



# Análisis sobre el alcance de la rompiente del oleaje sobre playas naturales rectas no alteradas

L.Zeevaert-Wiechers

División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM

(recibido: septiembre de 2001; aceptado: diciembre de 2001)

## Resumen

Cuando se piensa realizar una obra en la costa, donde generalmente se requiere aprovechar la playa, se hace necesario conocer el comportamiento de la acción del oleaje sobre la misma. Este conocimiento permitirá programar la obra sin producir deterioro en la playa natural por el oleaje, disminuyendo así el riesgo de daño sobre la obra por los fuertes oleajes de temporal.

Descriptores: oleaje, rompiente, playa, natural.

## Abstract

*When a construction is contemplated along the coast line, generally it is planned to make use of the beach. It calls for the necessity to learn on the behavior of the wave action on the beach. This knowledge will permit to design the construction reducing the risk of damage on the natural beach because of strong wave action, and also the risk of damage on the construction, because of wave action during the rough seas.*

*Keywords: breaking, wave, action, natural, beaches.*

## Introducción

La predicción del alcance del oleaje sobre playas naturales de configuración típica, es de suma importancia para decidir sobre la construcción de las obras permanentes en la costa, esto para no alterar la configuración de la zona útil de la playa, el escarpio y las bermas naturales que son necesarias para la disipación de la energía de la rompiente, evitando así el aumento de la erosión del arrastre litoral marítimo y, en casos especiales, poder prever obras de defensa que disipen la energía cinética del alcance de la ola, para proteger el arrastre litoral de la arena de la playa. Figura 1, Ref 1.

En el caso de oleajes ocasionados por tormentas, las playas de arena pueden sufrir fuerte erosión y en ocasiones, cambiar en parte su configuración geométrica, sin embargo, esta se restablece a través del tiempo durante la época normal de las estaciones, siempre y cuando las características de la playa para la disipación de la energía del oleaje no haya sido alterada u obstruida por inadecuada localización de obras civiles.

Desde un punto de vista de la ingeniería práctica, la predicción debe efectuarse bajo las condiciones del oleaje normal y de las tormentas, tomando como base el nivel medio de la marea alta.

De las características del oleaje que se aproxima a la costa, se puede estimar la energía potencial del oleaje en el momento que rompen las olas.

