

1.-El oleaje y sus características

1.1.-Introducción

De la radiación solar incidente sobre la superficie de la Tierra, una fracción se invierte en un calentamiento desigual de la misma, lo que provoca en la atmósfera zonas de altas y bajas presiones, generando desplazamientos del aire (viento) de mayor o menor intensidad. El oleaje es una consecuencia de la acción del viento sobre la superficie del mar y, por lo tanto, supuesta una constante solar del orden de 375 W/m^2 , aproximadamente 1 W/m^2 se transmite al oleaje, que actúa como un acumulador de energía, por cuanto al tiempo que la recibe, la transporta de un lugar a otro, y la almacena. La intensidad del oleaje depende de la intensidad del viento, de su duración y de la longitud sobre la cual éste transmite energía a la ola.

Como es sabido existen otros tipos de olas en la superficie del océano que son consecuencia de diferentes fuerzas perturbadoras y que por consiguiente el periodo y la amplitud características son diferentes unas de otras.

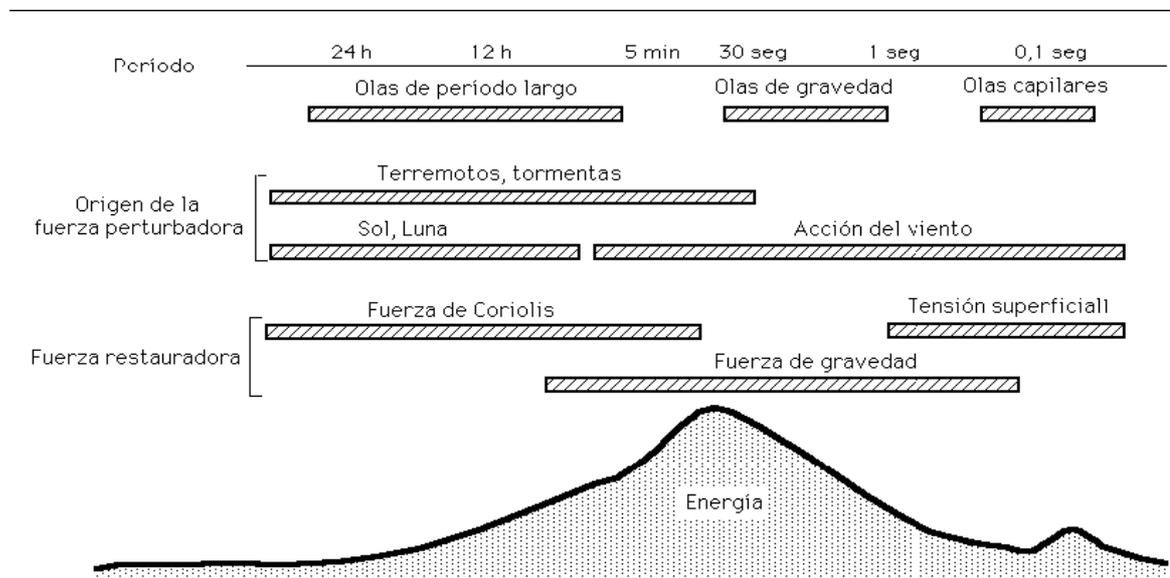


figura 1.1.1

La *figura 1.1.1* representa esquemáticamente los tipos de olas que existen en las superficie del océano y la energía contenidas en ellas de una forma cualitativa.

No existe una regularidad perfecta de las olas, ya que su amplitud, energía y dirección varían aleatoriamente a lo largo del año; cambian desde la calma absoluta, un 1% al año, hasta un 1MW/km, otro 1%; hay lugares en los que durante períodos de varios minutos pueden llegar a alcanzar hasta 10 MW/km. También pueden estar sometidas a variaciones instantáneas.

1.2 Comportamiento y características de las olas generadas por el viento.

Se define como estado de la mar aquella situación o período de tiempo, en el cual existe un equilibrio entre las fuerzas generadoras y las restauradoras que intervienen, permaneciendo su manifestación aproximadamente estacionaria. Puede definirse como cada una de las "posiciones" de la dinámica del oleaje. La variación es lo suficientemente lenta para admitir que el proceso es estacionario durante un corto período.

Un estado de mar puede ser representado por una altura significativa, un período significativo y su dirección de propagación. Por valores significativos nos referimos al promedio del tercio de las olas más altas.

