECCION | H'o (M) | To (sg) | período más frecuente (seg) | ALTURA DE OLA REFRACTADA EN LA ESTRUCTURA |     |         |     | Ho (M)       |         |
|-----------|---------|---------|-----------------------------|-------------------------------------------|-----|---------|-----|--------------|---------|
|           |         |         |                             | P M V F                                   |     | B M V E |     | θ° INCIDENC. | OBSERV. |
|           |         |         |                             | DIQUE                                     |     | DIQUE   |     |              |         |
| E 30° S   | 4,34    | 10,5    | 6,5                         | 2                                         | - - | 2       | - - |              |         |
|           |         |         |                             | 55°                                       | - - | 55°     | - - |              |         |
| SE        | 4,06    | 10      | 6,5                         | 1,60                                      | - - | 1,60    | - - |              | -20-    |
|           |         |         |                             | 50                                        | - - | 50      | - - |              |         |
| S         | 4,28    | 10,4    | 6,5                         | 2,20                                      | - - | 2,20    | - - |              |         |
|           |         |         |                             | 75°                                       | - - | 75°     | - - |              |         |
| SW        | 5,67    | 12,6    | 6,5                         | 4,50                                      | - - | 4,50    | - - |              |         |
|           |         |         |                             | 80°                                       | - - | 80°     | - - |              |         |
| W         | 8       | 15,8    | 6,8,9                       | 4,70                                      | - - | 4,70    | - - |              |         |
|           |         |         |                             | 90°                                       | - - | 90°     | - - |              |         |

θ = Angulo que forma el frente de ondas con el eje del dique.

(si θ = 90° la incidencia es normal (N)).



Como resumen de lo obtenido en los cuadros podemos decir que las situaciones más desfavorables para cada estructura en "no rotura" son las siguientes:

| ESTRUCTURA               |         | ALT. OLA EN<br>"NO ROTURA"<br>Ho (m) | INC<br>θ° | Caract. temporal<br>aguas profundas |        |          |
|--------------------------|---------|--------------------------------------|-----------|-------------------------------------|--------|----------|
|                          |         |                                      |           | DIR                                 | Ho (m) | To (seg) |
| DIQUE W                  | Dique   | 6                                    | 45°       | W                                   | 8      | 15,8     |
|                          | Morro   | 6                                    | ---       | W                                   | 8      | 15,8     |
|                          | P.Sing. | 7                                    | 45°       | W                                   | 8      | 15,8     |
| ESPIGON E                | Dique   | 325                                  | 90°       | W                                   | 8      | 15,8     |
|                          | Morro   | 325                                  | ---       | W                                   | 8      | 15,8     |
| Dique playa<br>sumergido | -       | 310                                  | 40°       | W                                   | 8      | 15,8     |
| Defensa<br>Isla          | -       | 470                                  | 90°       | W                                   | 8      | 15,8     |

De lo expuesto se deduce que la dirección más desfavorable es en todos los casos W y por lo tanto analizaremos la rotura exclusivamente en esa dirección.

PLANOS DE OLEAJE ,  
APROXIMACION Y  
DETALLE

### 3.4.- ANALISIS DE LA "ROTURA"

#### 3.4.1. Descripción y justificación en el método a seguir:

Cuando cualquier ola ( $H'o$ ), en aguas profundas avanza hacia la costa, se refracta por el rozamiento contra el fondo, hasta que llega a su profundidad de rotura ( $db$ ) y rompe. En las proximidades de estructuras y debido a la reflexión  $db$  se convierte en un intervalo de rotura ( $db_{m\acute{a}x}$ . y  $db_{m\acute{i}n}$ ).

Esto ocurre para las infinitas alturas de ola imaginables en cada dirección de avance y en todas las direcciones del abanico que afecta a la obra objeto del estudio.

Como primera simplificación lógica, hemos seleccionado las direcciones más representativas del abanico. A saber: E 30° S, SE S, SW, W, W 10° N y realizaremos nuestros cálculos con la altura de ola significativa ( $H_s = H\frac{1}{3}$ ) como representativa de los trenes de ondas en cada dirección.

Como segunda simplificación lógica elegimos para cada estructura la dirección que produce la situación más desfavorable, que corresponderá a la obtenida en el análisis de "no rotura" (apartado 3 de este anejo). Conocida ésta, analizaremos si la estructura, puede quedar sometida a olas rompiendo directamente sobre ella, con altura de ola ( $H_b$ ) mayor que la  $H\frac{1}{3}$  de "no rotura".

Para cada estructura, y elegida la dirección de temporal más desfavorable procederemos en dos pasos:

#### 1<sup>er</sup> Paso:

1. Se determina la máxima altura de ola en rotura ( $H_b$ ) que puede romper directamente sobre la estructura, tanto en PMVE como en BMVE.