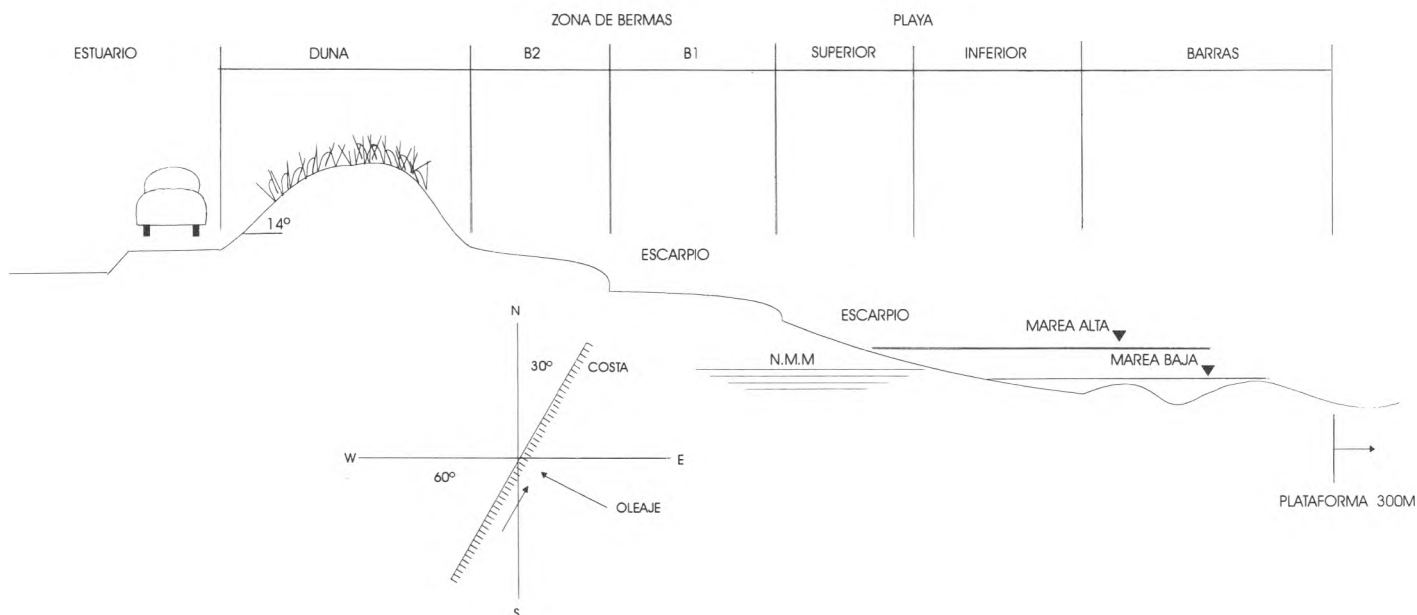


Figura 1. Configuración de playa uniforme

La energía cinética de la ola, se disipa después de romper la ola por la turbulencia que es ocasionada por el efecto de la fricción en el fondo arenoso, así como por la filtración del agua en la parte superior de la playa, donde se deposita arena, principalmente en las bermas durante tormentas en marea baja y marea alta.

La filtración del agua en la arena es función de la granulometría de la arena, por consiguiente, la pendiente de la playa superior y la zona de bermas, es un parámetro importante en el comportamiento del oleaje sobre playas naturales (Figura 1).

Con el conocimiento de las características de la ola insipiente, el período (T), la longitud (L), la celeridad (C) y la altura de la ola (H), en el momento de romper, se puede obtener la información para el cálculo de la energía necesaria para analizar el fenómeno.

La similitud dinámica de modelos con el prototipo no es satisfactoria, principalmente por la dificultad de ajustar la distribución granulométrica natural de la arena de playa, con la que debe corresponder la escala del modelo; así también por la similitud dinámica de la turbulencia natural con la del modelo.

En la opinión y experiencia del autor, este fenómeno puede entenderse y justificarse mejor estableciendo una teoría racional práctica basada

en la conservación de la energía de la ola en el momento de romper, utilizando coeficientes cuyos valores deberán ajustarse a los resultados de la observación para zonas de playas de configuración típica y de pendiente prácticamente uniforme.

### Desarrollo técnico de la teoría

Las hipótesis de trabajo para desarrollar una teoría, desde un punto de vista práctico, debe afectarse de coeficientes, que deberán ajustar la teoría a las observaciones obtenidas en la naturaleza de las playas de configuración típica que no hayan sido alteradas.

El alcance de la turbulencia de la rompiente sobre las playas naturales es complejo, ya que momentáneamente pueden intervenir otros factores, como las condiciones de fuertes vientos, de las tormentas con direcciones hacia la playa, así como la forma en que rompe la ola.

La turbulencia que origina la rompiente de tipo "cascada", obviamente disipa algo de mayor energía que otro tipo de rompiente; sin embargo, en la teoría se hace la hipótesis de que estos factores externos a la energía de la ola al romper, no son secundarios y no afectan en forma sensible el cálculo de la energía para el análisis de la acción teórica de los oleajes.



Por consiguiente, utilizando principios básicos de hidráulica se hacen las siguientes consideraciones físicas y geométricas para un tipo de playas:

1. La pendiente de la playa desde la rompiente hasta la primera berma, se considera en promedio aproximadamente plana y recta.

2. La energía total de la ola en el momento de romper, se utiliza para desarrollar el alcance potencial de la turbulencia sobre la playa. Refs. 2 y 3, figura 2.

$$E_c = (n_1) \gamma H^2 L / 8 \quad (1)$$

En donde

- $\gamma$  Peso unitario del agua
- $H$  Altura de la rompiente
- $L$  Longitud de la ola
- $n_1$  Coeficiente que gobierna la energía útil.