Lo que nos interesa conocer es el oleaje real. Hay que distinguir tres zonas en el desarrollo del oleaje: área generadora, área de propagación y su extinción en la costa. El oleaje real puede ser concebido como una combinación de ondas sinusoidales (componentes) que se propagan independientemente unas de otras. A pesar que cada una de las crestas avanza a una velocidad que corresponde a su longitud de onda (velocidad de fase), como unidad coherente el grupo avanza con su propia velocidad (velocidad de grupo). Estos grupos pueden ser considerados como portadores de la energía de las olas.

Podemos distinguir dos tipos de mar:

Mar de viento: Se produce en las zonas generadoras debido a la acción del viento, donde no se aprecian crestas de cierta longitud ni período bien definido. Es muy irregular, con crestas de pequeña longitud y gran variedad de direcciones de avance, que constituyen una superficie líquida caótica sin frentes de crestas bien definidos y sin ninguna periodicidad. No se puede medir un

período ni una altura bien definidos (no son constantes).

Según la velocidad del viento el mar presenta un aspecto diferente, existiendo la escala anemométrica BEAUFORT que clasifica el viento y la escala DOUGLAS que clasifica el estado de la mar en función de la altura de las olas.

ESCALA ANEMOMÉTRICA BEAUFORT

Cifra	Nombre	Velocidad			Efecto del viento en el mar
		nudos	M/s	Km/h	
0	Calma	1	0-0,2	1	Mar como un espejo
1	Ventolina	1-3	0,3-1,5	1-5	Rizos como escamas de pescado pero sin espuma
2	Flojito	4-6	1,6-3,3	6-11	Pequeñas olas, crestas de apariencia vítrea sin romperse
3	Flojo	7-10	3,4-5,4	12-19	Pequeñas olas, crestas rompientes, espuma de aspecto vítreo, aislados vellones de espuma
4	Bonancible-moderado	11-16	5,5-7,9	20-28	Pequeñas olas creciendo, cabrilleo numeroso y frecuente de las olas
5	Fresquito	17-21	8-10,7	29-38	Olas medianas alargadas, cabrilleo (con salpicaduras)
6	Fresco	22-27	10,8-13,8	39-49	Se forman olas grandes, crestas de espuma blanca (salpicaduras frecuentes)
7	Frescachón	28-33	13,9-17,1	50-61	El mar crece, la espuma blanca que proviene de las olas es arrastrada por el viento
8	Temporal	34-40	17,2-20,7	62-74	Olas de altura media y mas alargadas, del borde superior de sus crestas comienza a comenzar a destacarse torbellinos de salpicaduras
9	Temporal	41-47	20,8-	75-88	Grandes olas, espesa estelas de

	fuerte		24,4		espuma a lo largo del viento, las crestas de las olas se rompen en rollos, las salpicaduras pueden reducir la visibilidad
10	Temporal duro	48-55	24,5-28,4	89-102	Olas muy grandes con largas crestas en penachos, las espuma se aglomera en grandes bancos y es llevada por el viento en espesas estelas blancas, en conjunto la superficie esta blanca, la visibilidad esta reducida
11	Temporal muy duro	56-63	28,5-32,6	103-117	Olas de altura excepcional (pueden perderse de vista tras ellas barcos de tonelaje medio), mar cubierta de espuma, la visibilidad esta reducida

ESTADO DE LA MAR DE VIENTO (Escala DOUGLAS)

Cifrado	Nombre	Altura en metros
0	Calma	0
1	Rizada	0 a 0,1
2	Marejadilla	0,1 a 0,5
3	Marejada	0,5 a 1,25
4	Fuerte marejada	1,25 a 2,5
5	Gruesa	2,5 a 4
6	Muy gruesa	4 a 6
7	Arbolada	6 a 9
8	Montañosa	9 a 14
9	Enorme	Más de 14

Mar de fondo(Mar tendida): Al abandonar la zona generadora el oleaje sufre tres fenómenos: pérdida de energía, dispersión angular y radial y soldadura. Así pues, la caótica superficie de la mar de viento va simplificándose con el aumento de la edad del oleaje (distancia al origen de la perturbación) y especialmente cuando abandona la zona generadora. El oleaje que aborda la costa es más regular, se forman frentes de crestas de centenares de metros de longitud y el período de las olas sucesivas difiere poco. Hay ciertas direcciones predominantes y ritmicidad en el fenómeno. La altura varía poco entre dos olas consecutivas.

La regularidad de la mar de fondo es la que permite crear un dispositivo capaz de extraer la energía de una forma óptima. Por tanto es conveniente que la instalación de estos sistemas se haga en zonas con predominio de la mar de fondo.

