

CRITERIOS DE ROTURA DEL OLEAJE (1)

(SEGUNDA PARTE)

JOSE MANUEL DE LA PEÑA OLIVAS (*)

RESUMEN. El presente artículo es continuación del aparecido con el nombre de «criterios de rotura del oleaje» (1.ª parte). Se muestra, en orden cronológico de aparición, los distintos criterios, existentes hasta la fecha, que calculan, a partir de la altura de ola previa a la rotura, la profundidad a la que se produce la rotura. Asimismo, a continuación, se homogenizan los dos tipos de criterios, representándolos en las mismas coordenadas, para tener una visión global y una comparación entre los distintos criterios.

ABSTRACT. The present article is a continuation of the one which appeared under the title «wave breakage criteria» (part 1). The different criteria which exist, up to the present, for calculating the depth at which the breakage occurs, are shown; this calculation is made on the basis of wave-height before breakage. In addition, the two types of criteria are homogenized, being represented on the same coordinates, in order to obtain an overall view so that different criteria can be compared.

INTRODUCCION

En la primera parte de este artículo se hizo una sucinta referencia al fenómeno de rotura; se mostraron las distintas formas de abordado, distinguiendo a su vez dos tipos distintos de criterios de rotura de oleaje, según cual fuese el parámetro a determinar; presentándose, finalmente, los criterios para determinar la altura de ola en rotura.

En el presente artículo se presentan el otro tipo de criterios; criterios para determinar el punto de rotura del oleaje. Se muestra, cada uno de ellos, en orden de aparición y con la formulación que sus autores dieron a los criterios al publicarlos, siguiendo, por tanto, la misma metodología utilizada para los criterios para determinar la altura de ola.

DISTORSION DEL OLEAJE HASTA SU ROTURA

Cuando el oleaje alcanza profundidades de agua la mitad de la longitud de onda de la ola ($D/L = 0,5$), ésta se ve alterada por el fondo de tal forma que el peralte de la ola (H/L) va creciendo a medida que disminuye la profundidad del agua, hasta alcanzar un límite en el que se rompe el equilibrio de la onda, produciéndose una disipación grande de energía.

A lo largo de la corta historia de la ingeniería de costas han ido desarrollándose métodos y criterios, para determinar el punto donde rompe la ola. Dicho punto, de

un modo genérico, se puede definir por los siguientes parámetros:

- Altura de la ola en rotura, H_b .
- Longitud de onda de la ola en rotura, L_b .
- Profundidad del agua al producirse la rotura, D_b .
- Pendiente del fondo, considerado éste uniforme ($\tan \beta = m$).

Los parámetros (H_b , L_b , D_b) pueden transformarse en las variables adimensionales H_b/D_b , H_b/L_b y D_b/L_b .

En el presente estudio, a fin de uniformizar y comparar los distintos criterios existentes, se han utilizado los dos primeros parámetros adimensionales; H_b/D_b y H_b/L_b , además de la pendiente del fondo del mar (m) reduciendo todas las fórmulas a ellos.

Siguiendo un orden cronológico de aparición de los distintos criterios se puede clasificar:

1. J. Boussinesq (1871).
2. J. Mac Cowan (1891).
3. J. H. Michell (1893).
4. R. F. Gwyther (1900).
5. R. Miché (1944).
6. T. V. Davies (1951).
7. B. A. Packham (1952).
8. H. Yamada (1957).
9. E. V. Latoine (1962).
10. C. W. Lenau (1966).
11. K. Horikawa y Chin-Tong Kuo (1966).
12. T. Kishi y H. Saeki (1966).
13. F. E. Camfield y R. L. Street (1967).
14. C. J. Galvin Jr. (1969).
15. J. I. Collins y W. Wier (1969).
16. J. G. B. Byatt-Smith (1970).
17. R. Grimshaw (1971).
18. T. Strelkoff (1971).

(1) Este artículo es parte de un trabajo realizado por el CEPYCEDEX para la Dirección General de Puertos y Costas.

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos e Ingeniero Técnico de Obras Públicas. Jefe de la Sección de Estudios Litorales del Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX IMOPU.

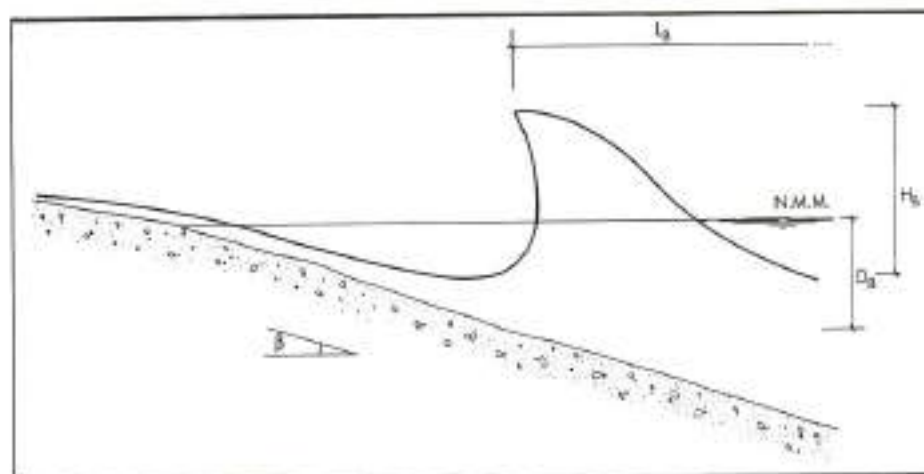


FIGURA 1.

19. J. Fenton (1972).
20. J. R. Weggel (1972).
21. M. S. Longuet-Higgins (1974).
22. D. W. Ostendorf y O. S. Madsen (1979).

1.º CRITERIO

J. Boussinesq estudió la teoría de onda solitaria, deduciendo teóricamente, publicado en 1871 bajo el nombre de «*Theorie de L'Intumescence liquid appelee onde solitarie on de translation*», el límite para el cual la ola rompe, dicho límite se cumple:

$$H/L_0 = 0,73$$

2.º CRITERIO

J. Mac Cowan en 1891 publicó «*On the solitary waves*» en el cual usando el análisis de la teoría de onda solitaria dedujo que la ola rompe cuando se cumple:

$$H/L_0 = 0,78125$$

3.º CRITERIO

J. H. Michell, en su publicación de 1893 «*On the highest waves*», afirmó que la rotura de la ola se produce, no teniendo en cuenta la profundidad del agua ni la configuración del fondo, cuando la velocidad de la partícula del agua en la cresta se iguala a la celeridad de la onda, y esto ocurre cuando el ángulo de la cresta es igual a 120°; en este instante el peralte de la ola es:

$$H/L_0 = 1/7$$

4.º CRITERIO

En el desarrollo teórico de la teoría de onda solitaria, R. F. Gwyther, en 1900, en «*The classes of long progressive waves*», dedujo que la ola rompía cuando se verificaba:

$$H/L_0 = 0,83$$

5.º CRITERIO

Con posterioridad a estos primeros criterios, en 1944, Robert Miché, en su libro «*Mouvements ondulatoires de la mer en profondeur constante ou décroissante*», determinó teóricamente que la dependencia del fondo del mar en la rotura del oleaje se aproximaba bastante bien a la ecuación:

$$H/L_0 = 0,142 \operatorname{th} (2\pi D_0/L_0)$$

Poniendo dicha ecuación en función de las variables adimensionales antes elegidas, H/L_0 y H_0/L_0 , resulta finalmente:

$$H_0/D_0 = 2\pi H/L_0 \arg \operatorname{th} (7,04 H_0/L_0)$$

6.º CRITERIO

T. V. Davies, usando la teoría de onda solitaria, 1951, en «*Symmetrical, finite amplitude gravity waves*», dedujo teóricamente que el límite para el cual la ola rompe es:

$$H_0/D_0 = 0,83$$

7.º CRITERIO

En «*The theory of symmetrical gravity waves*» en 1952, B. A. Packham, dedujo, como en criterios anteriores, basándose en la teoría de onda solitaria, que el límite para el cual la ola pierde su equilibrio y rompe es:

$$H_0/D_0 = 1,03$$

8.º CRITERIO

H. Yamada, en su publicación de 1957, «*On the highest solitary waves*», mostró la solución de la ecuación de onda solitaria, con superficie libre, para 13 puntos de su perfil y dio el límite de ola en rotura:

$$H_0/D_0 = 0,828$$

9.º CRITERIO

E. V. Laizne calculó el límite para el cual la onda rompe, basándose en la teoría de onda cnoidal, publicándolo en 1962 bajo el nombre de «Limiting conditions for cnoidal and stokes waves». Dicho límite era:

$$H_b/D_b = 0,7273$$

10.º CRITERIO

C. W. Lenau, en 1966 en «The solitary wave of maximum amplitude», mostró la resolución de la ecuación integral para el perfil de ola de máxima amplitud. Así dio como límite en rotura de la ola:

$$H_b/D_b = 0,827$$

11.º CRITERIO

En 1966, Kiyoshi Horikawa y Chin-Tong Kuo, presentan, en la 10.ª Conferencia de Ingeniería de Costas celebrada en Tokyo, «A study on waves transformation inside surf zone» en el que muestran los estudios experimentales realizados por ellos sobre pendientes uniformes de la playa para determinar el punto de rotura del oleaje. Una de las consecuencias finales del estudio es el ábaco que se muestra a continuación, en el que las variables elegidas son: H/H_b y D/D_b , H y D , altura de ola y profundidad del agua antes de la rotura, pueden suponerse como caso particular como H_b y D_b , variables teóricamente conocidas.

12.º CRITERIO

Tsutomu Kishi y Hiroshi Saeki, en «The shoaling, breaking and runup of the solitary wave on impermeable rough slopes» de 1966, presentan los resultados de los estudios experimentales llevados a cabo en laboratorio con oleaje tipo onda solitaria, para pendientes de la pla-

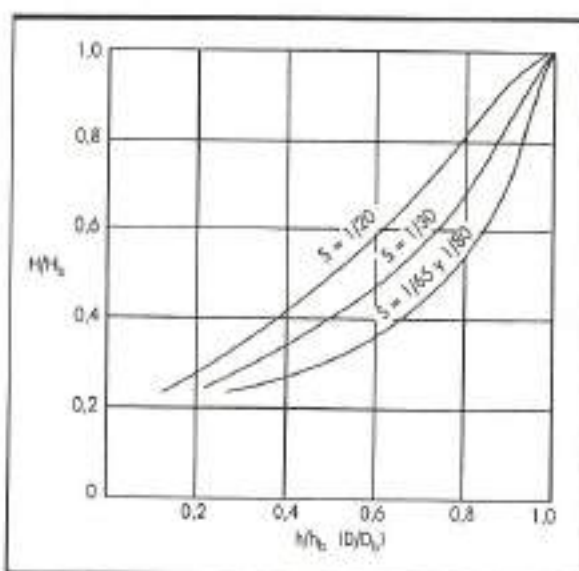


FIGURA 2. 11.º Criterio Horikawa y Kuo, 1966.

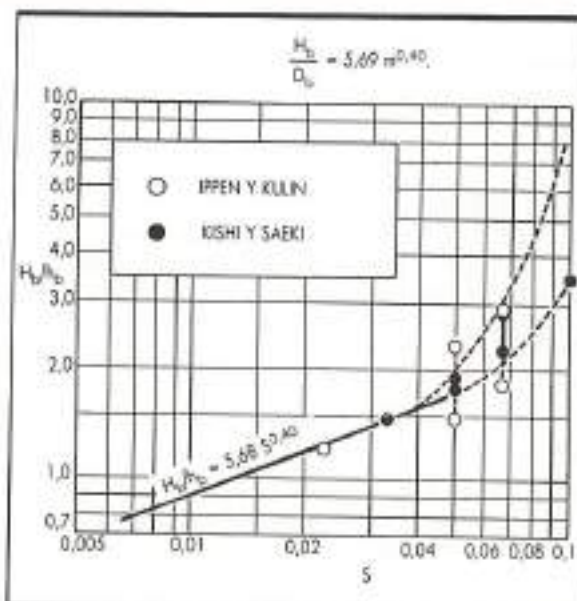


FIGURA 3. 12.º Criterio Kishi-Saeki, 1966.

11. NOTA: $s = D_b$.

ya de 1/10, 1/15, 1/20 y 1/30, dando como resultado de sus experimentos:

$$H_b/D_b = 5,68 m^{0,40}$$

13.º CRITERIO

Un gran número de experimentos dirigidos por Frederick E. Camfield y por Robert L. Street, publicados posteriormente en 1967 bajo el nombre de «An investigation of the deformation and breaking of solitary waves», basados en la teoría de onda solitaria para largas distancias y playas de pequeña pendiente, dieron como resultado la ecuación siguiente:

$$H_b/D_b = 0,75 + 25 m - 112 m^2 + 3,870 m^3$$

$$\text{Para } 0 \leq m \leq 0,045.$$

14.º CRITERIO

En 1969 Cyril J. Galvin Jr. publicó el estudio «Breaker travel and choice of design wave height» en el cual basándose en sus propias investigaciones y en las desarrolladas por H. W. Iversen, dedujo una ecuación en la que tenía en cuenta la pendiente (m) de la playa

$$H_b/D_b = 1/\beta_b$$

Donde:

$$\begin{aligned} \beta_b &= 0,92 && \text{para } m \geq 0,07 \\ \beta_b &= 1,40 - 0,85 m && \text{para } m \leq 0,07 \end{aligned}$$

15.º CRITERIO

En «Probabilities of wave characteristics in the surf zones» publicado en 1969, J. Ian Collins y W. Wier pre-

sentan un nuevo criterio de rotura del oleaje en el que interviene, también, en su formulación la pendiente de la playa:

$$H_b/D_b = 0,72 + 5,6 m$$

16.º CRITERIO

J. G. B. Byatt-Smith basándose y desarrollando la teoría de onda solitaria, en «An exact integral equation for steady surface waves» de 1970, calculó el perfil de ola menor que el de máxima amplitud y extrapoló los resultados para determinar la máxima altura de ola, produciéndose cuando:

$$H_b/D_b = 0,86$$

17.º CRITERIO

R. Grimshaw, en «The solitary wave in water of variable depth» de 1971, hizo un estudio teórico de la onda solitaria, en el cual adoptando el criterio usado por Stokes, en el que la máxima pendiente de la ola se produce cuando la velocidad de la cresta se iguala a la velocidad de la ola, produciéndose esto para ángulos de la cresta de 120°, encontró que:

$$H_b/D_b = 1,21$$

18.º CRITERIO

T. Strelkoff siguiendo el mismo criterio que Lenau dedujo, en 1971, «An exact numerical solution of the solitary waves», que el límite para la rotura de la ola venía dado por:

$$H_b/D_b = 0,85$$

19.º CRITERIO

En 1972, J. Fenton publicó «A nine-order solution for the solitary waves», en el que basándose en los mismos datos de Byatt-Smith, dedujo teóricamente el límite de la ola rotura:

$$H_b/D_b = 0,85$$

20.º CRITERIO

Recopilando datos experimentales presentados por Iversen, Galvin, Jean y Lin, Weggel y Maxwell, Reid y Bretschneider, en «Maximum breaker height for design», J. Richard Weggel mostró los trabajos realizados, tendentes a deducir una expresión matemática correlacionando los anteriores datos experimentales. Dicha expresión fue:

$$H_b/D_b = 1,56/(1 + e^{-10,5 m}) - 43,75 (1 - e^{-19 m}) H_b/gT^2$$

Reduciendo en dicha ecuación las variables a las variables elegidas — H_b/D_b y H_b/L_b — con anterioridad queda la expresión:

$$H_b/D_b = 1,56/(1 + e^{-10,5 m}) - 6,96 (1 - e^{-19 m}) H_b/L_b \text{ th } [2P (H_b/L_b)]/(H_b/D_b)$$