3. La fracción ( $n_1$ ) de la energía total de la ola, deberá ser igual a la energía potencial del alcance de la rompiente sobre la playa por turbulencia y pérdida de agua por filtración en la arena.

4. El perfil medio entre la rompiente y el punto más alto que alcanza la turbulencia sobre la playa se considera como un plano (Figura 3).

$$y_1 = \lambda_1 \text{TAN } \alpha \quad \text{y} \quad \lambda_1 = d \text{CTG } \alpha \quad (2)$$

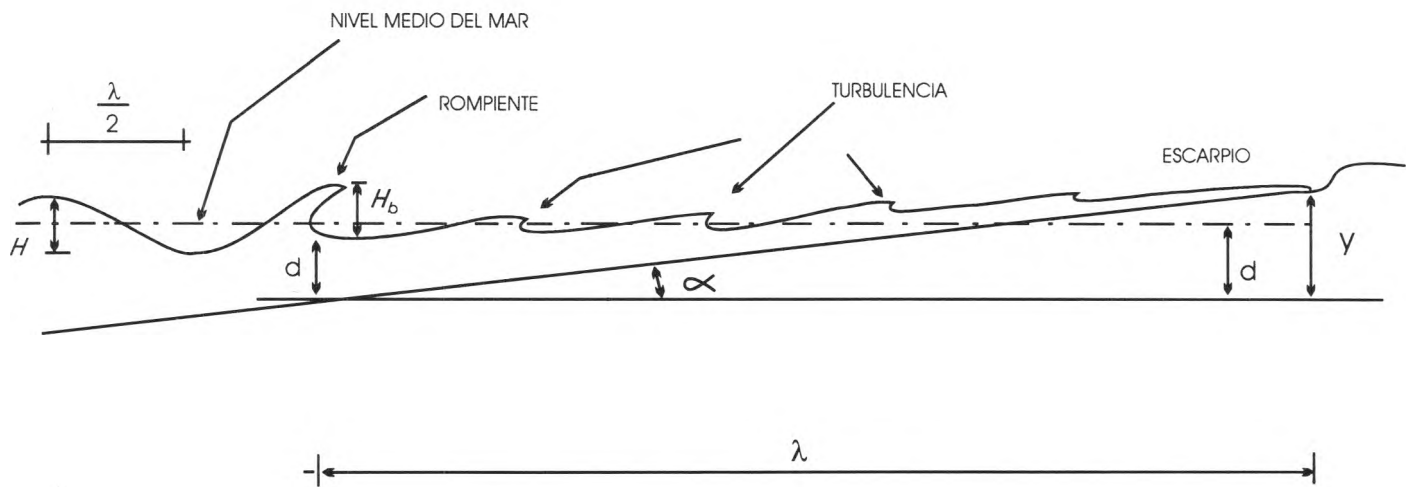


Figura 2. Alcance de la rompiente sobre la playa

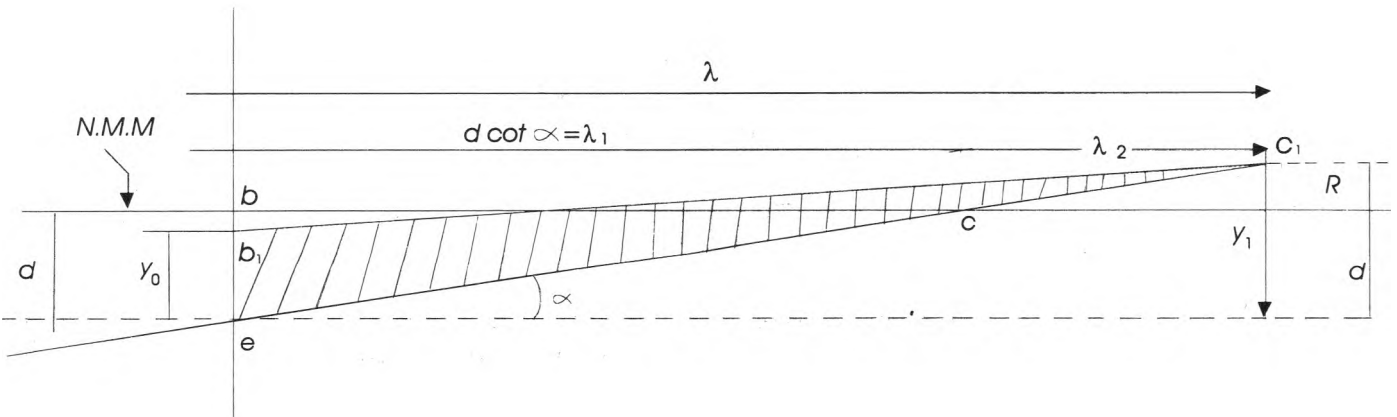


Figura 3. Hipótesis de turbulencia de la ola sobre playa plana

5. El volumen de agua limitado hasta la playa superior es afectado por la aportación de agua de la ola. Para tomar en cuenta este efecto, se debe basar sobre el resultado de observaciones en el campo (Figura 3), por consiguiente:

$$d \lambda_1 / 2 = n_2 y_o \lambda / 2 \quad \text{aquí } n_2 > 1 \quad (3)$$

6. Se consideran las siguientes relaciones de la teoría práctica:

a) (H) es la altura de la rompiente para cualquier tipo de ola.

b) La profundidad del mar en la rompiente, es  $d = 1.28 (H)$ . El valor de (d) donde rompe la ola, se determina en campo, conociendo la batimetría. Refs. 4 y 5.

7. La cresta de la rompiente es aproximadamente  $0.75 (H)$  sobre el (N.M.M) y  $0.25 (H)$  abajo del nivel del mar (N.M.M) por lo tanto se tiene:

$$Y_o = d - (H)/4 = 1.03(H)$$

o

$$Y_o = d(1 - 0.25H/d) = 0.80d \quad (4)$$