Al abandonar las olas la zona en que sopla el viento se solapan y propagan de acuerdo con su velocidad c , que es función de la longitud de onda λ .

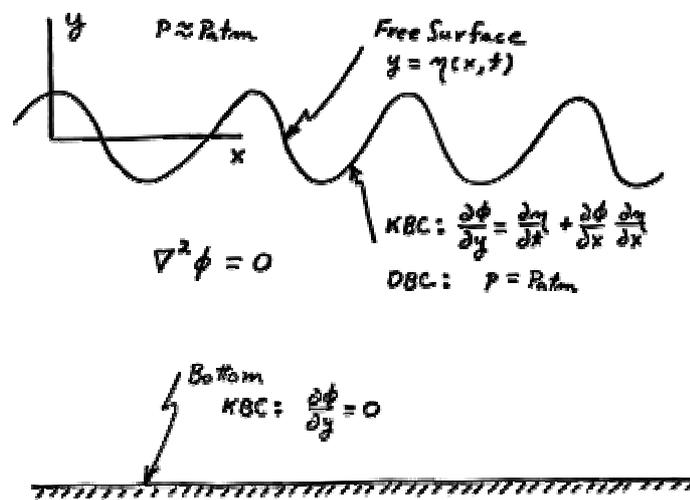


fig. 1.2.1

A partir del planteamiento del problema ideal de un líquido que tienen dos superficies con condiciones de contorno diferentes, en el fondo a una longitud infinita se encuentra el fondo marino y en la superficie superior está la condición de presión constante. La ley que gobierna el movimiento del líquido es la

ecuación de Laplace. De esta ley se obtiene una relación entre velocidad de la ola y longitud de onda.

$$v = \frac{\lambda}{T} = \sqrt{\frac{\lambda \cdot g}{2 \cdot \pi}}$$

Siendo g la aceleración debida a la gravedad.

De esta expresión se puede obtener la relación directa entre el periodo, T , y la longitud de la ola, L .

$$\lambda = \frac{T^2 \cdot g}{2 \cdot \pi}$$

Esta relación entre la longitud de onda y el periodo es cierta para una profundidad marina infinita o en cualquier caso para profundidades superiores a la altura. A medida que la profundidad disminuye, la relación entre estas magnitudes se aleja de la relación dada, apareciendo los fenómenos de refracción.

A continuación se muestra gráficamente la desviación descrita anteriormente.

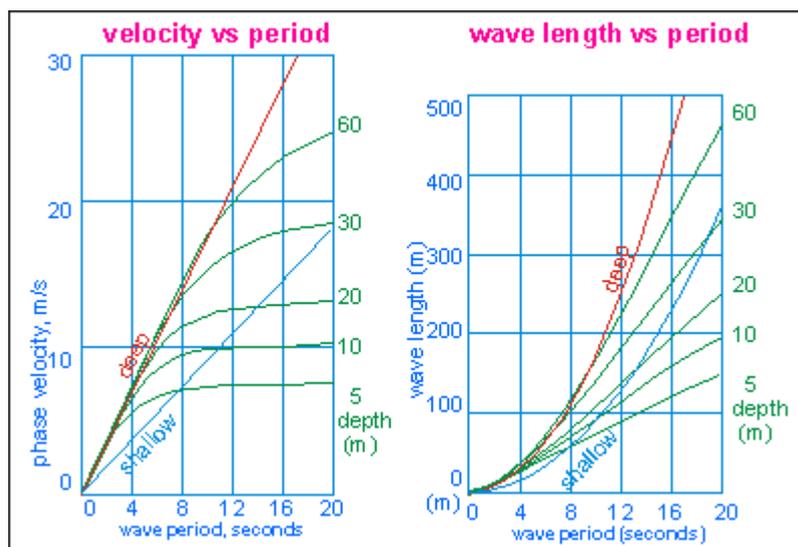


figura 1.2.2

La onda pierde su aspecto sinusoidal, de tal forma que el periodo disminuye y aumenta la altura, hasta que se alcanza la profundidad de 1,3 veces la altura donde rompe la ola. En la figura 6 se representa esquemáticamente la evolución de una ola que se aproxima a la costa.

