

Medio Marino, Costero y Portuario, y otras Áreas Sensibles

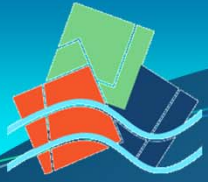


POLITÉCNICA

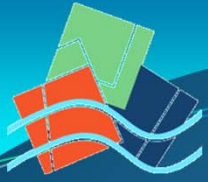
TEMA 2. LOS AGENTES Y LA HIDRODINÁMICA LITORAL

Dr. José Santos López Gutiérrez
Dra. María Dolores Esteban Pérez
Dr. Vicente Negro Valdecantos

Ingeniería del Litoral
Grado en Ingeniería Civil y Territorial

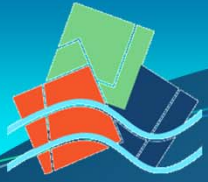


- **Teoría de ondas**
 - **Analogía ola (fenómeno físico) – onda (esquema matemático)**
 - **Aproximación a la realidad**
 - **Modelos que permiten asemejar una ola a una onda**
 - **Oleaje regular o monocromático (no existe en la realidad)**



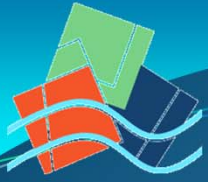
CLASIFICACIÓN DE LAS ONDAS OCEÁNICAS-OLEAJE

- **Causa principal de generación: viento**
- **Causa principal de atenuación: gravedad**
- **Oleaje de viento, con periodos entre 1 s y 25 s**
- **Oleaje de fondo, con periodos inferiores a 40 s**



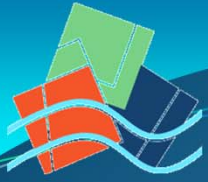
ONDAS GRAVITATORIAS

- Oleaje regular: oleajes sucesivos con altura (H) y periodo (T) constantes
- El oleaje regular no existe en la realidad
- Mecánica de ondas: oleaje regular



ONDAS GRAVITATORIAS

- Oleaje irregular: oleajes sucesivos con diferentes alturas y periodos
- El oleaje es irregular
- Complejo de estudiar, simplificaciones para estimaciones ingenieriles (a veces no realistas, necesarias matemáticamente)
- Métodos estadísticos y espectrales: oleaje irregular



OLEAJE REGULAR VS OLEAJE IRREGULAR

Oleaje regular: caracterización de la cinemática y dinámica



TEORÍA DE ONDAS

Variables que intentan reproducir la realidad

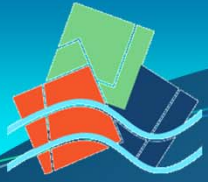


Oleaje irregular: determinación del régimen de oleaje y de las distribuciones de energía de oleaje, teniendo en cuenta las direcciones, para seleccionar las variables (H y T) del problema a analizar



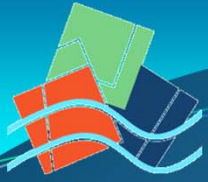
MÉTODOS ESTADÍSTICOS Y ESPECTRALES

Procesamiento de dichas variables



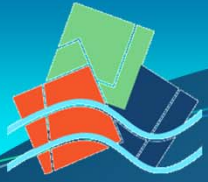
Oleaje regular

Esquema senoidal - lineal - de Airy (Stokes primer orden), Stokes de órdenes superiores, cnoidal y solitones de ondas solitarias



TEORÍA DE ONDAS

- Onda simple: puede describirse en términos matemáticos sencillos (ej.: onda senoidal o de Airy, cnoidal, etc.) (oleaje regular)
- Onda compleja o tren de ondas: onda con diversos componentes, siendo la descripción matemática de su forma más compleja (oleaje irregular - principio de superposición - OLEAJE)