8. En aguas no profundas, la ola tiene una longitud. Refs 2 y 6.

$$L = CT \quad \text{y} \quad L = (gdT^2)^{1/2}, \\ C = \text{Celeridad de la ola} \quad (5)$$

9. Así también se obtienen las relaciones

$$\lambda_1 / \lambda = (n_2) Y_o / d \quad \text{y} \quad L / \lambda = (gdT^2)^{1/2} (\text{TAN} \alpha) / Y_1 \quad (6)$$

La energía de la ola rompiente deberá ser igual a la energía potencial para formar la configuración de la turbulencia sobre la playa con respecto a la profundidad de la rompiente (d), figura3, esto es:

$$E_p = \gamma [(0.5 y_o \lambda) (0.44 y_o + 0.33 y_1) - (d \lambda_1 / 2) (2d / 3)]$$

o bien

$$(n_1) H^2 L / 8 = [0.22 \lambda y_o^2 + 0.165 y_o y_1 \lambda - (d^2 \lambda_1 / 3)] \quad (7)$$

Despejando el valor de  $y_1$  se obtiene

$$y_1 = (0.75 n_1 H^2 / y_o) (L / \lambda) + (2.02 d^2 / y_o) (\lambda_1 / \lambda) - 1.33 y_o \quad (8)$$

Substituyendo la relación  $L / \lambda$  de la (6) y de la (3)  $(\lambda_1 / \lambda) = n_2 y_o / d$ ,

Así como de la (4)  $y_o = 0.80d$ , se tiene

$$(y_1)^2 = (n_1) (0.938 H^2) (gT^2 / d)^{1/2} \\ (\text{TAN} \alpha) + 0.96 (n_2) d y_1 \quad (9)$$

Considerando que  $y_1 = R + d$ , y después de operaciones algebraicas de la (9) se observa que cuando  $H = 0$ ,  $R = 0$ , y el valor de  $y_1$  tiende a d. Así se obtiene por equilibrio que  $(n_2) = 1.55$  y se llega a

$$(R + d)^2 = (n_1) (0.938 H^2) (gT^2 / d)^{1/2} \\ (\text{TAN} \alpha) + d(R + d) \quad (10)$$