Esto puede hacerse conociendo la profundidad en el pie del talud de la estructura, el período en esa dirección y el talud de la costa en las inmediaciones de la obra.

2. A continuación se determina la máxima  $H'o$  en aguas profundas sin refractar, asociada a la  $H_b$  de rotura ya obtenida.

3. En este punto pueden darse 2 casos:

3.a. Si la H'o así obtenida es menor que la máxima H'o extremas en aguas profundas en la dirección estudiada, la Hb antes calculada será la mayor ola "en rotura" a que puede estar sometida la estructura objeto del estudio (asociada a  $H_{\frac{1}{3}}$  - ya que puede haber Hb mayores asociadas a  $H_{\frac{1}{10}}$ ,  $H_5$ ,  $H_1$ , etc).

La altura de ola de cálculo de la estructura será pues la mayor de la Hb así obtenida y las obtenidas del análisis de "no rotura".

En este caso, el 2º paso no procede y ya hemos obtenido nuestra altura de ola de cálculo con lo que finaliza el procedimiento.

3.b. Si la H'o obtenida en el punto 2º es mayor que la máxima H'o extremal en aguas profundas en esa dirección, la estructura no podrá estar sometida en la Hb obtenida en el punto 1º ya que la H'o asociada a ella es tan grande que la posibilidad de que venga en temporal en esa dirección ni siquiera se ha considerado en el período de retorno elegido.

Por lo tanto, la máxima ola en rotura a que estaría sometida la estructura es la asociada a la H'o extremal en esa dirección y si esa ola rompe por fondos antes de llegar a la obra a la Hb asociada a la correspondiente ola refractada menor.

Para determinar con precisión este extremo damos el 2º paso.

#### 2º Paso:

Partimos de los planos de oleaje correspondientes a la dirección considerada como más desfavorable.

Como quiera que los planos de oleaje han sido dibujados en BMVF y para evitar un nuevo dibujo, consideramos como profundidad de rotura en PMVE la correspondiente a BMVE más la carrera de marea.

La máxima Hb que puede romper sobre la estructura se obtiene de la forma iterativa siguiente:

1. Conocida la máxima H'o en aguas profundas se obtiene su intervalo de roturas ( $db_{máx}$  -  $db_{mín}$ ) y su Hb.



2. De los planos de oleaje, obtenemos la máxima onda refractada Ho en ese intervalo si  $H_o < H'_o$ , la ola no ha roto al llegar a él puesto que al refractarse por fondo es menor de la esperada.
3. Volvemos a obtener el intervalo de rotura correspondiente a la máxima  $H_o$  del punto 2, y lo haremos sucesivamente hasta que la  $H_o$  obtenida esté dentro de su intervalo de rotura.
4. La  $H_b$  asociada a la última  $H_o$  será la máxima altura de ola en rotura.

Es importante hacer notar, que puede darse el caso que en los sucesivos procesos arriba explicados la ola pase por la estructura y no rompa por fondo, ya que el intervalo siguiente cae por detrás de la obra. En este caso, la ola de cálculo será la máxima de no rotura.

Asimismo, estas situaciones hay que analizarlas tanto en PMVE como en BMVF ya que la rotura puede darse en el caso que aparentemente es más favorable mientras que en el otro no se dá.

Lo que hemos expuesto hasta aquí es, en sentido estricto un procedimiento muy riguroso tanto para el cálculo de una estructura, sometida a olas que rompen sobre ella, ya que mediante él, podemos determinar en cada caso, la máxima ola que ataca a la estructura sin romper ( $H_o$ ), la máxima ola que rompe sobre la estructura ( $H_b$ ) y en su caso, la máxima ola rota que alcanza a la estructura proyectada, tanto en pleamar como en bajamar.

Es interesante hacer notar, que con bastante frecuencia la situación más desfavorable es la 2°. Es decir, cuando la ola rompe directamente sobre la estructura, ya que, la altura de ola de cálculo en rotura ( $H_b$ ) es superior a la ola incidente que la genera ( $H_o$ ). Esto, que en principio puede parecer un contrasentido, no sólo no lo es, sino que responde a una interpretación muy rigurosa del fenómeno real. Todos hemos podido observar, el tremendo impacto que producen las olas sobre la estructura en el momento de romper directamente sobre ellas; liberando de forma instantánea y violenta toda la energía acumulada durante su largo recorrido de Kms. de fetch, desde la zona de

generación del oleaje hasta la obra. Este impacto de la ola al romper, contrasta con el movimiento de subida por el talud y arrastre en la bajada, de una ola que alcanza la obra sin romper. La simple observación visual de los dos fenómenos, aclara por sí mismo cual de los dos produce mayor efecto en la estructura. En este caso, el cálculo es fiel reflejo del fenómeno real.

