MATERIA
Portos e Costas

TITULACIÓN
Grao en Enxeñaría Civil

unidade didáctica 5

Ensinanzas Técnicas

Análise a longo prazo da ondada

Mario López Gallego,
José Miguel Veigas Méndez,
Rodrigo Carballo Sánchez

Área de Enxeñería Hidráulica
Escola Politécnica Superior

unidadesdidácticas
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA
SERVIZO DE NORMALIZACIÓN LINGÜÍSTICA

Esta obra atópase baixo unha licenza internacional Creative Commons BY-NC-ND 4.0. Calquera forma de reprodución, distribución, comunicación pública ou transformación desta obra non incluída na licenza Creative Commons BY-NC-ND 4.0 só pode ser realizada coa autorización expresa dos titulares, salvo excepción prevista pola lei. Pode acceder Vde. ao texto completo da licenza nesta ligazón:
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.gl

© Universidade de Santiago de Compostela, 2013

Deseño e maquetación
J. M. Gairí

Edita
Edicións USC
https://www.usc.gal/publicacions

DOI
https://dx.doi.org/10.15304/9788415876441

MATERIA: Portos e Costas
TITULACIÓN: Grao en Enxeñaría Civil
PROGRAMA XERAL DO CURSO
Localización da presente unidade didáctica

MÓDULO I: Clima Marítimo
Unidade 1. Vento e xeración das ondas
Introdución
Circulación atmosférica
Caracterización do vento
Xeración das ondas
Previsión da ondada
Unidade 2. Ondas de gravidade
Unidade 3. Mecánica ondulatoria
Introdución
Propagación da ondada
Rotura da ondada
Modelización Numérica
Unidade 4. Análise a curto prazo da ondada
Introdución
Análise no tempo
Análise espectral
Unidade 5. Análise a longo prazo da ondada
Introdución
Caracterización do réxime medio
Caracterización do réxime extremo
Unidade 6. Mareas e niveis do mar

MÓDULO II: Procesos litorais
Unidade 7. Xeomorfoloxía costeira
Unidade 8. Correntes litorais
Unidade 9. Transporte de sedimentos

MÓDULO III: Actuacións no litoral
Unidade 10. Actuacións na costa
Unidade 11. Obras portuarias
Unidade 12. Xestión integrada da zona costeira

ÍNDICE

Presentación

Os obxectivos

A metodoloxía

Os contidos

1. Introdución
   1.1. Xeneralidades
   1.2. Datos de partida
2. Caracterización do réxime medio
   2.1. Definición e obxectivo
   2.2. Función de distribución
   2.3. Operatividade portuaria
3. Caracterización do réxime extremo
   3.1. Definición e obxectivo
   3.2. Selección de temporais
   3.3. Función de distribución
   3.4. Período e altura significantes de retorno
   3.5. Período e altura significantes de retorno
   3.6. Altura significante de deseño

Actividades propostas

Avaliación da UD

Bibliografía

PRESENTACIÓN

A presente Unidade Didáctica, *Análise a longo prazo da ondada*, encádrase dentro do Módulo I (Clima Marítimo) da materia de *Portos e Costas* do *Grao de Enxeñería Civil*. Neste primeiro módulo trátase a caracterización dos axentes climáticos que condicionan os procesos litorais e o deseño das actuacións no litoral, estes son: o vento, as ondas e as mareas. Seguidamente, no Módulo II (Procesos litorais) expóñense os principais procesos naturais que teñen lugar na costa e que determinan a xeomorfoloxía e a dinámica costeira. Finalmente, no Módulo III (Actuacións no litoral) abórdanse as diferentes tecnoloxías propias da enxeñaría de costas e portos.

A ondada é un dos axentes climáticos máis significativos e complexos á hora de deseñar calquera actuación na costa. Para abordar o tema con suficiente grao de detalle, dedícanselle varias Unidades Didácticas na materia de *Portos e Costas*. Ó longo da Unidade Didáctica I defínese o seu mecanismo de xeración. Posteriormente, ó longo das Unidades II e III defínense os mecanismos físicos que interveñen na súa transformación e propagación cara a costa. Finalmente, nas Unidades IV e V trátanse as principais técnicas de análise que axudan á súa descrición e caracterización, necesarias para determinar as accións de cálculo nun proxecto de enxeñería de costas e portos.

Unha vez definidas na unidade anterior as técnicas que determinan as características da ondada a curto prazo, esta Unidade dedícase ás técnicas de análise a longo prazo da ondada. Os contidos que aquí se desenvolven son necesarios para que o alumnado poida definir e/ou interpretar os réximes medio e extremo das ondas nunha localización determinada. Ó mesmo tempo, o alumnado adquirirá o coñecemento necesario para a resolución de dous problemas de enxeñería típicos: a estimación da operatividade portuaria e a estimación da ondada de proxecto dunha obra marítima.

A Unidade Didáctica desenvólvese nun total de sete (7) horas ECTS (Sistema Europeo de Transferencia de Créditos), repartidas en tres clases expositivas e catro interactivas. Ó longo das tres horas expositivas, preséntanse os principais contidos teóricos. As catro horas interactivas restantes dedícanse a seminarios interactivos que se van desenvolver en aulas de informática, durante os cales se aplican os coñecementos teóricos adquiridos a varios casos prácticos mediante técnicas informáticas.