TRINOMIO GEOMÉTRICO DE CARTER

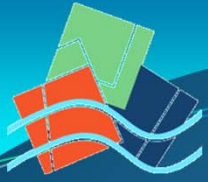
- Las olas se definen por tres parámetros independientes (H , L , h) y, al menor, dos monomios adimensionales
- Trío de indicadores (monomios adimensionales)
 - H/L : peralte (indicador de forma de la ola, rotura de la ola por forma)
 - H/h (o H/d): coeficiente de rotura (indicador de fondo, rotura de la ola por fondo)
 - h/L (o d/L): zonificador (profundidad relativa, indicador de zonificación de la plataforma en el litoral)



ZONIFICADOR (h/L)

➤ Zonificación de la plataforma en el litoral

- $h/L > 1/2$: zona de profundidades indefinidas (condiciones offshore)
- $1/25 < h/L < 1/2$: zona de transición
- $h/L < 1/25$: zona de profundidades reducidas (aguas someras)

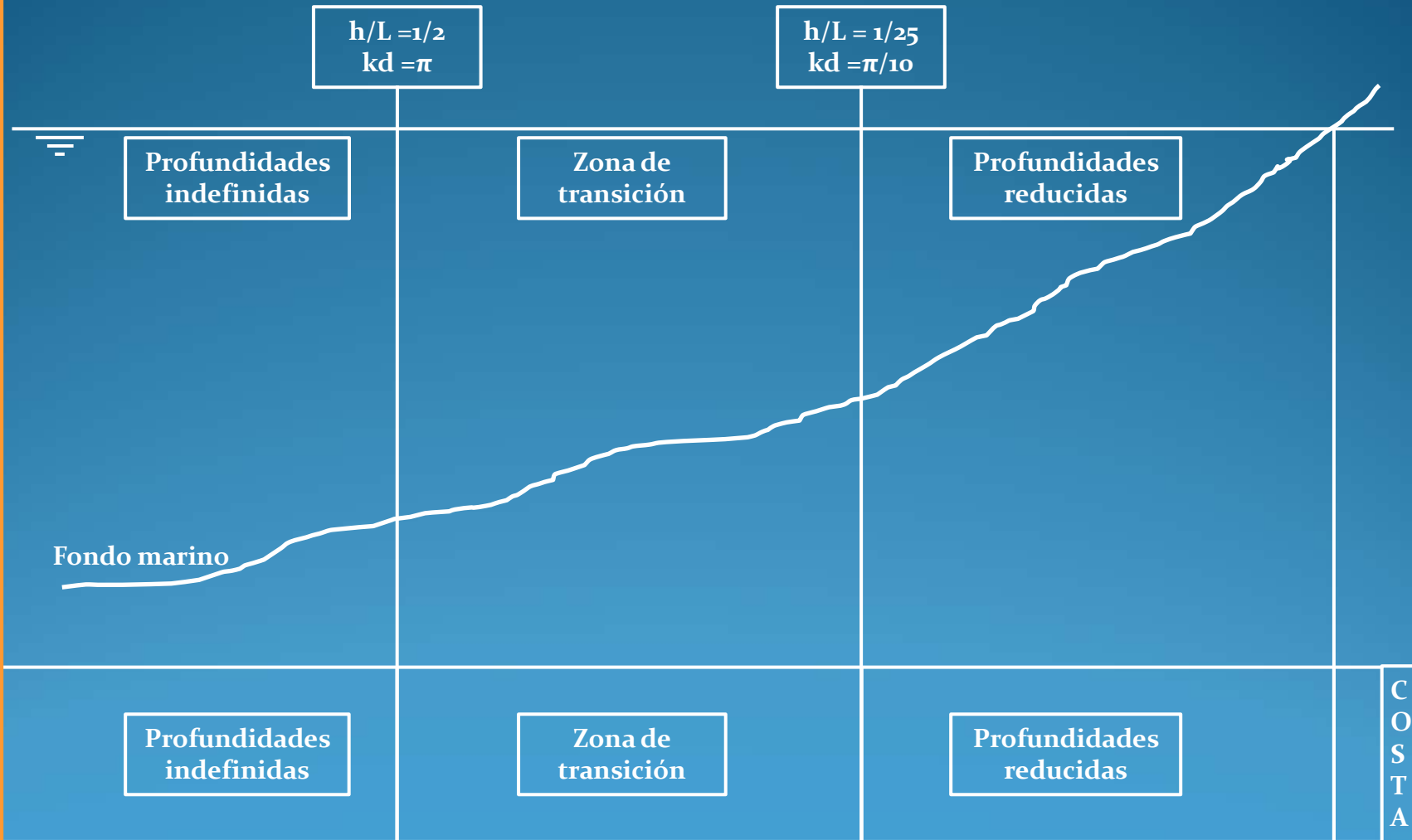


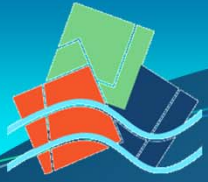
Medio Marino, Costero y Portuario, y otras Áreas Sensibles



POLITÉCNICA

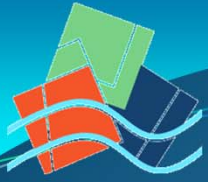
ZONIFICADOR (h/L)



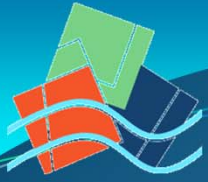


➤ **Hipótesis de la teoría lineal, de primer orden, de pequeña amplitud o de Airy (1845)**

1. El fluido es homogéneo e incompresible, por lo tanto, la densidad es constante
2. La tensión superficial puede ser despreciada
3. El efecto Coriolis debido a la rotación de la Tierra puede ser despreciado
4. La presión en la superficie libre es uniforme y constante
5. El fluido es ideal y no viscoso

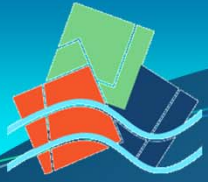


- Hipótesis de la teoría lineal, de primer orden, de pequeña amplitud o de Airy (1845)
 6. El flujo es irrotacional: la partícula no rota sobre sí misma (sólo son importantes las fuerzas normales siendo despreciables las de cortante)