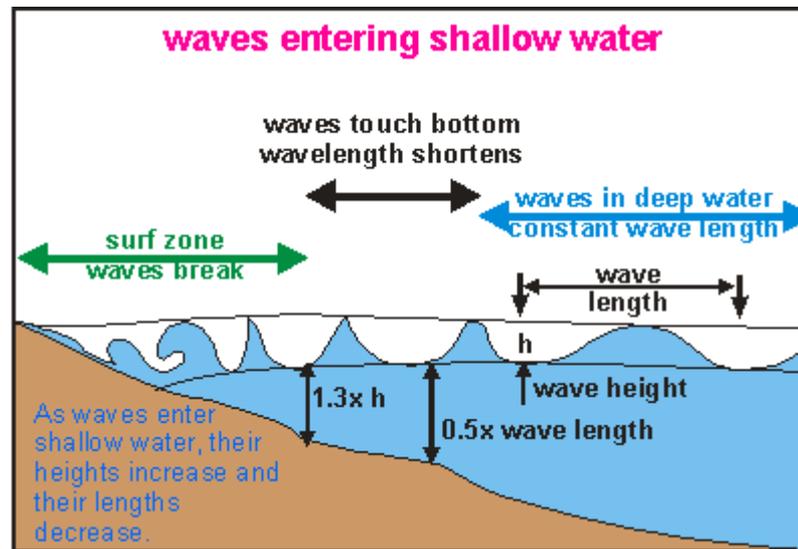


figura 1.2.3

POTENCIA:

La potencia por metro lineal que transporta una ola es función de la altura significativa y del periodo:

$$P = \frac{\rho \cdot g^2 \cdot T \cdot H^2}{32 \cdot \pi} \text{ en wátios/metro}$$

Siendo:

- La densidad del agua de mar, $\rho = 1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.
- El periodo de la ola, T.
- La altura de la ola, H, diferencia de altura entre valle y cima.

Para un estado del mar con olas de $H=2$ m y periodo de 10 s, le corresponde una potencia de 39,2 kW/m.

Las olas se trasladan, pero no las partículas de agua, que se mueven en trayectorias elípticas o circulares; las órbitas elípticas en las olas largas pueden comprimirse hasta formar segmentos circulares.

Las órbitas se consideran, por comodidad para su estudio, cerradas, aunque en realidad son abiertas, es decir, el oleaje está asociado a un transporte de corriente.

Como se puede ver en la *figura 1.2.3*, las partículas situadas en la misma vertical describen órbitas de igual fase, pero sus radios disminuyen con la profundidad. En cambio las partículas situadas en el mismo plano horizontal describen trayectorias circulares de igual radio pero desfasadas.

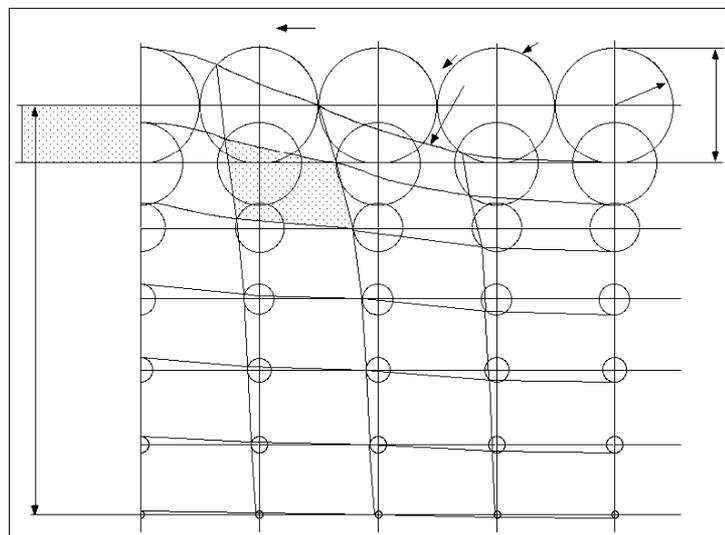


figura 1.2.4

Si no existe suficiente profundidad, el fondo afecta al desplazamiento vertical de las órbitas y tendrán forma de elipses. Si la profundidad es muy pequeña, el movimiento vertical queda totalmente impedido y las trayectorias de las partículas serían rectas horizontales.

Las dimensiones de las órbitas disminuyen exponencialmente con la profundidad; si el movimiento orbital superficial se reduce a un círculo de radio r_0 , el radio disminuye con la profundidad h , (altura del mar desde el fondo a la superficie), según la relación:

$$r = r_0 \cdot e^{-\frac{2\pi}{\lambda} \cdot h}$$

- Para una profundidad $h = \frac{\lambda}{2}$, $r = r_0 \cdot e^{-\pi} = 0,043 \cdot r_0$
- Para una profundidad $h = \lambda$, $r = r_0 \cdot e^{-2\pi} = 0,0019 \cdot r_0$

siendo r_0 el radio orbital superficial, que coincide con la semialtura $\frac{H}{2}$ de la ola.