#### 3.4.2. Cálculos:

A continuación procedemos a realizar los cálculos expuestos en el apartado anterior para cada uno de las cuatro estructuras de que consta la obra. A saber:

- Dique del Oeste
- Defensa de isla
- Defensa de playa (sumergido)
- Espigón del Este

La dirección de temporal que produce la situación más desfavorable es la W para todas las estructuras que se estudian. A ella nos limitaremos en lo que sigue.

#### \* DIQUE DEL OESTE

##### 1<sup>er</sup> Paso

- 1- Determinación de la máxima altura de ola ( $H_b$ ) que puede romper directamente sobre la estructura.

##### 1.1- PMVF

$$d_s = 13 + 2,6 = 15,6 \text{ M.}$$

$$\text{Talud costa } M = 0,02$$

Períodos: tomamos el más desfavorable

$$T = 15,8 \text{ seg.}$$

$$\frac{d_s}{GT^2} = 0,006376 \quad \text{Fig. 7,4}$$

$$\frac{H_b}{d_s} = 0,9 \quad H_b = \underline{14,04 \text{ M.}}$$

##### 1.2- BMVE

$$d_s = 13 \text{ M.}$$

$$\frac{d_s}{GT^2} = 0,005313 \quad \text{Fig. 7,4}$$

$$\frac{H_b}{d_s} = 0,92 \quad H_b = \underline{11,96 \text{ M.}}$$

- 2- Determinación de la máxima  $H'_o$  en aguas profundas (sin refractar), asociada a la  $H_b$  de rotura obtenida arriba.

##### 2.1- BMVE

$$\frac{H_b}{GT^2} = \frac{11,96}{9,8 \times 15,8^2} = 0,004888$$

$$\text{Fig. 7,5} \quad \frac{H_b}{H'_{10}} = 1,125$$

Luego:

$$H'_{10} = \frac{11,96}{1,125} = \underline{10,63 \text{ M.}}$$

## 2.2- PMVE

$$\frac{H_b}{GT^2} = \frac{14,04}{9,8 \times 15,8^2} = 0,0057388$$

$$\text{Fig. 7,5} \quad \frac{H_b}{H'_{10}} = 1,1$$

Luego:

$$H'_{10} = \frac{14,04}{1,1} = \underline{12,76 \text{ M.}}$$

Luego la mínima  $H'_{10}$  en aguas profundas asociada a la  $H_b$  de rotura obtenida en 1 es 10,63 M. y por tanto mayor que la máxima  $H'_{10}$  considerada aquí, que comprende a la dirección Oeste y en  $H'_{10} = 8 \text{ M.}$  pasa un período de retorno de  $T = 300$  años. No es posible considerar situaciones peores que esta.

## 2<sup>do</sup> Paso

Fijado el máximo temporal en aguas profundas, vamos a determinar la mayor  $H_b$  que ese temporal puede producir rompiendo directamente sobre la estructura:

Temporal máximo considerado

$$H'_{10} = 8 \text{ M.}$$

$$T = 15,8 \text{ seg. (más desfavorable)}$$

Dirección: W

$$M = 0,02$$

1- Determinación del intervalo de rotura y  $H_b$  de rotura:

$$\frac{H'_{10}}{GT^2} = 0,00327 \quad \text{Fig. 7,3} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{H_b}{H'_{10}} = 1,2 \quad H_b = 9,6 \text{ M.}$$

$$\frac{H_b}{GT^2} = 0,00392 \quad \text{Fig. 7,2 } \}$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \frac{db_{mín}}{H_b} = 1,15 & db \text{ mín.} = 11,04 \text{ M.} \\ \frac{db_{máx}}{H_b} = 1,52 & db \text{ máx.} = 14,59 \text{ M.} \end{array} \right.$$

2- De los planos de oleaje, obtenemos la máxima ola refractada en ese intervalo ( $H_0$ ).

$$\left. \begin{array}{ll} \text{2.1- PMVE} & H_0 = 6,04 \text{ M} \\ \text{2.2- BMVF} & H_0 = 6,04 \text{ M} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Como } H_0 \text{ es igual} \\ \text{para PMVF y para} \\ \text{BMVF, analizamos} \\ \text{en lo que sigue un solo caso.} \end{array}$$

Como  $H_0 = 6,04 \text{ M.} < H'_{10} = 8 \text{ M.}$  la ola no ha roto en el intervalo ya que su altura ha bajado (por fricción con el fondo) antes de llegar a él.



