

Movimientos marítimos

en el mar se pueden distinguir 2 categorías de movimientos:

las ondas :

se son oscilaciones periódicas constituidas por la serie regular de crestas y depresiones.

las corrientes :

se consisten en el flujo de agua en una dirección dada.

6.2.11 ola y sus características. < 621. > 6.2.2 las olas en la costa. < 622. > 6.2.3 corrientes inducidas por la ola. < 623. > 6.2.4 las marjadas o bravzas < 624. > 6.2.11 ola y sus características.

el viento es responsable de la generación de la ola que se desplaza sobre la superficie del agua y que juega un rol muy importante en la modificación de la línea costera. si observamos el mar durante una tormenta, su superficie parece estar en un estado de confusión y es difícil apreciar que entre el desorden es posible detectar las diferentes travesías de olas que aquí se generan.

las olas son movimientos ondulatorios, oscilaciones periódicas de la superficie del mar, formadas por crestas y depresiones que se desplazan horizontalmente.

al estudio de las olas, éstas se dividen en: olas de agua profunda, que no están influenciadas por el fondo, se mueven independientemente de él; y olas costeras en que por disminución de la profundidad del agua, su forma y movimiento están afectadas por el fondo.

las olas se caracterizan por su: longitud de onda, período, pendiente, altura, amplitud y velocidad de propagación, variables físicas y geométricas que se definen a continuación:

longitud de onda (λ): es la distancia horizontal entre 2 crestas o 2 depresiones sucesivas.

período (t): el tiempo, contado en segundos, entre el paso de 2 crestas sucesivas por el mismo punto.

altura (H): distancia entre la cresta de la ola y el nivel medio del mar.

pendiente: relación entre la altura y la longitud de onda (H/λ).

amplitud (a): distancia entre la cresta y el valle de la ola.

velocidad de propagación: $v = \lambda / \text{período}$

amplitud de la onda: distancia vertical entre el nivel de aguas tranquilas y la cresta de la ola.

como las olas son muy variables para analizarlas y describirlas se usan métodos estadísticos. así, para la altura, normalmente se refiere a la altura significativa, esto es el promedio de $1/3$ de las olas + altas observadas en una serie en un período de tiempo determinado. en el océano atlántico la altura significativa de las olas es de 2 metros.

en Chile, por ejemplo en constitución en el período de otoño-invierno, la altura significativa de las olas varía de 0.9 a 1.5 metros; en primavera-verano se entre 0.8 y 2.2 metros. en el mismo lugar, con ola de tormenta se observan alturas entre 4 y 5 metros.

de acuerdo a los registros en la costa de Chile se observa lo siguiente:

frecuencia de observación altura

hasta 28% 0.5 - 1.0 metro

60% 1.0 - 2.5 metro

10% 2.5 - 4.0 metros

1-2% + de 4 metros.

con relación al período (expresado en segundos), el promedio general registrado en las costas chilenas varía de 8 a 14

según, el 10% del oleaje registra período de hasta 16 segundos y excepcionalmente, de 18 a 20 segundos.

olas en agua profunda (ola tipo "sa"): producen un movimiento + o - regular en la superficie del océano, denominado oleaje, en el cual la altura de la ola es relativamente débil en relación con el largo de la onda. El oleaje se propaga en el océano a lo general muy lejos del lugar donde se origina, yegando finalmente a las costas de continentes o islas; aquí la ola se transforma, ya sea a efectos de fondo o alguna península o extremo de la obra artificial que se interna en el mar (por ejemplo, un molo o un muelle). Esta es la ola tipo "sway".

ola tórica: un ejemplo de observación común es que los objetos que flotan en la superficie del mar simplemente suben y bajan cuando la ola pasa por ellos. Esto ocurre porque las partículas de agua responden al paso de la onda y se mueven en órbitas circulares cuyo diámetro disminuye con la profundidad.