Dividiendo entre  $H^2$ , usando como argumento  $B = (gT^2 / d)^{1/2}$  y despejando a  $R/H$  se obtiene finalmente

$$R/H = -0.64 + (n_1 * 0.933 * B * \text{TAN} \alpha + 0.41)^{1/2} \quad (11)$$

Haciendo uso de la fórmula (11) y con las relaciones que se citan, se encuentra el alcance de la rompiente ( $\lambda_2$ ), (Figura 3), sobre la playa, a partir del nivel medio del mar (N.M.M) en función de la altura de la ola.

$$\lambda_2 / H = (R/H) / \text{TAN} \alpha \quad (12)$$

El cálculo de las fórmulas (11) y (12) se ha tabulado en la hoja de cálculo I para los parámetros que en ellas intervienen y un coeficiente de ajuste de  $n_1 \cong 0.95$ .

## Conclusiones

De observaciones del autor en una zona de playas de arena fina en la bahía de Todos Santos en Ensenada, Baja California, se obtuvieron los siguientes valores medios para trenes de olas que rompen sobre estas playas y que muestran una pendiente plana y recta.



$T=12$  seg.  $TAN\alpha=0.02$ ,  $d=1.15$  mts.,  
 $H=0.85$  mts.,  $H/L=0.022$ ,  
 $R/H=0.40$ ,  $B=(9.81 \cdot 12^2 / 1.15) \cdot 0.5=35$

$\lambda_2 = 18.69 \cdot 1.15 = 21.5$  mts, sobre la playa desde el nivel N.M.M.

Nótese en la hoja de cálculo 1, que para valores de  $TAN\alpha=0.02$  y  $n_1=0.95$  se obtiene un ajuste muy satisfactorio, considerando que se han utilizado valores medios teóricos. De la gráfica, se obtiene para  $B=35$  un valor de  $R/H=0.38$  y un alcance

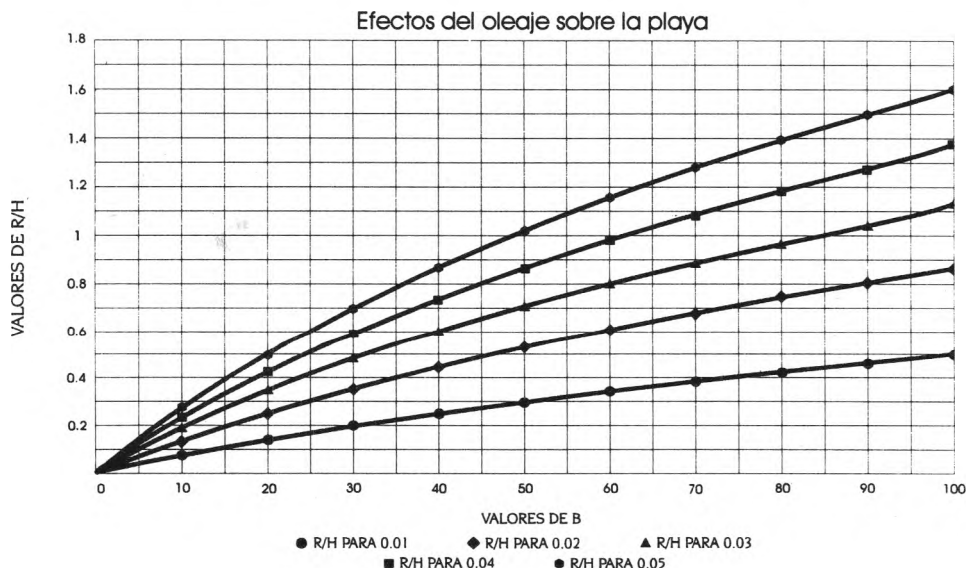
Las playas se caracterizan por sus condiciones geométricas específicas relacionadas con su formación, y es necesario considerar la configuración de la pendiente y la finura de la arena importantes para asignar el coeficiente ( $n_1$ ) que debe corresponder a determinado perfil y zona de la playa de cierto tipo específico.