-32-

3- Determinación del intervalo de rotura y  $H_b$  de la máxima  $H_o$  obtenida en el apartado 2.

$$H_o = 6,04 \text{ M}$$

$$T = 15,8 \text{ seg.}$$

Dirección W

$$M = 0,02$$

$$\frac{H_o}{GT^2} = 0,0024688 \quad \text{fig. 7,3}$$

$$\frac{H_b}{H_o} = 1,27 \quad H_b = 7,67 \text{ M.}$$

$$\frac{H_b}{GT^2} = 0,003135 \quad \text{fig. 7,2}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{db}{H_b}^{nw} = 1,125 \quad db \text{ mín} = 8,63 \text{ M.} \\ \frac{db}{H_b}^{mca} = 1,5 \quad db \text{ máx} = 11,5 \text{ M} \end{array} \right.$$

4- De la observación de los planos de oleaje obtenemos lo siguiente:

El Morro del dique y los últimos 100 M. de éste, están cimentados a profundidades superiores al intervalo de rotura, por lo tanto en esa zona la ola atacará al dique sin romper y la máxima  $H_{\frac{1}{3}}$  en este tramo será la de "no rotura", es decir,  $H = 6M.$  y  $\sigma = 45^\circ$ .

-33-

Sin embargo, en el resto del dique, el pié de talud roza el intervalo de rotura del apartado 3 en BMVE, siendo la máxima ola refractada en el intervalo de 6,04 m. en el círculo final del dique, con lo que se cierra el ciclo.

La  $H_s$  máxima en este tramo será la de rotura  $H_b = 7,67 \text{ m.}$  asociada a la  $H_o = 6,04 \text{ m.}$

Despreciamos la sobreelevación del punto singular, dada la poca entidad en el conjunto de la obra.

\* DEFENSA DE LA ISLA, DIQUE SUMERGIDO DE PLATA Y ESPIGON FSTE

1<sup>er</sup> Paso

De modo análogo al Dique del Oeste se demuestra que la máxima  $H_o^1$  asociada a la máxima  $H_b$  de rotura que admite el dique por su profundidad es mayor que el mayor temporal de cálculo considerado aquí, que es como se ha dicho:

$$\begin{aligned} H_o &= 8 \text{ M.} \\ T &= 15,8 \text{ seg.} \\ \text{Dirección} &= W \\ M &= 0,02 \end{aligned}$$

Establecido esto, vamos a determinar la mayor  $H_b$  que este temporal puede hacer romper sobre la estructura. Es decir, pasamos directamente al segundo paso.

2<sup>do</sup> Paso

1- Determinación del intervalo de rotura y  $H_b$ .

Como en el caso anterior:

$$\begin{aligned} db \text{ máx} &= 14,59 \text{ M.} \\ db \text{ mín} &= 11,04 \text{ M.} \end{aligned}$$

2- Del mismo modo la máxima  $H_o$  refractada en ese intervalo es

$$H_o = 6,04 \text{ M.}$$

Como  $H_o 6,04 < 8, = H_o^1$ , la ola no ha roto en el intervalo, sino que se ha rebajado por fricción.

3- Determinamos el intervalo de rotura de la nueva  $H_o = 6,04 \text{ M.}$  que como en el caso anterior es

$$\begin{aligned} db \text{ máx} &= 11,5 \text{ M} \\ db \text{ mín} &= 8,63 \text{ M.} \end{aligned}$$

y la  $H_b = 7,67 \text{ M.}$

4- De la observación de los planos de oleaje se desprende que la máxima ola refractada en ese intervalo se produce en BMVE y es

$$\begin{aligned} H_o &= 4,70 \text{ M} \\ T &= 15,8 \text{ seg.} \\ M &= 0,02 \text{ M.} \end{aligned}$$

5- Determinación del intervalo de rotura y  $H_b$  de la nueva ola.

$$\frac{H_o}{GT^2} = 0,00192 \quad \text{Fig. 7,3} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{H_b}{H_o} = 1,35 \quad H_b = 6,345 \text{ M.}$$

-36-

$$\frac{Hb}{GT^2} = 0,00259 \quad \text{fig. 7,2} \left\{ \begin{array}{l} \frac{db_{mín}}{Hb} = 1,125 \quad db \text{ mín} = 7,13 \text{ M.} \\ \frac{db_{máx}}{Hb} = 1,5 \quad db \text{ Máx} = 9,51 \text{ M} \end{array} \right.$$

6- De la observación de los planos de oleaje se desprende que la máxima ola refractada en el intervalo anterior se produce en -- BMVF y es

$$\begin{aligned} Ho &= 3,99 \text{ M.} \\ T &= 15,8 \text{ Seg.} \\ M &= 0,025 \end{aligned}$$

7- Determinación del intervalo de rotura y Hb de la nueva ola

$$\frac{Ho}{GT^2} = 0,00163 \quad \text{fig. 7,3} \rightarrow \rightarrow \frac{Hb}{Ho} = 1,4 \quad Hb = 5,58 \text{ M.}$$

$$\frac{Hb}{GT^2} = 0,00228 \quad \text{fig. 7,2} \left\{ \begin{array}{l} \frac{db_{mín}}{Hb} = 1,11 \quad db \text{ mín.} = 6,19 \text{ M} \\ \frac{db_{máx}}{Hb} = 1,5 \quad db \text{ máx.} = 8,37 \text{ M} \end{array} \right.$$

8- De la observación de los planos de oleaje se desprende que:

a) Esta ola no rompe en el dique de defensa de isla.