 7. El lecho es fijo, horizontal y se considera como un contorno impermeable, lo que implica que la velocidad vertical en el lecho marino es cero
 8. La amplitud de la onda es pequeña y la forma de la onda no varía ni en el tiempo ni en el espacio
 9. Las ondas son planas con crestas de gran longitud (bidimensionales)



TEORÍA LINEAL

- Las tres primeras hipótesis son válidas para todos los problemas de ingeniería marítima
- En algunos problemas hay que “relajar” la cuarta, quinta y sexta hipótesis
- En muchos problemas de ingeniería marítima hay que “relajar” las tres últimas hipótesis

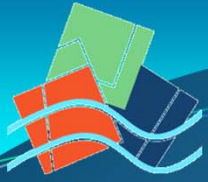


- **Energía del oleaje**

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \left(\text{J/m}^2 \right)$$

- **Flujo de energía del oleaje por unidad de longitud de frente**

$$P = E \cdot C_g \left(\text{W/m} \right)$$



MAREA ASTRONÓMICA

- **Clasificación en función de la amplitud de la marea**
 - **Macromareal: rango de marea superior a 4 m**
 - **Mesomareal: rango de marea superior entre 2 y 4 m**
 - **Macromareal: rango de marea inferior a 2 m**



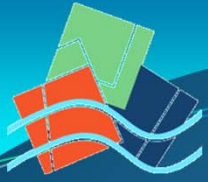
➤ Fourier – armónicos

$$\eta(t) = z_0 + \sum A_i \cdot \cos(\omega_i t - \varphi_i)$$

- z_0 nivel medio del mar
- A_i amplitud del componente
- ω_i frecuencia del componente
- φ_i del componente

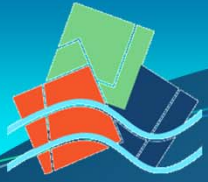


- **Fenómeno de sobreelevación del nivel del agua debido a**
 - **Sobreelevación por fricción de viento (*wind set-up*): acción persistente del viento en una determinada dirección**
 - **Sobreelevación por succión (*storm surge*): existencia de un gradiente de presión en los océanos**