ola tórica

esto supone que:

las partículas de la superficie del mar describen círculos cuyo radio depende de la profundidad.

el diámetro de las trayectorias disminuye con la profundidad y se practicamente nulo en profundidad.

el perfil del oleaje corresponde a un trocoid, que es la curva descrita por un punto de un disco que rueda sobre una recta.

la ola en agua profunda corresponde a una onda de superficie. al llegar a la costa se transforma en ola costera.

ola de oscilación

a una profundidad igual a la mitad de la longitud de onda, el diámetro de las órbitas de las partículas de agua es $1/25$ veces del diámetro de la superficie y para propósitos prácticos, se considera este nivel como la máxima profundidad del movimiento del oleaje.

en aguas + profundas que la mitad de la longitud de onda, las partículas orbitantes no entran en contacto con el fondo oceánico, mientras que a profundidades menores que la mitad de la longitud de onda, las órbitas son achatadas por la resistencia debida a la fricción, pierden energía y se dice que la ola "siente el fondo". se reconoce esta profundidad como el máximo nivel en el que las olas pueden mover partículas de los sedimentos marinos.

olas rales: las olas rales se alzan bastante de las olas tóricas, en las áreas donde sopla el viento que las genera. en las áreas de generación del oleaje hay una agitación aparentemente anárquica de la superficie. con vientos sobre 9º de la escala de beaufort se observan montañas desordenadas de agua de alturas muy variables, sobre estas grandes olas se forman otras + pequeñas. así, la estructura superficial del océano es el resultado de la superposición de varios tipos de olas que se interfieren resultando depresiones y cúmulos. la interferencia puede dar anulación o un reforzamiento.

si la velocidad del viento es mayor a 5 m/s, la altura de la ola crece + rápido que la longitud de onda, la pendiente aumenta y si sobrepasa el límite, las olas revientan independientemente de toda influencia del fondo generando cabritos o cordritos (olas forzadas).

las áreas de generación poseen espectros de olas muy variadas, de diferente longitud de onda. como la velocidad aumenta con la longitud de onda, las olas que salen de esta zona de generación no progresan a la misma velocidad. a medida que el oleaje sale de esta área se va clasificando, simplificando, tomando el aspecto de ondulaciones xallas y

disminuyendo la pendiente.

si seguimos las olas desde el viento las produc en el mar, viajan miles de kilómetros y rompen finalmente contra la costa.

el desarrollo de las olas se atribuye a 3 factores principales:

la velocidad media del viento.

la duración del tiempo en que actúa.

la distancia sobre la que sopla (ftx).

velocidad del viento (km/h) duración mínima

(h) ftx

(km) altura media

(m)

18 2.4 18 0.3

28 6.0 63 0.8

37 10 140 1.5

46 16 300 2.7

-

92 69 2600 15

principales áreas de generación de olas:

son aquellas donde soplan los vientos del este en las zonas templadas de los 2 hemisferios. las tormentas dan origen a olas del noreste y suroeste, a partir de los 40° de latitud.

fuera de estas regiones hay sólo 1 área importante en la generación de olas: el mar de Arabia, en los meses de junio, julio y agosto, durante el monzón de verano que es muy violento.

los vientos alisios rara vez generan grandes olas. los ciclones tropicales generan olas enormes pero en forma muy irregular. así, la mayor parte de las olas observadas en las regiones intertropicales son originarias de las regiones de latitudes elevadas y son propagadas libremente sobre miles de kilómetros.

las regiones que tienen alta frecuencia de ocurrencia de vientos fuertes son en consecuencia, las regiones principales de generación de olas y corresponden a las zonas de actividad frontal en las altas latitudes de ambos hemisferios. el cinturón de tormentas del sur es la área generadora de olas más clara y definida del mundo ya que allí se registran gran cantidad de vientos fuertes (8-9° de la escala de beaufort), son relativamente persistentes cuanto a ubicación y soplan sobre largas distancias en el mar.