-37-

b) la máxima ola refractada en el intervalo anterior se produce en BMVF y es

$$\begin{aligned} Ho &= 3,10 \text{ M.} \\ T &= 15,8 \text{ Seg.} \\ M &= 0,05 \end{aligned}$$

9- Determinación del intervalo de rotura y Hb de la nueva ola

$$\begin{aligned} \frac{Ho}{GT^2} &= 0,001267 \quad \text{Fig. 7,3} \rightarrow \rightarrow \frac{Hb}{Ho} = 1,74 \quad Hb = 5,39 \text{ M.} \\ \frac{Hb}{GT^2} &= 0,002203 \quad \text{fig. 7,2} \left\{ \begin{array}{l} \frac{db_{mín}}{Hb} = 0,92 \quad db \text{ mín.} = 4,96 \text{ M.} \\ \frac{db_{máx}}{Hb} = 1,15 \quad db \text{ máx.} = 8,08 \text{ M} \end{array} \right. \end{aligned}$$

10- De la observación de los planos de oleaje se deduce que:

Tanto el pie del talud del dique sumergido como el del morro del Espigón Este caen -- dentro del intervalo de rotura en BMVF, -- siendo la ola refractada en el intervalo de 3,10 M. con lo que se cierra el ciclo.

Por lo tanto la  $H \frac{1}{3}$  máxima en el intervalo, tanto para el dique sumergido de la - playa como para el morro del Espigón Este



será la de rotura  $H_b = 5,39 M.$  asociada a la  $H_o = 3,10 M.$

En todo caso el dique sumergido de defensa de playa provocaría la rotura de la ola incidente por fondos.

- 11- En lo que se refiere al cuerpo del Espigón del Este, de lo expuesto resulta evidente que para los máximos temporales aquí estudiados, queda en zona de ola rota en BMVE, dado que las olas irrumpirían directamente contra el morro.

Dada la gran difracción de la onda incidente, con la consiguiente disipación de energía y el hecho de que el espigón del Este es completamente perpendicular a dicha ola incidente lo que prácticamente impide la rotura de ésta, con los casos de PMVE en máximos temporales, parece suficientemente seguro calcular el cuerpo del dique con la ola en "no rotura", que será mas desfavorable que en el caso de ola rota.