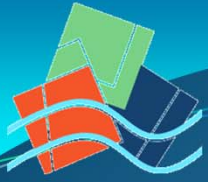
MAREA METEOROLÓGICA

- **Fenómeno de sobreelevación del nivel del agua debido a la acción persistente del viento en una determinada dirección (sobreelevación por fricción o wind set-up) y a la existencia de un gradiente de presiones en los océanos (sobreelevación por succión o storm surge)**
- **Sobreelevación por fricción (wind set-up): fricción del viento sobre la superficie líquida en zonas próximas a la costa**
- **Sobreelevación por succión (storm surge): sobreelevación del nivel del mar en los centros de bajas presiones (ciclones), y descenso del nivel del mar en los centros de altas presiones (anticiclones)**
- **Puede darse un grado de superposición muy elevado entre fenómeno de fricción y succión**



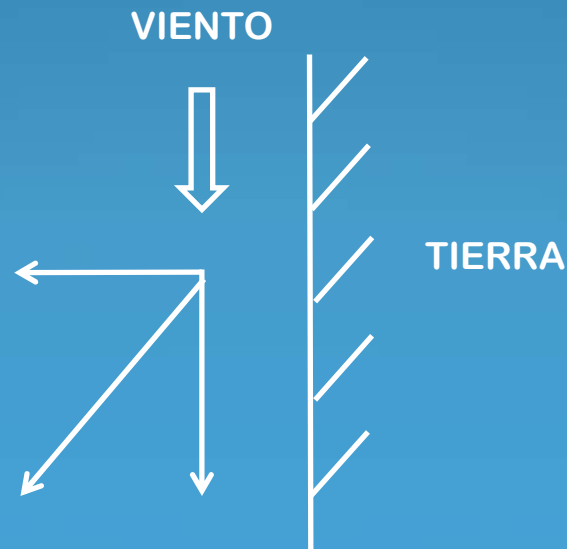
CORRIENTES MARINAS

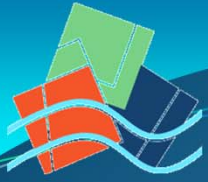
- El viento produce el arrastre del agua al entrar en contacto con la superficie líquida de los océanos
- El viento, por fricción, da lugar a wind set-up en zonas próximas a la costa, pero además produce movimiento
- La profundidad hasta la que se transmite el movimiento de arrastre es variable
- Debido a la acción de la fuerza de Coriolis, la dirección de la corriente varía desde la superficie hasta la capa más profunda, hacia la derecha (en el hemisferio Norte) y cada vez en menor medida (espiral de Eckmann)



CORRIENTES MARINAS

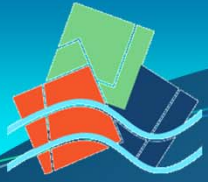
- En caso de viento paralelo a la costa, el efecto Coriolis hace que la corriente se desvíe hacia la derecha (hemisferio Norte, y en mayor o menos medida según la latitud), hay dos componentes, una paralela a la costa y otra perpendicular a ella
- Si no existe ningún fenómeno que contrarreste esta corriente perpendicular a la costa, ésta se quedaría sin agua, pero no ocurre gracias al upwelling





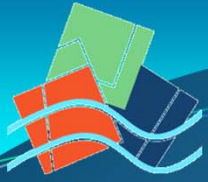
CORRIENTES MARINAS

- El upwelling es la corriente que asciende desde el fondo haciendo emerger aguas profundas (más frías, y generalmente más densas) cargadas de nutrientes, lo que convierte el lugar en zona muy apta para la pesca (ej.: costa de Perú)
- También se generan corrientes como consecuencia de las diferencias de temperatura y salinidad entre distintos puntos (ej.: corrientes en estrechos que comunican mares u océanos diferentes)