con relación al tipo de olas se distinguen los siguientes ambientes de olas:

ambients d'ola d'tormnta: k ocurren en ls altas latituds dond soplan vientos fuert frcuents crando olas altas y d fuert pndient. la dircción dominant d ls vientos en stos cinturons tmpla2 s ost. la costa ost d patagonia s probablmnt la + atacada x ls olas d tormnta durant todol año y contrasta con la costa st dondl atak s mnor.

las costas en stos lugares posen acantila2 rocosos y platafor+ d abrasión. stas costas rocosas tienn imxtancia ecológica y umana xk proven ábitats adcu2 xa algunas algas k stán siendo explotadas y xa algunas spcis d fauna.

ambient d olas d costas ost: olas largas y bajas k s an gnrado en ls cinturons d tormnta y k postriorment an disminuído su enrgía al aljars d sus áras d formación. su nivl enrgía s mayor en ls latituds + altas y modrado en ls trópicos. sn costas rlativamnt omogénas dl punto d vista dl olaj, excptuando part d ls costas d méxico k puedn star afctadas x ciclons tropicals; o ls costas d la india en kl olaj pued sr rforzado x olas gnradas xl monzón stacional. l olaj dl sw ocurr a lo largo d la costa ost d américa dsd california a xil; costa ost d africa.

ambient d costas st: nivls d enrgía bajos a modra2, con la excpción d sctors d costas tropicals afcta2 x ciclons.

ambients protgi2: s trata d costas en ls kl olaj ocánico no pntra xk s encuentran protgidas x cubiertas d ielo o xk s encuentran localizadas fuera d ls cinturons d tormnta. gnralmnt sn ambients d olas d baja enrgía ls costas polars y ls mars crra2 dond ay poco ftx k rstringl dsarroyo d la ola.

6.2.2 ls olas en la costa.

cuando la profundidad s infrior a la mitad d la longitud d onda, la ola empieza a sr influenciada xl fondo k la ac sufrir dformacions, k sn indepndients d la dircción d propagación y ocurre la rompiet . otras dformacions consistn en la modificación d la dircción d propagación, ls quals gnran fnó- d: rfracción ; rflxión ; difracción .

<6f01. tml>la figura muestra k enl procso d rfracción, ls ortogonals dibujadas prpendicularmnt a ls líneas d crstas d ls olas, tiendn a convrgir en algunas áras y a divrgir en otras, sgún sa la topografía submarina. en aguas profundas ls ortogonals d la ola stán sxadas x distancias iguales sxando sgmntos d igual enrgía. en ls proximidades d 1a salient, la enrgía s acr100ta en ls sgmntos k s axican. al entrar en 1a ba ía ls ortogonals s aljan 1as d otras, ls sgmntos s agrandan, ay disipación d la enrgía d la ola. d sta manra la enrgía d la ola s disipa en ls ba ías y s concentra en ls salients; la topografía irregular dl fondo marino rfractal olaj d manra complja y s producñ variacions d la enrgía y d la altura d la ola.

6.2.3 corrientes inducidas xl olaj.

el olaj en la costa también gnra corrientes k influyen considrablmnt enl movimiento d ls materials sdimentarios a lo largo dl litoral y s 1a causa fundamntal d la erosión o progradación d la costa. la corrient d driva litoral: s produc cuando ls olas yegan oblicuas a 1a costa rtilína, gnralmnt en ángulo infrior a 10º (el ángulo nunca pued sr mayor dbido a la rfracción), sto da nacimiento a 1a corrient xalla al litoral, entr la zona d rompiet y la oriya. la vlocidad d la driva s mínima fuera d la zona d rompiet, lo k dmuestra claramnt k s inducida xl olaj y no pued sr atribuida a corrientes ocánicas o corrientes d mara.

en esta figura se observa que los sedimentos describen trayectorias en zig-zag; al revertir la ola el flujo es oblicuo, por lo que el flujo es perpendicular a la orilla y la línea de mayor pendiente. 1 de los rasgos geomorfológicos de este tipo de transito son las barras en la desembocadura de los ríos o la formación de flujos ligados a la punta rocosa. La velocidad de la deriva depende de: la altura de la rompiente, el período y ángulo de incidencia de las olas, la pendiente y rugosidad de la playa.