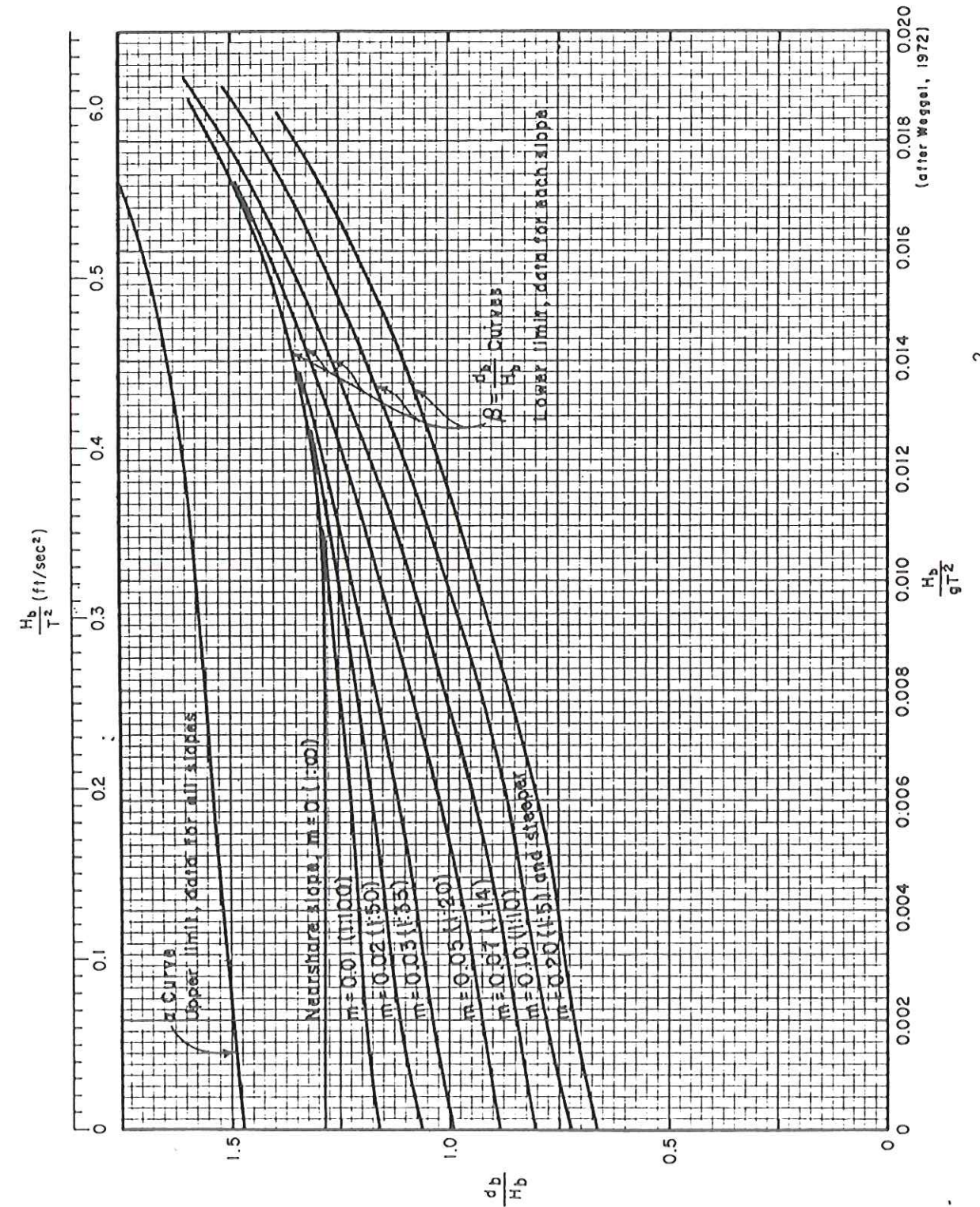


Figure 7-2.  $\alpha$  and  $\beta$  versus  $H/gT^2$ .



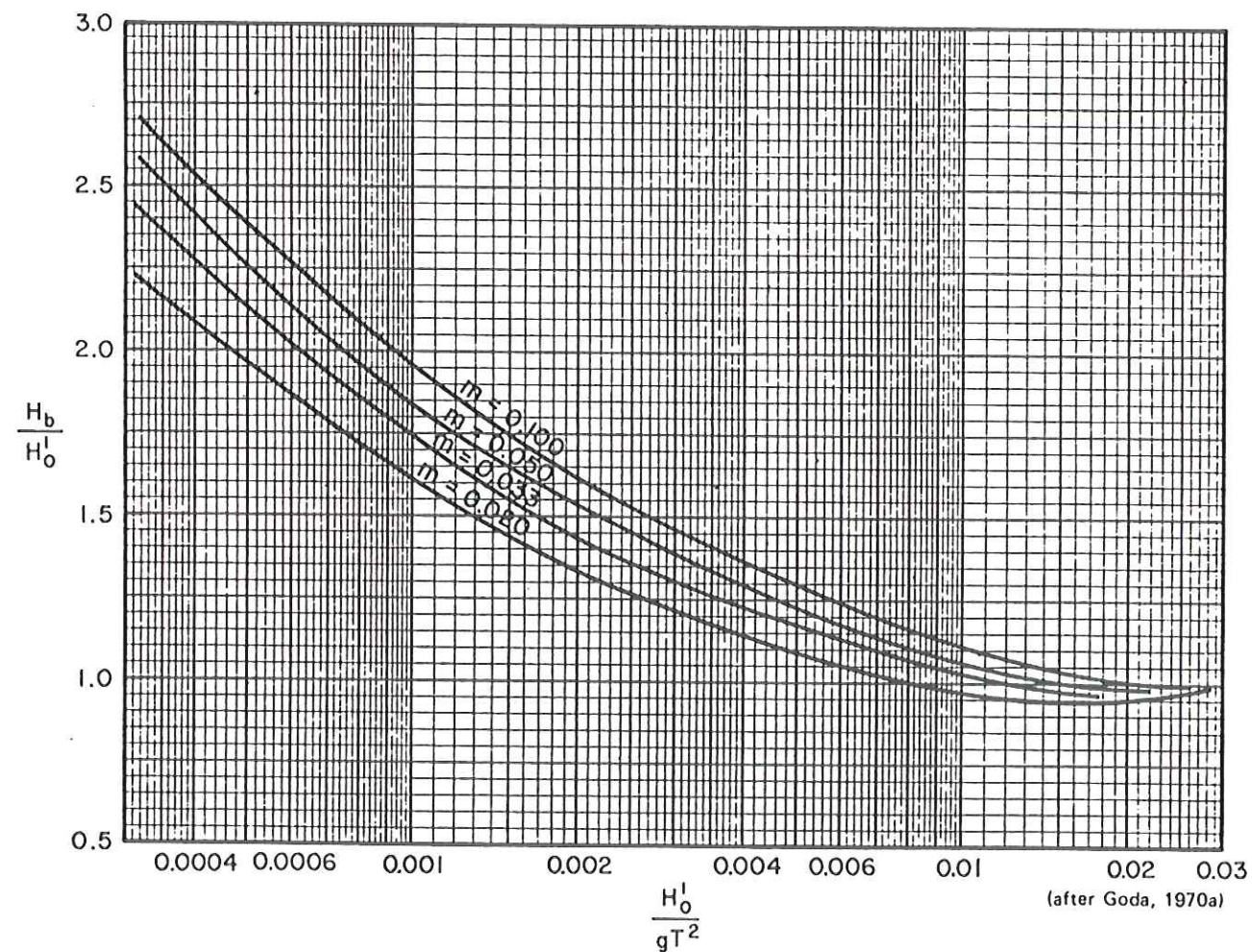


Figure 7-3. Breaker height index  $H_b/H_o'$  versus deepwater wave steepness  $H_o'/gT^2$ .