Dado que:

$$L_b = gT^2/2\pi \text{ th } (2\pi D_b/L_b)$$

21.º CRITERIO

M. S. Longuet-Higgins, en «On the mass, momentum, energy and circulation of a solitary wave» de 1974, hizo un desarrollo teórico de la onda solitaria, resolviendo teóricamente; basado en la teoría de Stokes, máximo ángulo de la cresta 120° y gradiente de superficie 1/3, la ecuación del perfil de la ola, obteniendo que en el límite de la rotura se verificaba:

$$H_b/D_b = 0,8296$$

22.º CRITERIO

En 1979, D. W. Ostendorf y O. S. Madsen propusieron, en «Analysis of longshore currents and associated sediment transport in the surf zone», el uso de la teoría cnoidal y lineal de Stokes en sus respectivas áreas de aplicación. El límite de la ola en rotura viene determinado, según estos mismos autores, por:

$$H_b/L_b = 0,14 \text{ th } (0,8 + 5M \cdot 2\pi D_b/L_b) \text{ para } M < 0,1$$

$$H_b/L_b = 0,14 \text{ th } [1,3 \cdot 2\pi D_b/L_b] \text{ para } M > 0,1$$

Poniendo estas ecuaciones en función de las variables adimensionales antes elegidas, H_b/D_b y H_b/L_b , resulta finalmente:

$$H_b/D_b = (0,8 + 5M) 2M H_b/L_b / \arg \text{ th } (7,14 H_b/L_b) \text{ para } M < 0,1$$

$$H_b/D_b = 1,3 \cdot 2\pi H_b/L_b / \arg \text{ th } (7,14 H_b/L_b) \text{ para } M > 0,1$$

RESUMEN

Para acabar con la exposición de diversos criterios existentes en la actualidad, se inserta a continuación un cuadro resumen que engloba todos ellos. Así se pretende dar una mayor manejabilidad y visión del conjunto de los criterios.

En la careta del cuadro resumen se han dispuesto, en orden horizontal de izquierda a derecha los siguientes datos:

— 1.ª columna vertical: Año de la publicación del criterio.

Hormigoneras y Todo-Terreno

LA GRAN MEZCLA!

Nº 1
EN
EUROPA



Autohormigonera **MARINER 50**

OTROS MODELOS DISPONIBLES: MOSQUITO 16 - MOSQUITO 06



GEMINI 20



GEMINI 28



MARINER 35



BOMBAS DE HORMIGON

Para que pudieran andar por cualquier obra sin tropiezos, hemos hecho de las mejores hormigoneras un excelente Todo Terreno.

Con la cabina situada al lado de la boca del tambor para que la rapidez y seguridad de la pala se vea a la vista.

Pero lo mejor viene cuando se ponen a andar, con su doble tracción.

Para las **ITALMACHINE** no existen obstáculos. Su tracción a las cuatro ruedas les permite seguir en

lo suyo como si nada, mientras atraviesan los terrenos más accidentados.

Además, donde las demás pasan estrecheces, las **ITALMACHINE** se mueven a sus anchas. Con las cuatro ruedas direccionales son capaces de maniobrar en un palmo de terreno.

Sólo 50 años de experiencia podían dar tanto de sí.

MAS DE 75 PUNTOS DE VENTA EN TODA ESPAÑA
DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO

italmachine
iii

No es una hormigonera más.
Es una maquina que fabrica el mejor hormigón.
PIDAN DEMOSTRACION SIN COMPROMISO

PIQUERSA

P.O. BOX. 419. Tfnos: (051) 234312 y 241020 - Télex: 78809 PIKE E y 78818 PIKE E - Fax: 252745 - 04080 ALMERIA (Spain).
Centro de distribución para Cataluña: PIQUERSA - Ctra. Igualada, 68 - Tlf: (93) 8920297 - 08720 VILAFRANCA DEL PENEDÉS (BARCELONA)

Sólo
para Expertos
Municipales



Forum Internacional sobre **Nuevas Tecnologías y Diseño Urbano** en las **Ciudades Medianas**

En el marco de Municipalia,
el Salón Internacional de
Equipamientos Municipales,
se celebra el Forum
Internacional sobre
Nuevas Tecnologías
y Diseño Urbano
en las Ciudades
Medianas con un amplio
programa de Jornadas
de alto interés profesional.

PROGRAMA

12-16 de Junio.
IV Semana de Estudios Urbanos.

13-14 de Junio.
V Jornadas de Formación, Funciones de la Policía Local.

14 de Junio.
Jornadas Técnicas Informática.
Jornada Técnica. Opciones sobre Eliminación de Residuos
Sólidos Urbanos.

15 de Junio.
Jornada Técnica. Optimización de Técnicas y Medios de los
Servicios contra Incendios y de Salvamentos.

15-16 de Junio.
Jornada sobre la Nueva Ley Reguladora de las Haciendas
Locales.

16-17 de Junio.
Jornada Técnica: Congreso Asociación Europea de Bomberos.

17 de Junio.
Jornada Técnica sobre Urbanismo y Pequeños Municipios.
Mesa redonda.
Jornada sobre la Calidad Total en los Ayuntamientos.

Organizan:

Ayuntamiento de Lleida / Estudio General / Colegio Oficial de Arquitectos de Catalunya /
Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos / U.S.P.M.-U.G.T. / Asociación
Europea de Bomberos / F.E.M.P.-I.I.A.L. / D.G.P.E.S.C. / A.E.S.P. / Agrupación
de Arquitectos Urbanistas de Catalunya / Agrupación de Arquitectos al Servicio
de la Administración Pública / Riu de Lleida.

CATALUNYA **ARTS**

Generalitat de Catalunya
Departament d'Indústria i Energia

Fira de Lleida



Camps Elís, Apdo. de Correus 106.
Tel. (973) 20 20 00
Fax. (973) 20 21 12. 25080 LLBDA.

Lleida 14-18 Junio 1989

Municipalia '89

Salón Internacional de Equipamientos Municipales

Cumbre de expertos municipales.

AÑO	NOMBRE	TEORIA	ESTUDIO	VARIABLE					FORMULA TIPO					GRAFICA	OBSERVACIONES
				H_b/D_b	H_b/L_b	D_b/D_b	M	N ^o	A	B	C	F (M)	G (H)		
1871	BOUSINESQ	O. Solit.	Teórico	X				1	0,73	0				NO	Estabilidad de la ola
1891	MCCOWAN	O. Solit.	Teórico	X				1	0,78	0				NO	
1893	MICHELL		Teórico		X			2	1,7					NO	
1900	GWYFHTHER	O. Solit.	Teórico	X				1	0,83	0				NO	
1944	MICHE	O. Lineal	Teórico	X	X			3	2	101				NO	
1951	DAVIES	O. Solit.	Teórico	X				1	0,83	0				NO	
1953	PACKHAM	O. Solit.	Teórico	X				1	1,03	0				NO	
1957	TAMADA	O. Solit.	Teórico	X				1	0,825	0				NO	
1962	LATONE	O. Coidal	Teórico	X				1	0,73	0				NO	
1966	LENAU	O. Solit.	Teórico	X				1	0,827	0				NO	
1966	HORKANA y C.	O. Lineal	Experim.	X				1	0	5,68	0,40			SI	Otro variable D_b/D_b $M = [1/10, 1/30]$ $M = [0, 0,045]$ $M \geq 0,07$
1966	KISHI y SAEKI	O. Solit.	Experim.	X			X	4						SI	
1967	CAMFIELD y S.	O. Solit.	Experim.	X			X	4						NO	
1969	GALVIN	O. Solit.	Experim.	X			X	4	1,0,92					NO	
1969	GALVIN	O. Solit.	Experim.	X			X	4				1/1,40-0,800		NO	
1969	COLLINS	O. Lineal	Teórico	X			X	1	0,72	5,0	1			NO	
1970	BYATT-SMITH	O. Solit.	Teórico	X			X	1	0,86	0				NO	
1971	GRIMSHAW	O. Solit.	Teórico	X			X	1	1,21	0				NO	
1971	STREIKOFF	O. Solit.	Teórico	X			X	1	0,85	0				NO	
1972	FONTON	O. Solit.	Teórico	X			X	1	0,85	0				NO	
1972	WEGGEL		Experim.	X		X	X	4				1,5 1+0,113M	-43,75 (1+0,113M)	SI	M < 0,07
1974	LONGUET-H.	O. Solit.	Teórico	X			X	1	0,8296	0				NO	
1979	OSTENDORF y O.	O. Solit.	Teórico	X	X		X	3	10,8+5M0,2	60				NO	
				X	X		X	3	1,3,2	60				NO	

TABLA 1. Criterios para determinar el punto de rotura de la ola.