Las corrientes perpendiculares a la costa (rip-current o corrientes de retorno), consisten en que el agua que ha sido llevada hacia la playa por la rompiente se devuelve como una corriente de retorno muy localizada, desgarrando la zona de rompiente en sectores de hasta 30 metros de ancho, y que se dispersa más allá de la rompiente. Ocurren frecuentemente en lugares de encuentro de dos derivas litorales que se devuelven hacia el mar por una corriente perpendicular. Dichas corrientes son angostas (15-30 metros), perpendiculares a la orilla y comprometen la columna de agua; su velocidad es uno a dos nudos (8 km/hora) y se caracterizan por sus aguas turbulentas cargadas en materiales finos en suspensión, siendo muy peligrosas para los bañistas

Velocidad de Rip Currents en m/s

Cerca de la playa Medio Después de la rompiente

Con viento de 4 a 6 m/s.

Superficie 0.1 0.1 0.0

1 m de profundidad 0.3 0.3 0.2

Cerca del fondo 0.8 0.6 0.4

Con viento de 20 a 24 m/s.

Superficie 5.5 3.0 2.2

2 m de profundidad 7.2 5.8 3.6

Cerca del fondo 10.8 8.6 5.9

El sistema de circulación costera produce un intercambio continuo de agua entre la zona de rompiente y la de aguas libres, actuando como un mecanismo de distribución de nutrientes y de dispersión para el escurrimiento terrestre.

6.2.4 Las marejadas o bravesas.

Se trata de olas excepcionales generadas por tempestades. Son olas altas que ocurren en momentos en que por un período de varias horas el mar alcanza un nivel más alto que el de costumbre debido a las condiciones tiempo de una tormenta. Los principales factores condicionantes son:

La presión atmosférica baja debido a la perturbación atmosférica; la columna de aire pesa menos y

cuando la presión atmosférica desciende 1 milibar (1 hectopascal), el nivel del mar sube aproximadamente un centímetro.

Los vientos que soplan en dirección de la costa tienden a acumular agua en el borde litoral. Por ejemplo, un viento de 80 km/hr soplando durante doce horas puede producir una elevación de hasta un metro en el nivel del mar.

Amplitud fuerte de la marea (exageración del nivel del mar).

Como resultado de lo anterior, el nivel del mar puede estar varios metros encima de su nivel habitual. Los casos extremos se dan en sitios en los cuales suelen producirse tifones (con valores de presión bajo 900 mb [hectopascales]), como ocurre en las latitudes tropicales, mar Caribe, África oriental; que sufren inundación en sus costas.

En el litoral de Chile, este tipo de olas de 4 a 6 metros de altura, recibe el nombre de bravezas o marejadas. Ejemplos de tres bravezas excepcionales ocurridas en Chile: 2-4 Junio de 1924; 9 Agosto de 1929; 25 Julio de 1968; las tres fueron importantes por su duración y por la elevación del nivel del mar, generándose grandes olas que provocaron fenómenos de inundación y desplazamiento de enormes bloques graníticos de los acantilados costeros. Según los registros, este tipo de fenómeno excepcional ocurre con frecuencia de 3 a 4 en un siglo provocando riesgo de inundación para los asentamientos humanos, además de los efectos geomorfológicos descritos que hacen evolucionar las costas.

En el mar chileno ocurren procesos como las surgencias y el fenómeno El Niño, que son relevantes porque influyen en aspectos diversos del clima, de los recursos marinos vivos, de las condiciones para el habitat humano, entre otros. Ambos fenómenos, aunque pueden relacionarse, ocurren a diferentes escalas espacio-temporales.