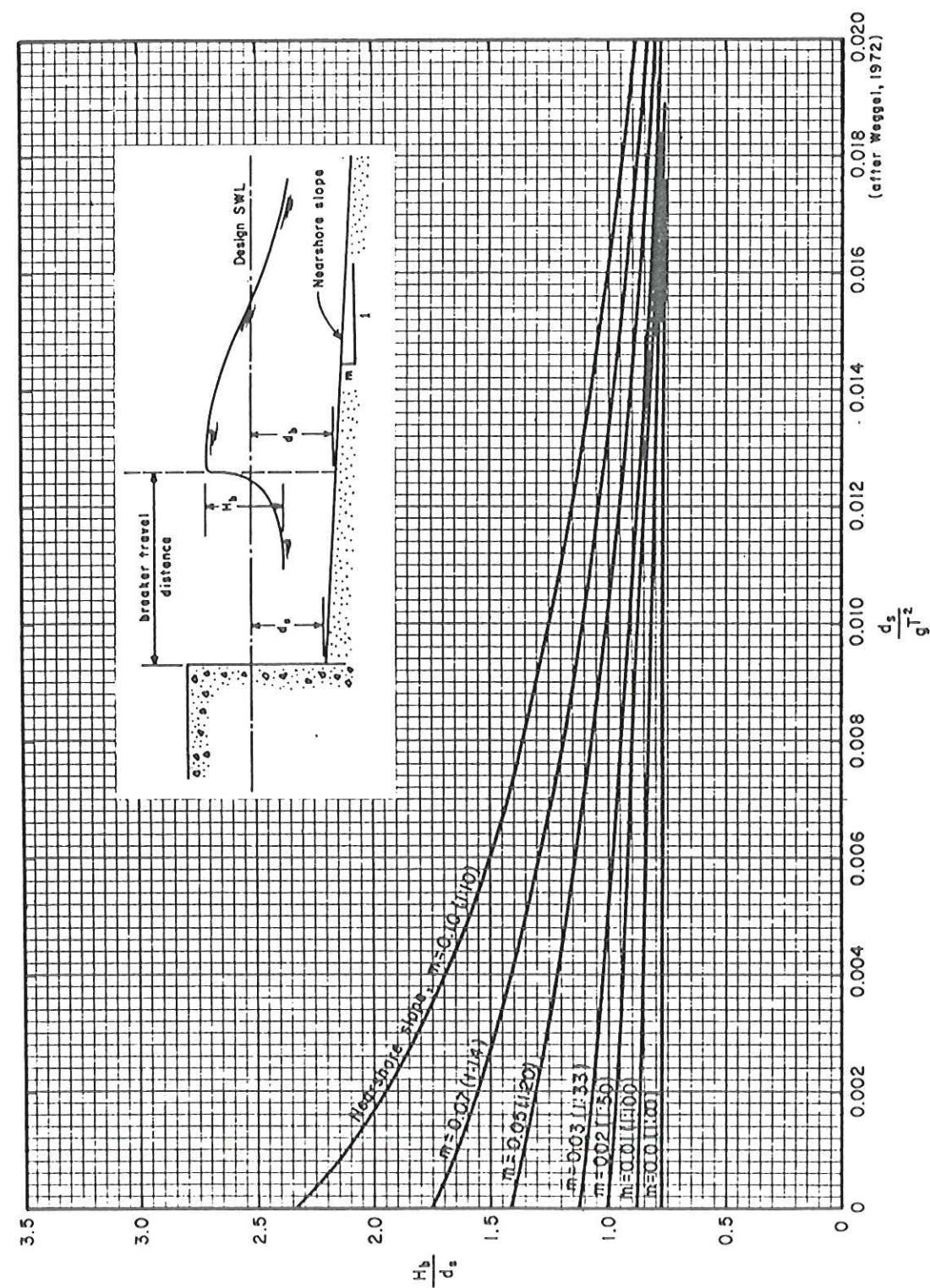


Figure 7-4. Dimensionless design breaker height versus relative depth at structure.