- 2.ª columna vertical: Nombre de la persona o entidad que lo ha determinado.
- 3.ª columna vertical: Teoría en que se han basado o sus cálculos o sus experimentos o ambos.
- 4.ª columna vertical: Tipo de estudio realizado para la consecución del criterio.
- 5.ª columna vertical: Variables que intervienen en la fórmula o gráfico final de dicho criterio.
- 6.ª columna vertical: Se han agrupado los distintos criterios en cuatro fórmulas tipo:
 - Fórmula n.º 1 $H_b/D_b = A + BM^P$.
 - Fórmula n.º 2 $H_b/L_b = A$.
 - Fórmula n.º 3 $H_b/D_b = A H_b/L_b/B$.
 - Fórmula n.º 4 $H_b/D_b = F(M) - G(M) h_0/gt^2$.
- 7.ª columna vertical: Existencia o no de gráfica para la resolución. No se tiene en cuenta las gráficas aportadas en este trabajo, sino las originales del autor.
- 8.ª columna vertical: Destinada a cualquier observación que limite o condicione la aplicación del criterio.

Notas:

- (a) $B = \arg \operatorname{th} (7,04 H_b/L_b)$.
- (b) $F(M) = 9,75 + 25 M - 112 M^2 + 3,870 M^3$.
- (c) $B = \arg \operatorname{th} (7,14 H_b/L_b)$.

HOMOGENEIZACION DE LOS CRITERIOS

Una vez enumerados los distintos criterios y elegidas las variables a utilizar para describirlos: para los «criterios para determinar la altura de ola en rotura», H_b/H_0 y

H_b/L_0 ; y para los «criterios para determinar el punto de rotura del oleaje», H_b/D_b y H_b/L_b . A continuación se transforman todos ellos homogeneizando sus variables.

HOMOGENEIZACION DE LOS CRITERIOS PARA DETERMINAR LA ALTURA DE OLA EN ROTURA

Todos los criterios, a excepción del XI.º (Svendsen y Hansen) y XIII.º (Battjes y Sunamura), se pueden expresar en las variables adimensionales previamente elegidas. Unos basta con representarlos gráficamente: II.º (Munk), VII.º (Le Méhante y Koh), X.º (Komar y Gaughan), XII.º (Van Dorn) y XIV.º (Wind y Singamsetti). Otros, o bien vienen en la misma escala gráfica: VIII.º (Goda) y IX.º (Weggel), o bien basta con transformar la escala: I.º (H.O.U.S.N.D.), III.º (Groen y Weenink) y IV.º (Iversen). Y por último, los criterios V.º (Ippen y Kulin) y VI.º (K. Iishi y Saeki) necesitan para poderlos comparar una mayor transformación, ya que éstos están basados en la teoría de onda solitaria, para la cual la longitud de onda no tiene demasiado sentido. Para transformar sus variables, H_b/H_0 y H_b/L_0 , se aplica el método utilizado por Dean y Dalrymple. Con ello se consigue expresar gráficamente dichos criterios en las variables preelegidas.

Una vez homogeneizados todos ellos se han representado en las siguientes figuras:

- Figura 4: Engloba todos los criterios que no tienen en cuenta la pendiente de la playa.
- Figura 5: Engloba los criterios anteriores y aquellos con pendiente 1/10 de la playa.

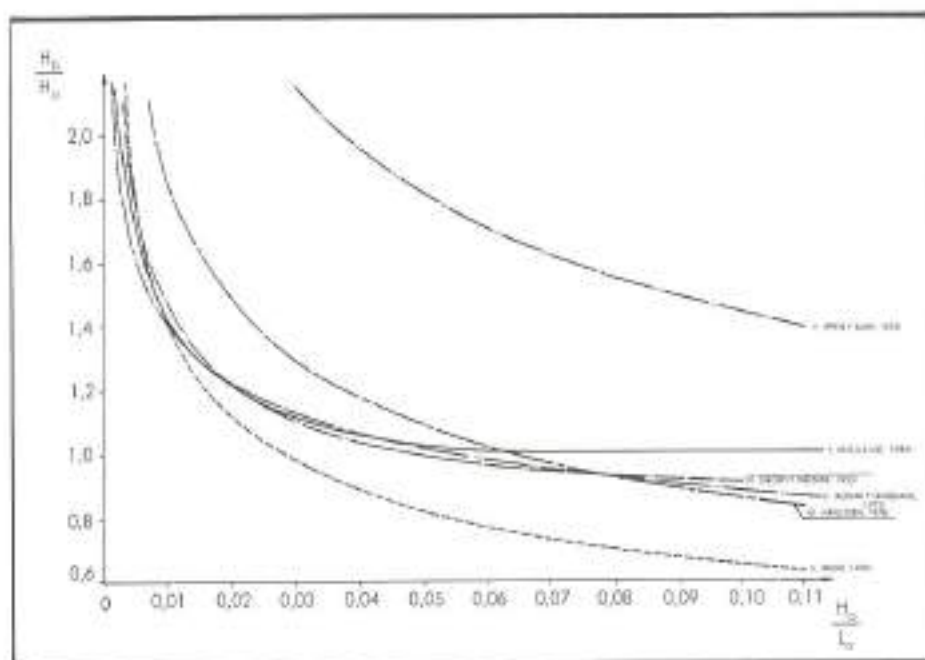


FIGURA 4. Criterios que no tienen en cuenta la pendiente de la playa.

- Figura 6: Idem con pendiente 1/20.
- Figura 7: Idem con pendiente 1/30.
- Figura 8: Idem con pendiente 1/50.

HOMOGENEIZACIÓN DE LOS CRITERIOS PARA DETERMINAR EL PUNTO DE ROTURA DEL OLEAJE

Salvo el criterio 11 (Horikawa y Kuo), todos los criterios se pueden representar en las variables adimensionales

escogidas. Se debe hacer notar que de este tipo de criterios existen dos grupos claramente diferenciados: los que H_s/D_s es una constante respecto del peralte de la ola previo a la rotura (H_s/L_v) y los que, por el contrario, H_s/D_s es función de éste.

Todos los criterios se han representado en las siguientes figuras:

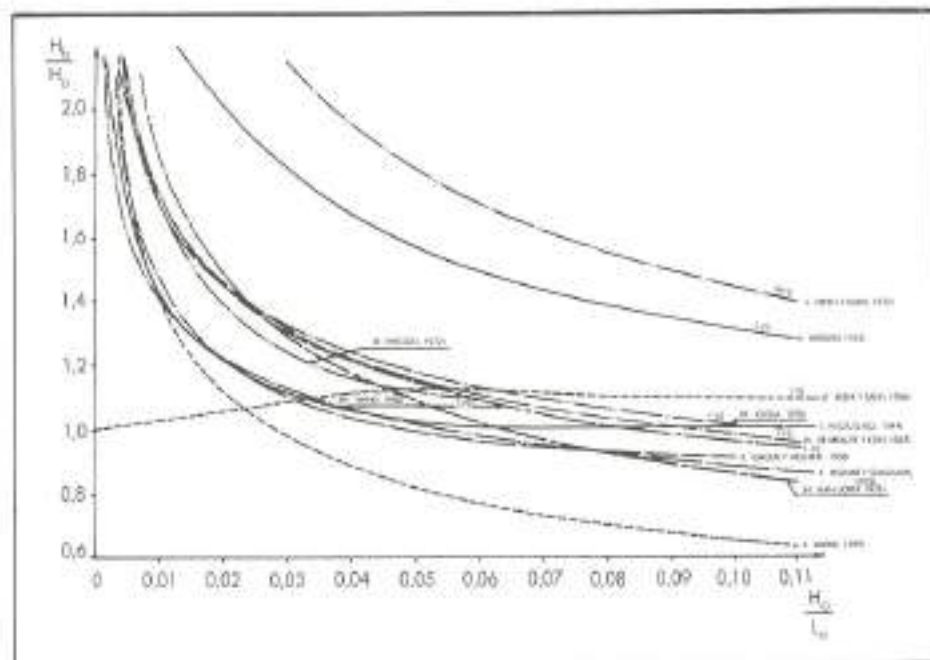


FIGURA 5. Pendiente 1/10.