El Niño es un fenómeno a escala planetaria (depende de fuerzas planetarias), que posee una cierta periodicidad y que produce cambios interanuales en el océano generando cambios en los sistemas de corrientes, en las masas de agua, en los habitat marinos afectando a la pesquería.

Las surgencias son fenómenos a mesoescala (algunos kilómetros a decenas de kilómetros), generalmente localizadas geográficamente, dependiendo de la forma de la costa, la topografía submarina y los vientos locales; temporalmente son medibles en días y horas y afectan al mar territorial.

Por otra parte, la condición de borde de placa de subducción en que se encuentra Chile, es responsable de la alta sismicidad a la que se asocian los tsunamis que constituyen un factor de riesgo para los asentamientos humanos localizados en terrenos bajos de la costa.

7.1. Tsunamis 7.2 Las Surgencias (Upwelling) 7.3 Fenomeno El Niño 7.1 *Tsunamis*

Impreso denominado "La gran ola frente a las costas de Kanagawa" realizado por el artista japonés Hokusai a fines del siglo XVIII.

Chile debido a su posición geográfica en la cuenca del Pacífico suroriental, queda incluido dentro de países que con cierta frecuencia reciben los efectos de ondas de tsunamis. Estas ondas se desplazan a gran velocidad y, según su magnitud, pueden causar enormes daños materiales y pérdidas de vidas al alcanzar las costas continentales e islas oceánicas. Tsunami es una palabra japonesa que denomina a una gran ola que irrumpe en un puerto.

Existe consenso para designar con la palabra tsunami a aquel fenómeno periódico que ocurre en el mar, generado por un disturbio externo que impulsa y desplaza verticalmente la columna de agua originando un tren de ondas largas, con un período que va de varios minutos hasta una hora, que se propaga a gran velocidad en todas direcciones desde la zona de origen, y cuyas olas al aproximarse

a las costas alcanzan alturas de grandes proporciones, descargando su energía con gran poder, infligiendo una vasta destrucción e inundación.

La circulación oceánica superficial es el resultado de varios procesos, especialmente la fuerza del viento que actúa en la superficie del agua y las diferencias de densidad. Si se asume que el sistema de corrientes observado es simplemente el resultado de la fuerza del viento la circulación sería muy similar a los principales cinturones de vientos en la Tierra y efectivamente así ocurre. Sin embargo, en el Hemisferio Norte los vientos se desvían hacia la derecha y hacia la izquierda en el Hemisferio Sur. Esto se debe a la rotación de la tierra y es explicado por el efecto de Coriolis. En la categoría de corrientes marinas superficiales se incluyen las corrientes permanentes de los océanos tales como la corriente de Humboldt, la del Golfo y las corrientes Ecuatoriales, las cuales son una parte de la circulación general de los océanos.

7.2 Las Surgencias (Upwelling)

Son movimientos ascendentes mediante los cuales las aguas de los niveles subsuperficiales son llevadas hasta la superficie, desde profundidades generalmente menores de 100-200 metros, y removidas desde el área de transporte por el flujo horizontal, produciéndose así un aporte de nutrientes a las aguas superficiales empobrecidas por el consumo biológico.

Si bien el fenómeno puede ocurrir en cualquier parte del océano, sus características más destacadas se presentan a lo largo de los bordes orientales de los océanos (esto es en las costas occidentales de los continentes), como sucede en el NW y SW de Africa, California, Perú y Chile. En estas costas las aguas se caracterizan por sus relativamente bajas temperaturas y por su alta producción de plancton. Por ejemplo, en el norte de Chile: 0.3 a 0.7 mg/m³ de clorofila "a"; respecto de los fosfatos, su concentración normal en el mar es de 0.2 mg/lit, sin embargo en áreas de surgencia ésta aumenta notablemente a 2.5 mg/lit en la costa de Oregon USA; 3.0 mg/lit costa de Perú y 1.2 mg/lit en la costa de Valparaíso (Curaumilla, situada inmediatamente al sur de Laguna Verde).