Circulación general oceánica

- Una sola corriente da la vuelta a la Tierra, la corriente circumpolar antártica, que circula de W a E en el océano Antártico; arrastra agua fría y manda hacia su izquierda varios ramales entre los que destacan la corriente de las Malvinas (Atlántico Sur) y la de Chile Meridional (sudeste del Pacífico)
- En el Atlántico y en el Pacífico se localizan las corrientes nordecuatorial y sudecuatorial, que circulan de E a W
- La corriente del Golfo es muy importante porque desplaza grandes cantidades de agua caliente y de elevada salinidad; sólo se congela el agua y la misma salinidad ha de diluirse en menos agua; se produce un hundimiento de las aguas, dando lugar a importantes corrientes en profundidad



Corrientes superficiales

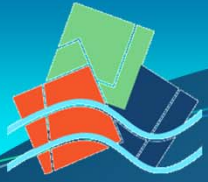
➤ Clasificación

➤ De fricción (rozamiento $\neq 0$)

- Inercia $\neq 0$
- Inercia = 0
 - Presión $\neq 0$ → de pendiente
 - Presión = 0 → de deriva

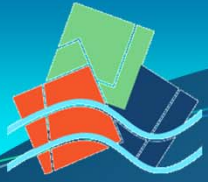
➤ Sin fricción (rozamiento = 0)

- Inercia $\neq 0$ → de gradiente
 - Coriolis = 0 → movimiento ciclostrófico
- Inercia = 0 → geostrófica
- Presión = 0 → de inercia



CORRIENTES DE DENSIDAD

- Las corrientes por debajo del nivel de la espiral de Ekman son debidas fundamentalmente a diferencias de densidad
- Las aguas más densas se mueven hacia el fondo del océano
- Océano estratificado verticalmente
- La salinidad y la temperatura determinan la densidad del agua
- El agua en el fondo del mar es fría y salina
- La mayor parte de esa agua fría y salina se origina en el Atlántico Norte



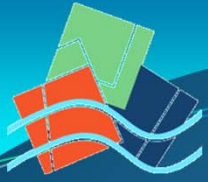
CORRIENTES MARINAS

- **Fuerzas generadoras de las corrientes oceánicas: viento (corrientes superficiales) y gradientes de densidad (corrientes profundas)**

- **Condiciones de contorno en aguas someras**
 - **Marea astronómica**

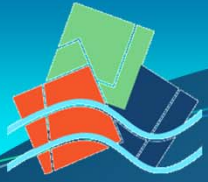
 - **Fricción y batimetría**

 - **Descarga de agua procedente de ríos**



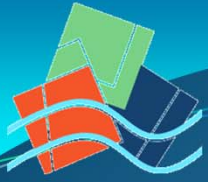
CORRIENTES COSTERAS

- **Las corrientes costeras son bastante diferentes de las oceánicas**
 - **Influencia notable de la fricción y los efectos batimétricos**
 - **Influencia importante de la marea astronómica, que puede llegar a ser la fuerza generador predominante**
 - **Las descargas de agua dulce puede crear grandes diferencias de densidad horizontales y verticales**
 - **Las corrientes están frecuentemente restringidas por el contorno de la costa o la batimetría en aguas someras**



Ciclones tropicales

- Otras denominaciones: ciclones tropicales, huracanes, tifones, tormentas tropicales, etc.
- Fenómenos intensos de corta duración con vientos de velocidades elevadas
- Se deben a causas dinámicas asociadas a inestabilidad térmica
- Una vez formados, los vientos se mueven violentamente en espiral en sentido contrario a las agujas del reloj (en el hemisferio Norte)
- En el centro hay un área de cielos claros y vientos ligeros (ojo del huracán)



Ciclones tropicales

FENÓMENOS DE CARÁCTER CICLÓNICO

- El aire asciende rápidamente, el vapor de agua se condensa liberando gran cantidad de calor latente y se producen las tormentas y lluvias tropicales
- Trayectoria: inicialmente se mueven hacia el oeste pero luego se curvan hacia el polo y viajan después en dirección este
- Al distanciarse de la fuente de calor se desvanecen, desapareciendo su actividad al penetrar en el continente
- No afectan al Atlántico Sur ni al Pacífico Sureste (bajas temperaturas)
- Los vientos generan grandes olas y, con el avance de la tormenta, el mar se vuelve extremadamente confuso