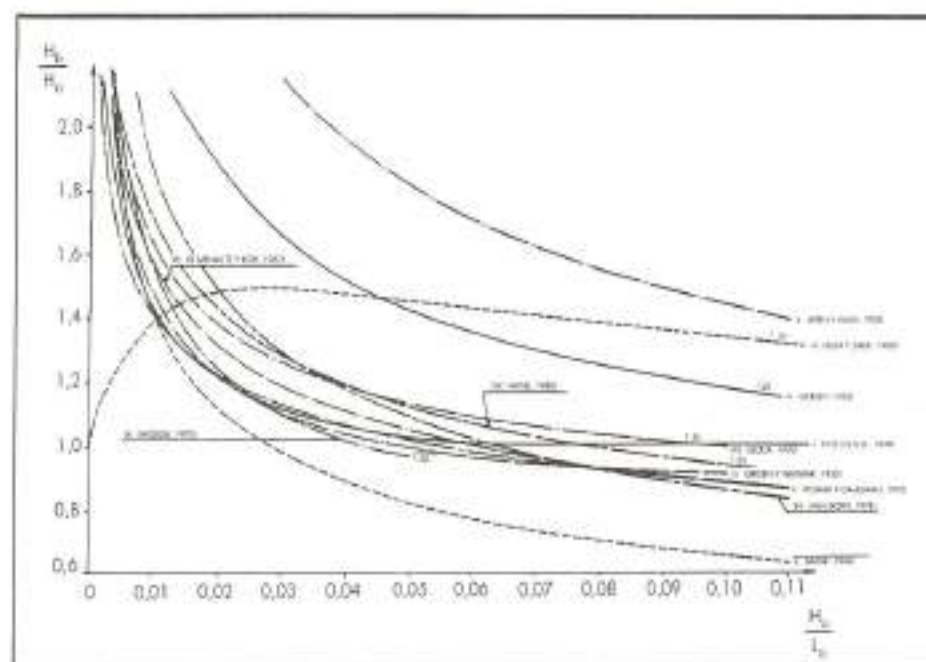


FIGURA 6. Pendiente 1/20.

- Figura 9: Engloba todos aquellos criterios que no tienen en cuenta la pendiente de la playa.
- Figura 10: Formado por los criterios anteriores y aquellos con pendiente 1/10 de la playa.
- Figura 11: Idem con pendiente 1/20 de la playa.
- Figura 12: Idem con pendiente 1/30 de la playa.
- Figura 13: Idem con pendiente 1/40 de la playa.

CRITERIOS DE ROTURA NO COMPARADOS

Al hacer la comparación de los dos tipos de criterios de rotura —altura de ola y punto de rotura—, se apartaron, como criterios no susceptibles de una primera comparación, en los apartados 6.1 y 6.2, los siguientes criterios:

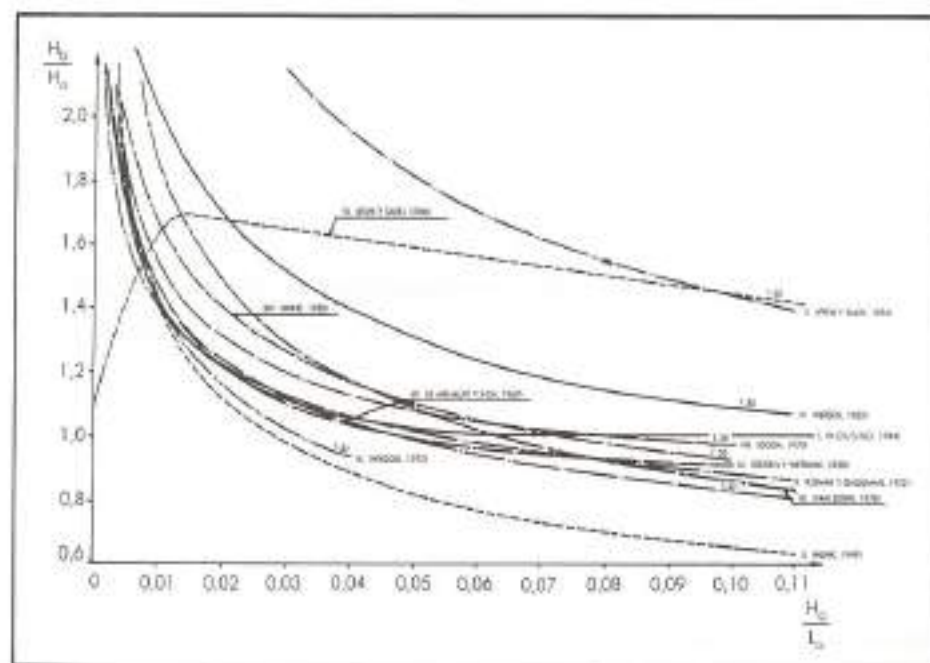


FIGURA 7. Pendiente 1/30.

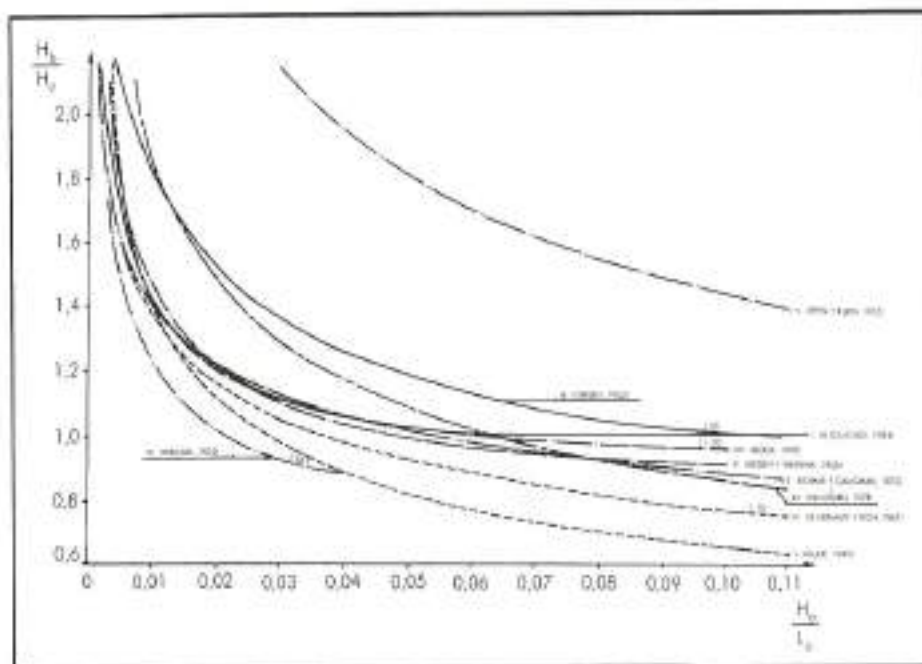


FIGURA 8. Pendiente 1:50.

- Para el cálculo de la altura de ola en rotura: XI.º criterio (Svendsen y Hansen, 1976). XIII.º criterio (Battjes, 1974 y Sunamura, 1980).
- Para el cálculo del punto de rotura de la ola: II.º criterio (Horikawa y Kuo, 1966).

El XI.º criterio de Svendsen y Hansen se basa, con estudios experimentales y teóricos, en la teoría de onda de Stokes de segundo orden y utiliza, para la deducción

de su fórmula, datos obtenidos por Iversen (1952) e Iwagaki-Sakay (1976). La expresión matemática de dicho criterio es:

$$H_s/L_0 = 0.435 (H_o/L_0)^{1/2}$$

El XIII.º criterio —Battjes y Sunamura— basado en estudios teóricos y experimentales, usando la teoría li-

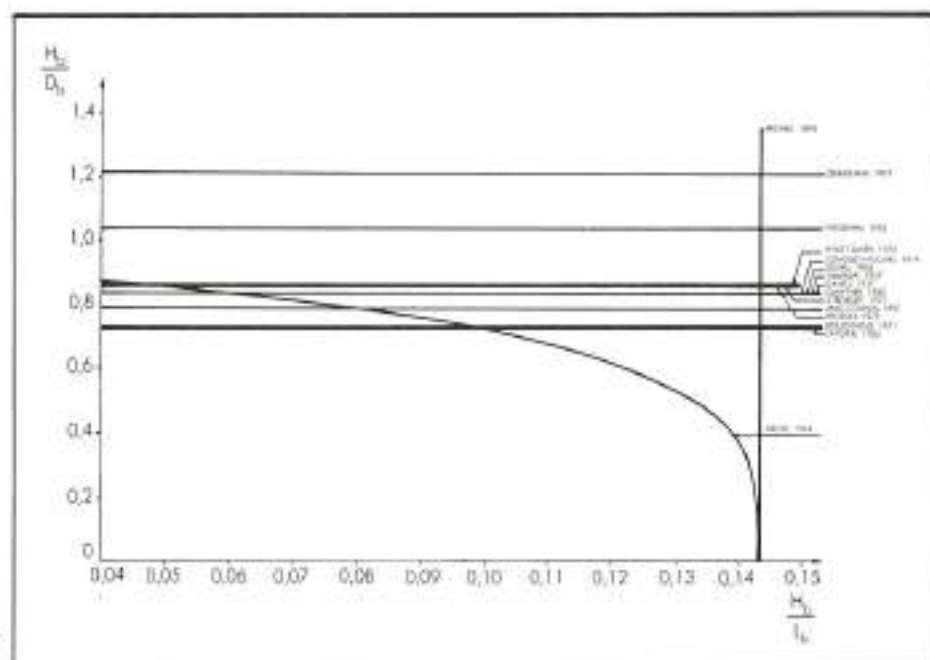


FIGURA 9. Criterios que no tienen en cuenta la pendiente de la playa.