El diagrama muestra varios tipos de surgencias: por transporte de Ekman; por acción de vientos constantes; surgencia en el océano abierto; y surgencia por diferencias de densidad.

A. Por transporte de EKMAN. (Debida al efecto de Coriolis por el cual las aguas se desvían hacia la izquierda en el Hemisferio Sur).

El efecto de Coriolis hace que el agua que ha sido puesta en movimiento por los vientos sea desviada a la derecha en el hemisferio norte y a la izquierda en el hemisferio sur. Sin embargo, debido a la fricción, las capas superficiales se mueven en un ángulo de 45°. Así, el cuerpo de agua puede pensarse como un conjunto de varios estratos, cada uno se mueve cada vez más lento por la fricción, en un movimiento en espiral cada vez más hacia la izquierda en el Hemisferio Sur hasta que la fricción es nula. La dirección del movimiento varía para cada capa, pero el flujo promedio es 90° a la izquierda del viento prevaleciente.

B. Surgencia por acción de vientos continentales. Ocurre con vientos constantes que soplan desde el continente hacia el centro del océano y que alejan el agua próxima al borde costero, haciendo emerger aguas por surgencia. Ocurre por ejemplo en las costas españolas del mediterráneo, por acción del mistral (fuerte viento continental).

C. Surgencia en el océano abierto, es el caso de la surgencia ecuatorial debida a la divergencia

producida por los vientos alisios que generan corrientes (Ecuatorial del norte y Ecuatorial del sur) que transportan agua hacia la derecha al norte del ecuador y hacia la izquierda al sur, generando surgencia.

D. Surgencia por diferencias de densidad. Debidas a la circulación termohalina, en que el agua más densa se hunde y es reemplazada por aguas menos densas.

FACTORES QUE FAVORECEN LAS SURGENCIAS:

El origen de las surgencias está relacionado con la fuerza que ejerce el viento sobre la superficie del mar y con la presencia de la costa. Dichos fenómenos dependen de la combinación de muchos factores entre los que están: la dirección del viento; la forma y orientación de la costa, los rasgos del fondo sumergido. Por ejemplo se ha observado que los aumentos en el ancho de la plataforma continental favorecen la surgencia y que también, curvaturas bruscas del contorno acrecientan y complican las surgencias.

Distribución global de las surgencias

Los sedimentos bajo estas áreas de fuerte surgencia son típicamente ricos en materia orgánica; por ejemplo los sedimentos en la Bahía de Walvis en el SW de Africa tienen sobre 20% de carbono

ALGUNAS CONSECUENCIAS DE LAS SURGENCIAS:

orgánico. Los sedimentos aportan algunas guías para conocer la intensidad de la surgencia ya que las especies planctónicas (foraminíferos, diatomeas) tienden a indicar aguas frías.

Se pueden distinguir en el océano varios tipos de surgencias: una oceánica, una costera, una ecuatorial. De ellas la surgencia costera o litoral es muy importante puesto que determina contrastes climáticos y biológicos notables y crea las condiciones para una gran productividad biológica.

TIPOS DE SURGENCIAS:

Se comprueba el descenso de la temperatura del agua próxima a la costa.

Durante los períodos de surgencias, el agua superficial de la costa presenta temperaturas menores que las de la atmósfera, por lo tanto el aire adyacente a la superficie del mar se enfría y aumenta su humedad relativa lo que generalmente se traduce en la formación de neblina costera.

Intensificación de la brisa del mar, como resultado de la diferencia de presión existente entre el mar y el ambiente, derivado del ambiente térmico.

Puede disminuir el contenido de oxígeno disuelto en el agua de mar durante los eventos de surgencia, por la llegada de aguas subsuperficiales con bajo contenido de oxígeno.

Aumento de nutrientes en la zona de surgencia.