### Hoja de cálculo 1

Alcance de la rompiente del oleaje sobre playa de arena fina

Fórmula	$R/H = -0.64 + RDUAD(n_1 \cdot 0.933 \cdot B \cdot TAN\alpha + 0.41)$
Parámetros	
B	$= RCUAD(gT^2/d)$
g	Gravedad
T	Período de la ola
d	Profundidad de la rompiente de la ola
TAN a	Pendiente de la playa
H	$= 0.78 \cdot d$
$\lambda_2/H = (R/H)TAN\alpha$	Altura de la ola rompiente
$N_1$	$= 0.97$
	Alcance de la rompiente sobre la playa
	Coefficiente de energía de la ola

TAN a	0.01		0.02		0.03		0.04		0.05	
B	R/H	$\lambda_2/H$	R/H	$\lambda_2/H$	R/H	$\lambda_2/H$	R/H	$\lambda_2/H$	R/H	$\lambda_2/H$
0	0.000	0.03	0.000	0.02	0.000	0.01	0.000	0.01	0.000	0.01
10	0.067	6.75	0.129	6.44	0.186	6.18	0.239	5.97	0.289	5.77
20	0.129	12.88	0.239	11.93	0.336	11.21	0.425	10.62	0.507	10.13
30	0.186	18.55	0.336	16.81	0.467	15.55	0.583	14.58	0.689	13.79
40	0.239	23.86	0.425	21.24	0.583	19.44	0.723	18.08	0.850	17.00
50	0.289	28.87	0.507	25.34	0.689	22.98	0.850	21.25	0.995	19.90
60	0.336	33.62	0.583	29.16	0.788	26.26	0.967	24.17	1.128	22.56
70	0.382	38.15	0.655	32.75	0.880	29.33	1.076	26.90	1.251	25.03
80	0.425	42.49	0.723	36.15	0.967	32.23	1.178	29.46	1.367	27.35
90	0.467	46.66	0.788	39.40	1.049	34.97	1.275	31.88	1.477	29.54
100	0.507	50.67	0.850	42.50	1.128	37.59	1.367	34.19	1.581	31.63



### Referencias

1. Shepard O.F. (1948). *Submarine Geology*. Cap. IV y V.
2. Superintendent of Documents US. (1996). *Shore Protection Planning and Design*. Tech, Report No.4. 3er Edition. Government Printing Office, Washington, D.C. Chap. 1.
3. Wiegel R. (1964). *Oceanographical Engineering*. Prentice-Hall, Inc./Englewood Cliffs. N.1, chap. 2, p.21.
4. Ref. 2, part 1, chap. 1, p.101. Chap. 4, part. 2, p.247.
5. Ref. 3, chap. 2, p.16.
6. Ref. 3, chap. 7, p.175.

---

### Semblanza del autor

*Leonardo Zeevaert-Wiechers*. Obtuvo el título como ingeniero civil en 1939 en la Escuela Nacional de Ingenieros de la UNAM. Estudió el posgrado en el Instituto Tecnológico de Massachussetts donde recibió el grado de maestro en ingeniería en 1940. En 1943 inició una estrecha colaboración con el Dr. Karl Terzaghi en una investigación acerca de la estabilidad de las cortinas de corazón hidráulico construidas en México a principios del siglo XX; esto lo llevó en 1947 a trabajar en problemas especiales de mecánica de suelos en la Universidad de Illinois, donde obtuvo el grado de doctor (ph.D) en 1949. Ha recibido numerosos reconocimientos, entre ellos: la medalla de oro profesional otorgada por el Instituto Americano de Arquitectos; diploma a la innovación tecnológica, designación de profesor emérito en la UNAM y miembro de la Academia Nacional de Ingeniería de EUA, entre otros. El buen comportamiento, la cimentación y estructura de obras de ingeniería que ha diseñado, entre ellas la Torre Latinoamericana, en donde introdujo el concepto de flexibilidad controlada en edificios altos, le han valido para su reconocimiento a nivel internacional. Ha escrito 180 artículos, una gran cantidad de libros y ha presentado ponencias relacionadas con mecánica de suelos, ingeniería de cimentaciones y sísmica de cimentaciones.