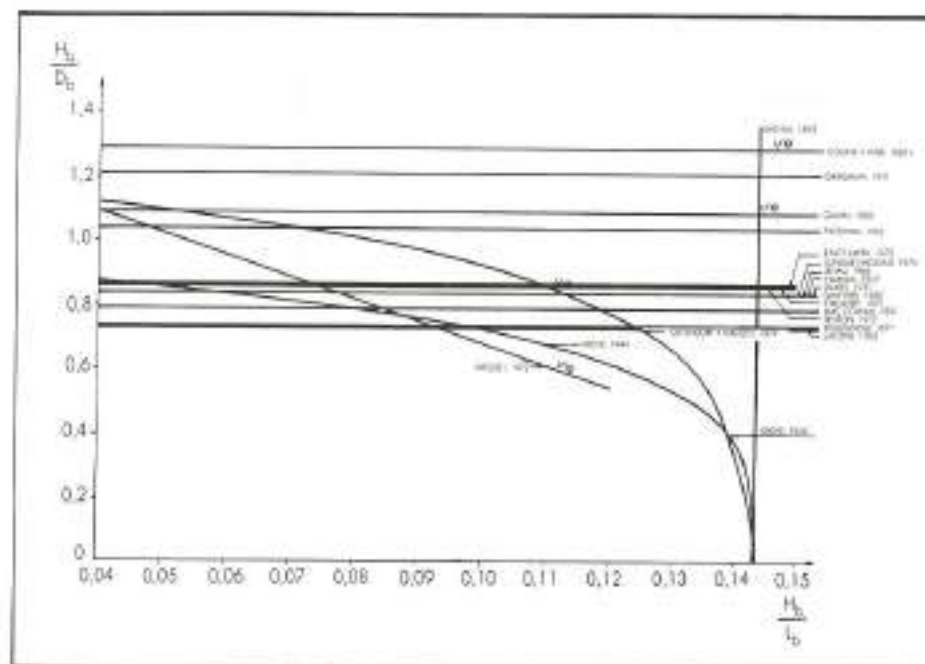


FIGURA 10. Pendiente 1/10.

neal y utilizando numerosos datos de Iversen (1952), Goda (1968), Bowen (1968) y Battjes (1974), toma la siguiente expresión:

$$H_s/D_s = 1,1 [M / (H_s/L_0)^{1/2}]^{1/6}$$

Dada la similitud de la obtención de los criterios y de la utilización de los datos, si se suponen los dos criterios

ciertos, es de deducción inmediata la siguiente expresión:

$$H_s/D_s = 1,1 (0,435 M / H_s/L_0)^{1/6}$$

Dicha expresión se representa en la gráfica adjunta para las pendientes: 1/10, 1/20, 1/30 y 1/50.

Así se deduce de dos criterios para el cálculo de la al-

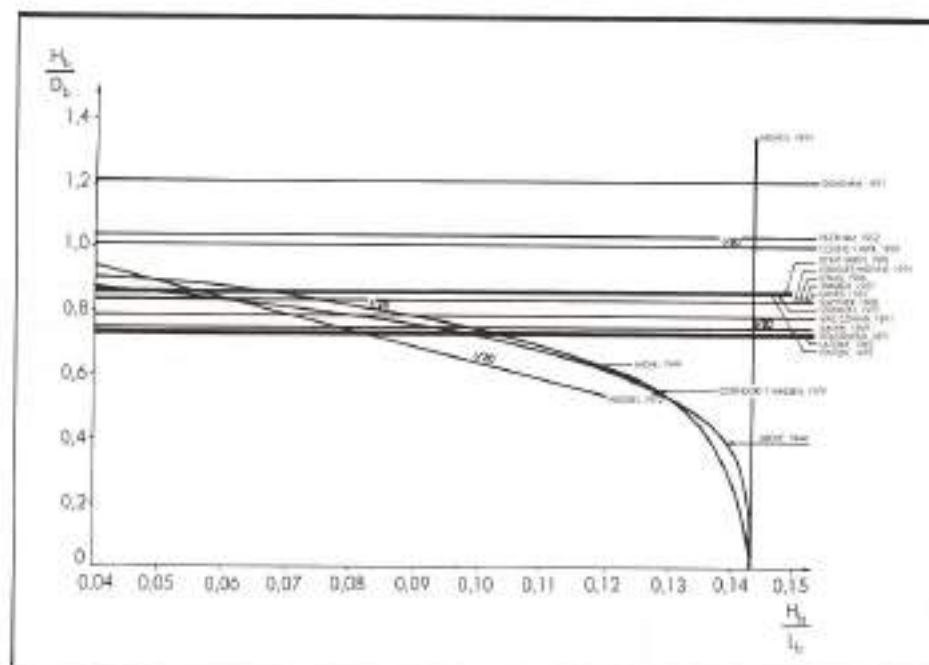
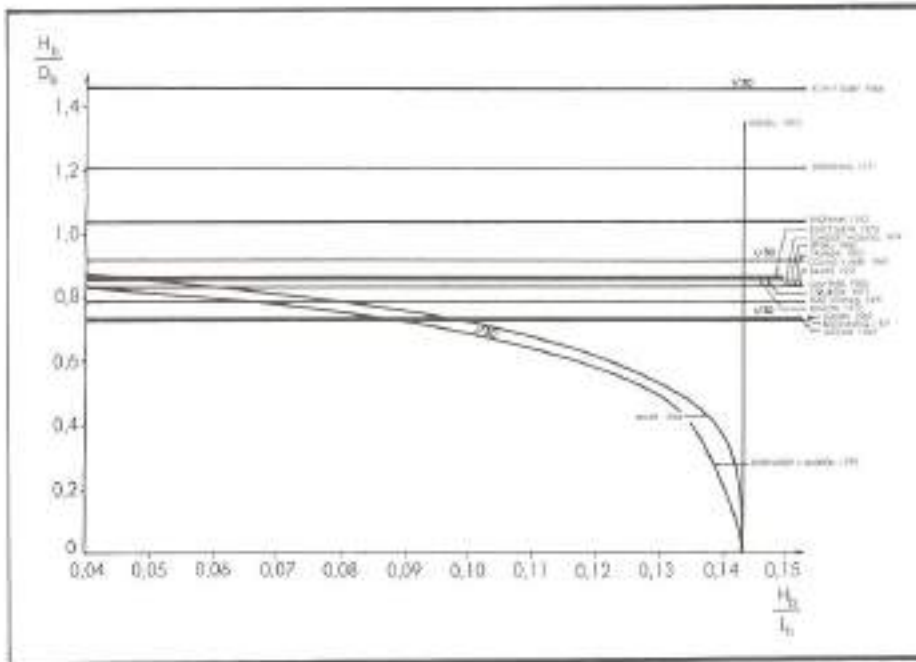


FIGURA 11. Pendiente 1/20.