De esto se deduce que una ola de $\lambda=100$ metros, con una altura, $H = 4$ metros tiene:

- En superficie, $h = 0$, un movimiento de partículas cuya excursión es de 4 metros $r = r_0$*
- A 50 metros de profundidad, $h = \frac{H}{2}$, la excursión de las partículas apenas alcanza 17 cm*
- A 100 metros de profundidad sólo 0,8 cm.*

Es evidente que hablar de la altura de una ola, en el fondo, sólo tiene un significado puramente ideal, ya que la ola realmente adquiere altura en superficie, pero sobre el fondo se puede hablar solamente de desplazamiento de las partículas, aunque se puede hablar de altura de una ola en profundidad sólo por analogía con lo que tiene lugar en superficie.

Consideraciones de este tipo tienen una gran importancia para el estudio de la acción del oleaje sobre los fondos marinos, así como sobre las construcciones costeras e instalaciones portuarias.

Un fenómeno muy estudiado es la refracción de las olas, consiste en las variaciones que sufre el oleaje al llegar a las zonas costeras, teniendo aplicación en el diseño de puertos de mar, etc. Dicho fenómeno no se va a tratar, pues la ubicación del generador se debe realizar allí donde la ola no presente perturbaciones.

1.3 El oleaje real, observación y medida

El oleaje real del mar es una superposición compleja de numerosos trenes de olas no regulares con distintos valores de su periodo, altura, dirección, etc.

Aquí en España el Instituto Nacional de Meteorología (INM), realiza medidas del oleaje en diferentes puntos de la costa, mediante boyas flotantes como la que se muestra en la *figura 1.3.1*, que es la boya Seawath, que cuenta con un variado conjunto de sensores como son:

- Presión del aire
- Temperatura
- Conductividad
- Dirección y altura del oleaje

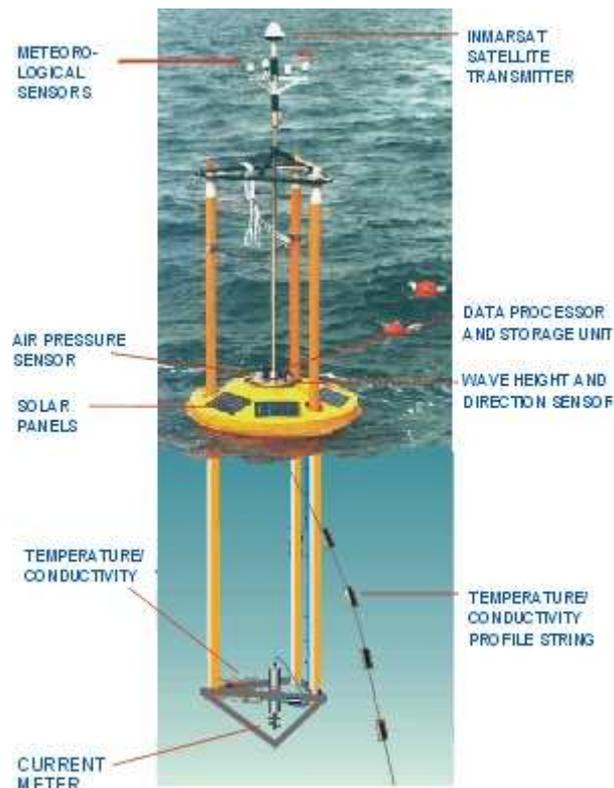


figura 1.3.1

Los datos que recoge son presentados en su página web. La forma en que presentan dichos datos es muy variada, e individual para cada punto de medida.

Una gráfica típica es la altura media y máxima, y el periodo de la ola para cada mes del año. Otra es la roseta de dirección del oleaje.

Y una tabla que da para un rango de altura y periodo el porcentaje que presenta ese estado el mar durante el año. Con esta tabla se va a poder calcular la energía que va a ser capaz de producir el generador en un año.

En el Anexo II se introduce el documento completo de la información del oleaje en el Golfo de Cádiz del año 2005. La localización exacta es Latitud $36,477^{\circ}$ N, Longitud $6,963^{\circ}$ W.