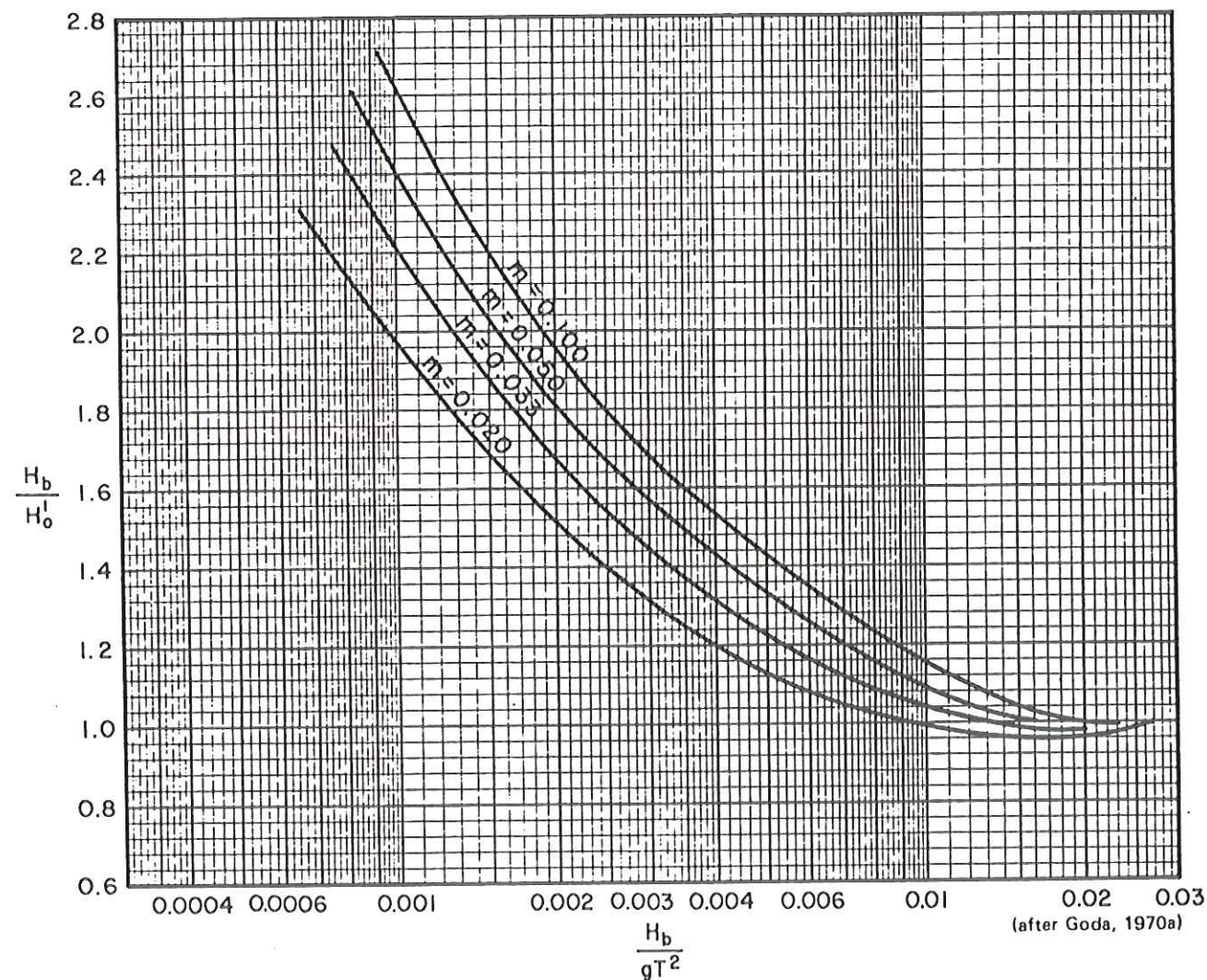


Figure 7-5. Breaker height index  $H_b/H_o$  versus  $H_b/gT^2$ .

### 3.5.- RESUMEN DEL ANALISIS DE "ROTURA" Y "NO ROTURA"

Como resumen de los cálculos anteriores obtenemos las conclusiones siguientes, respecto de las alturas de ola significantes máximas - que afectan a cada estructura. Son:

#### a) DIQUE DEL OESTE

a1. Morro y últimos 100 M. de dique

$H \frac{1}{3}$  máx. = 6 M.  $\theta$  45° no rotura

a2. Resto del dique

$H_b$  = 7,67 M. rotura

a3. Despreciamos la sobreelevación del punto singular

#### b) DEFENSA DE LA ISLA

b1. Cuerpo del dique

$H \frac{1}{3}$  = 4,70  $\theta$  = 90° no rotura

b2. Morro vertical

A pesar de quedar al abrigo del Dique del Oeste, dado que puede producirse rotura en la bocana, se recomienda utilizar la misma  $H_s$  que para el morro vertical del Dique del Oeste.

$H \frac{1}{3}$  M x 6 M  $\theta$  = 45° no rotura