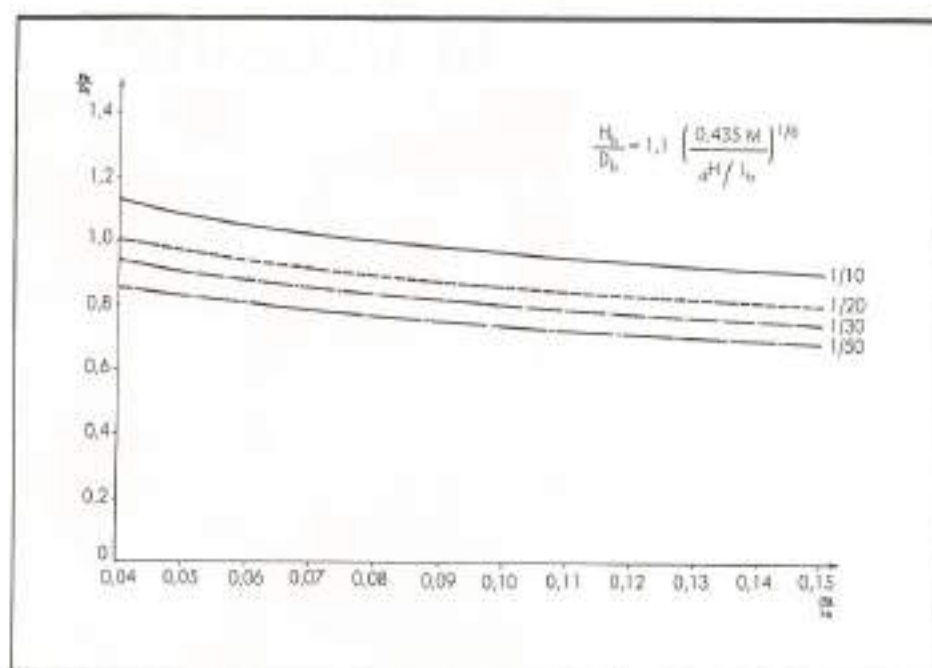


FIGURA 14. Criterio conjunto Svendsen y Hansen, 1976; Batjes, 1974 y Sumitani, 1980.

cia puede tomarse para este punto, punto de Cornaglia o punto neutro, donde la altura de ola sigue siendo la altura de ola en altamar.

Así la figura 14 introduce las rectificaciones expuestas anteriormente. Con ello el criterio queda más operativo, si bien sigue sin poderse comparar con el resto de los criterios.

BIBLIOGRAFIA BASICA

1. BOUSSINESQ, J. «Theorie de l'intumescence liquid appelee une solitaire ou de translations». E. C. Académie Science (vol. 72, 1871, págs. 755 y ss.).
2. McCOWAN, J. «On the solitary waves». The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science (vol. 32, n.º 5, 1981, págs. 45-58).
3. MICHELL, J. H. «On the highest Waves in the waters». Philosophical Magazine (vol. 36, n.º 5, 1893, págs. 430-437).
4. McCOWAN, J. «On the highest wave of Permanent Type». The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science (vol. 38, 1984).
5. GWYTHYR, R. F. «The classes of long progressive waves». Philosophical Magazine and Journal of Science (vol. 50, n.º 5, 1900, págs. 213 y ss.).
6. MICHE, ROBER. «Mouvements ondulatoires des mers en profondeur constante ou décroissante». Annales des Ponts et Chaussées (1944, págs. 25-78, 131-164, 270-292, 369-406).
7. DAVIES, T. V. «Symmetrical, finite amplitude gravity waves». National Bureau of Standards (Circular n.º 521, 1951).
8. PACKHAM, B. A. «The theory of asymmetrical gravity waves of finite amplitude, II, the solitary waves». Proceeding Royal Society of London (vol. 213, n.º 1113, 1952, págs. 238 y ss.).
9. YAMADA, H. «On the highest solitary waves». Rep. Res.

Inst. appl. Mech.-Kyushu University (vol. 5, 1957, págs. 58-57).

10. LATOINE, E. V. «Limiting Conditions for Cnoidal and Stokes waves». Journal of Geophysical Research (vol. 67, n.º 4, abril 1962, págs. 1155-1564).
11. LATOINE, E. V. «Series solutions for shallow water waves». Journal of Geophysical Research (vol. 70, n.º 4, febrero 1965, págs. 995-998).
12. LENAU, C. W. «The solitary wave of maximum amplitude». Journal Fluid Mechanic (vol. 26, 1966, págs. 809-820).
13. HORIKAWA, KIYOSHI, y KUO, CHIN-TONG. «A study on wave transformation inside surf zones». Proceeding of the 10th Conference on Coastal Engineering-Tokyo (Japón) (vol. 1, 1966, págs. 217-233).
14. KISHI, TSUTOMU, y SAEKI, HIROSHI. «The shoaling, breaking and runup of the solitary wave on impermeable rough slopes». Proceeding of the 10th Conference on Coastal Engineering-Tokyo (Japón) (vol. 1, 1966, págs. 322-348).
15. CAMFIELD, FREDERICK E., y STREET, ROBERT L. «An investigation of the deformation and breaking of solitary waves». Department of Civil Engineering Technical Report, Stanford Univ. California (n.º 81, diciembre 1967).
16. CAMFIELD, FREDERICK E., y STREET, ROBERT L. «The effects of bottom configuration on the deformation, breaking and run-up of solitary waves». Coastal Engineering (vol. 1, 1968, págs. 173-189).
17. CAMFIELD, FREDERICK E., y STREET, ROBERT L. «Shoaling of solitary waves on small slopes». Proceeding American Society Civil Engineering (vol. 1, 95 WW1, 1969).
18. GALVIN, CYRIL J., Jr. «Breaker type classification on three laboratory beaches». Journal Geophysical Research (vol. 73, n.º 12, 1968, págs. 3651-3659).
19. GALVIN, CYRIL J., Jr. «Breaker travel and choice of design wave heights». Proceeding of the American Society of Ci-

vii Engineering-Journal of the waterways and harbors division (mayo 1969, WW2, págs. 175-200).

20. COLLINS, J. IAN, y WIER, W. «Probabilities of wave characteristics in the surf zone». Tetra Tech Report (1969, TC-149).

21. COLLINS, J. IAN. «Probabilities of breaking wave characteristics». Proceeding of the 12th Conference on Coastal Engineering-Washington D.C. (vol. 1, 1970, págs. 399-413).

22. BYATT-SMITH, J. G. B. «An exact, integral equation of steady surface waves». Proceeding of the Royal Society of London (Serie A, n.º A-315, 1970, págs. 405-418).

23. GRIMSHAW, R. «The solitary wave of variable depth. Part 2». Journal Fluid Mechanic (vol. 46, parte 3, 1971, págs. 611-622).

24. STRELKOFF, T. «An exact numerical solution of the solitary waves». Proceeding 2.º Int. Conf. Num. Methods Fluid Dyn-Springer.

25. FENTON, JOHN. «A ninth-order solution for the solitary waves». Journal Fluid Mechanic (vol. 53, 2.ª parte, 1972, págs. 257-271).

26. WEGGEL, J. RICHARD. «Maximum breaker heights». Proceeding of the American Society of Civil Engineering-Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division (vol. 98, 1972, WW4).

27. WEGGEL, J. RICHARD. «Maximum breaker height for design». Proceeding of the 13th Conference on Coastal Engineering-Vancouver (vol. 1, 1972, págs. 419-432).

28. LONGUET-HIGGINS, H. S. «On the mass, momentum, energy and circulation of a solitary wave». Proceeding of Royal Society of London (Serie A, n.º A337, 1974, págs. 1-13).

29. OSTENDORF, D. W., y MADSEN, O. S. «An analysis of Longshore Currents and Associated Sediment Transport in the Surf Zone». Massachusetts Institute of Technology, Sea Grant (vol. 79, n.º 13, 1979).

30. DEAN, ROBERT G., y DALRYMPLE, ROBERT A. «Water wave mechanics for Engineers and Scientists». Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 1984.

¡Póngala donde la necesite!



Alquile una bomba sumergible Flygt.

Economía:

Comprar una bomba para un trabajo eventual o transitorio puede ser una inversión poco rentable. Simplemente alquilela, y pague sólo el tiempo que la utilice.

Disponibilidad:

Usted puede conseguir, cerca y con toda rapidez, el equipo de bombeo que necesite.

Servicio:

Detrás del equipo de bombeo que Ud. alquila, está la Organización Técnica TFB, que atiende más de 25.000 instalaciones en España y que le asegura su permanente funcionamiento.

Garantía:

FLYGT tiene la gama de bombas sumergibles más extensa del mundo, y la Red de Servicio TFB es la más completa y eficaz en todo el territorio nacional.

FLYGT es en España

TFB

TECNICAS DE FILTRACION Y BOMBEO, S.A.

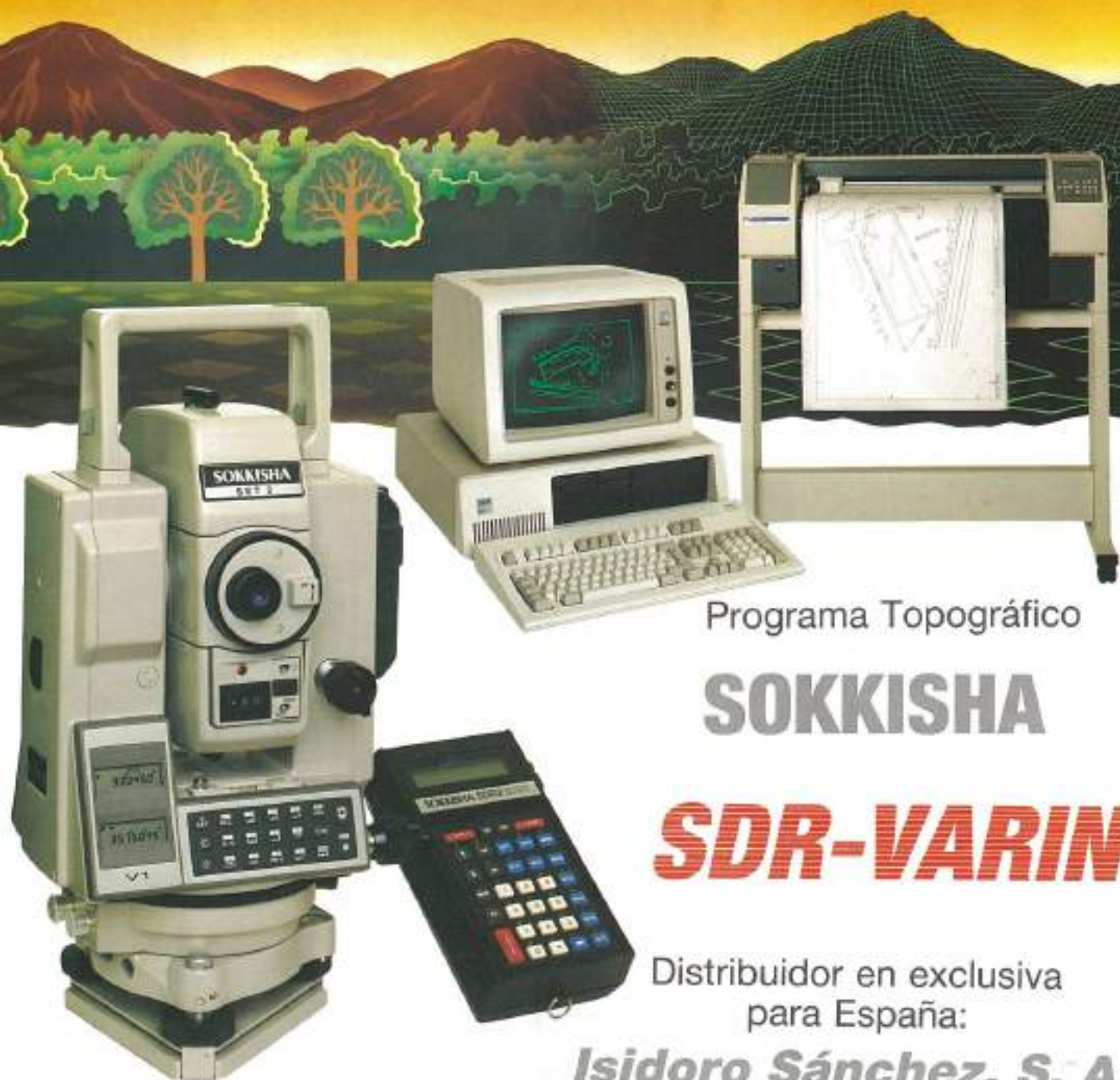
• VENTA • ALQUILER • SERVICIO

Alquiler con opción a compra

MADRID 28040 - Aravaca, 24 - Tel. 912 255 35 00
BARCELONA 08015 - Lepanto, 169 - Tel. 933 232 47 61
BILBAO 48016 - Alaión - Carretera Etxebarri, 5 - Tel. 949 453 01 94
VALENCIA 46107 de Poblet - Erretoy García Raga, s/n - Tel. 966 154 63 15
SEVILLA 41007 - J. M. de Ybarra y Gómez Ruiz, 28
Polígono Industrial "Ctra. Amurá" - Tel. 954 67 50 00

Zamora	951 - 36 15 11	Oviedo	985 - 24 39 48
Ciudad Real	926 - 22 25 36	Las Palmas de	
Córdoba	957 - 36 44 58	Gran Canaria	928 - 31 26 17
La Coruña	961 - 23 78 49	Salamanca	923 - 21 58 54
Granada	958 - 30 77 27	San Sebastián	945 - 57 07 06
Huelva	955 - 34 20 18	Santander	942 - 34 76 49
Huesca	974 - 22 59 16	Valencia	963 - 29 48 38
León	987 - 25 23 75	Vigo	986 - 27 15 07
Logroño	952 - 25 76 90	Zaragoza	976 - 27 33 32
Palma de Mallorca	971 - 25 27 81		

Líderes en un mundo de cambio...



Programa Topográfico

SOKKISHA

SDR-VARIN

Distribuidor en exclusiva
para España:

Isidoro Sánchez, S. A.

RONDA DE ATOCHA, 16 - 28012 MADRID - Teléfono 467 53 63 (6 líneas)



HELISOLD IBERICA, S.A.

Tubería de acero soldada en espiral

Gama de diámetro: 8" a 60"

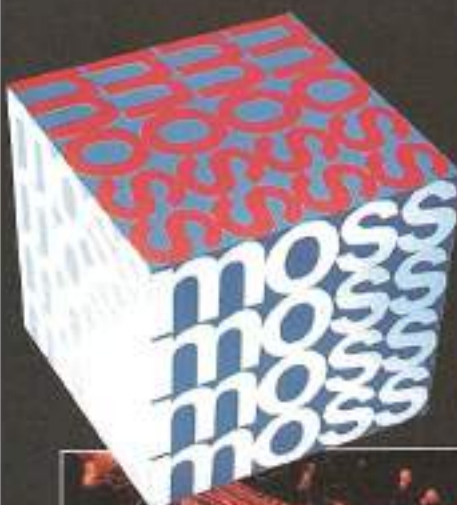
Normas internacionales de fabricación

Utilización en:

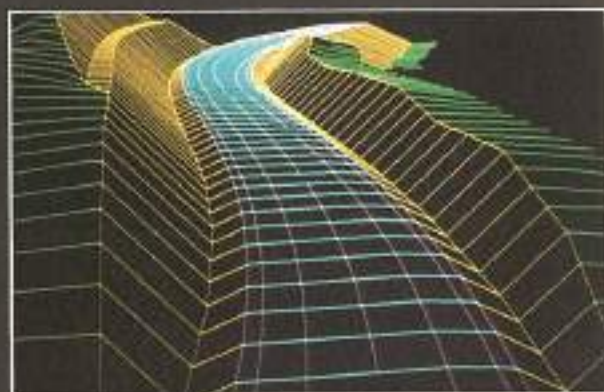
- Conducciones enterradas para abastecimiento de agua.
- Conducciones aéreas.
- Emisarios submarinos.
- Centrales hidroeléctricas, térmicas, etc.
- Pilotes - Sondeos.
- Estructuras, etc.



Apartado 589 - VITORIA 01080
Teléfono: (945) 42 00 50
Teleco: 35456 HEAL E
Fax: (945) 42 03 44



SOFTWARE PARA INGENIERIA CIVIL



- CARRETERAS Y AUTOPISTAS
- FERROCARRILES
- OBRAS HIDRAULICAS
- AEROPUERTOS
- TOPOGRAFIA
- URBANISMO
- REFORMAS DE TERRENO
- MINERIA

ENGINEERING SOLUTIONS, S.A.
ESTEBANEZ CALDERON, 5 - 5ª D
TELEFONO: 571 16 02 - FAX: 571 16 60
28020 MADRID