OS OBXECTIVOS

Posto que a partires da análise a longo prazo da ondada se definen os parámetros e as accións básicos que rexen o deseño dunha actuación no litoral, o obxectivo principal desta Unidade é que o alumnado comprenda e interprete tanto o réxime

medio coma o réxime extremo das ondas. Os obxectivos secundarios que se derivan son:

— **obxectivo 1,** coñecer os fundamentos da análise a longo prazo da ondada;

— **obxectivo 2,** caracterizar o réxime medio da ondada a partires de rexistros paramétricos de estados de mar;

— **obxectivo 3,** caracterizar o réxime extremo da ondada a partires de rexistros paramétricos de estados de mar;

— **obxectivo 4,** determinar a operatividade portuaria en base ó réxime medio da ondada;

— **obxectivo 5,** determinar a ondada de deseño dunha obra marítima en base o réxime extremo da ondada.

A METODOLOXÍA

Ó longo desta Unidade Didáctica conxúganse métodos didácticos afirmativos con métodos didácticos de elaboración. A continuación expóñense os métodos e os contidos abordados en cada unha das sesións dunha hora de duración que se contemplan para esta Unidade.

Os principios teóricos e os contidos fundamentais trátanse nas tres clases expositivas. Na primeira sesión, interrógase ó alumnado e foméntase o debate sobre os posibles xeitos de afrontar a análise a longo prazo da ondada. Nas seguintes dúas sesións teóricas, o profesorado expón os contidos teóricos necesarios para a caracterización do réxime medio e do réxime extremo, empregado unha hora para cada un. Ó remate de cada unha destas dúas sesións, aplícanse os contidos teóricos na resolución de sinxelos casos prácticos.

Durante as catro horas de seminarios interactivos, o alumnado resolve casos prácticos nos que analiza varios rexistros históricos de parámetros a curto prazo da ondada para obter os réximes medio e extremo da ondada. Os datos serán facilitados polo profesor ou profesora e, na medida do posible, serán reais, de xeito que o alumnado teña sempre presente a utilidade das técnicas aprendidas. Posto que será preciso empregar follas de cálculo ou ben programas matemáticos para a resolución dos casos prácticos, os seminarios realizaranse nas aulas de informática do centro. O profesorado supervisará o traballo do alumno resolvendo todas aquelas cuestións teóricas que poidan xurdir durante a súa resolución. Finalmente, o alumnado deberá realizar durante as horas non presenciais un informe de resultados final que deberá ser entregado dentro dun prazo máximo preestablecido. A claridade, a exactitude, o contido e a estrutura do informe serán avaliados e contabilizados na cualificación final dos alumnos e alumnas.

OS CONTIDOS

1. Introdución

1.1. Xeneralidades

Como xa se apuntou nas Unidades Didácticas anteriores, a ondada é un fenómeno que evoluciona no tempo e no espazo. Na Unidade Didáctica anterior introduciuse o concepto de estado de mar, os cales poden ser caracterizados mediante uns poucos parámetros (descritores a curto prazo). Aplicando as técnicas de análise a curto prazo podemos simplificar os rexistros da ondada, pasando de longas series temporais da evolución da superficie libre, a unha sucesión de estados de mar caracterizados por uns poucos parámetros.

Cada estado de mar é comunmente caracterizado cunha dupla de parámetros característicos do mesmo: unha altura e un período. Os parámetros máis comúns son a altura significante, H_s, e o período de pico, T_p, aínda que tamén se poden considerar outros parámetros xa descritos na Unidade 4. Ademais, para ter en conta a direccionalidade da ondada, considérase en moitos casos un parámetro representativo da mesma, como pode ser a dirección media de procedencia das ondas, Θ_m. Na Figura 1 ilústrase un exemplo de serie temporal de valores de H_s dun ano de duración para unha situación da costa en concreto.

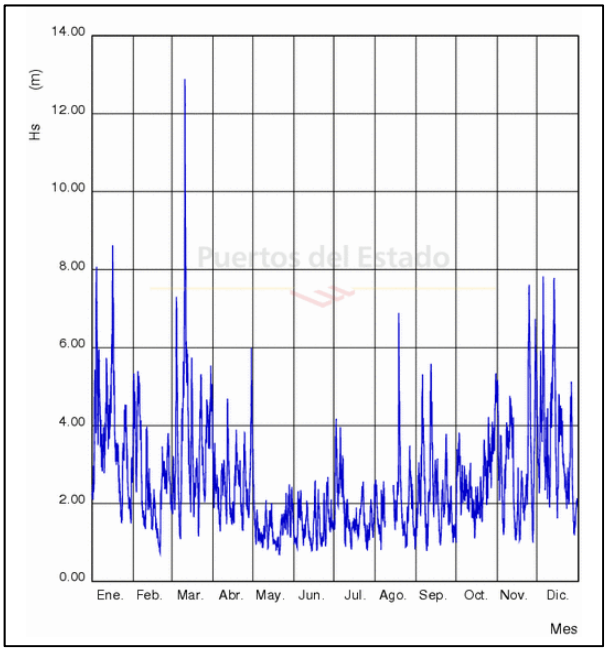

Figura 1: Exemplo de rexistro anual da H_s nun punto do mar nas proximidades de Estaca de Bares (Puertos del Estado).

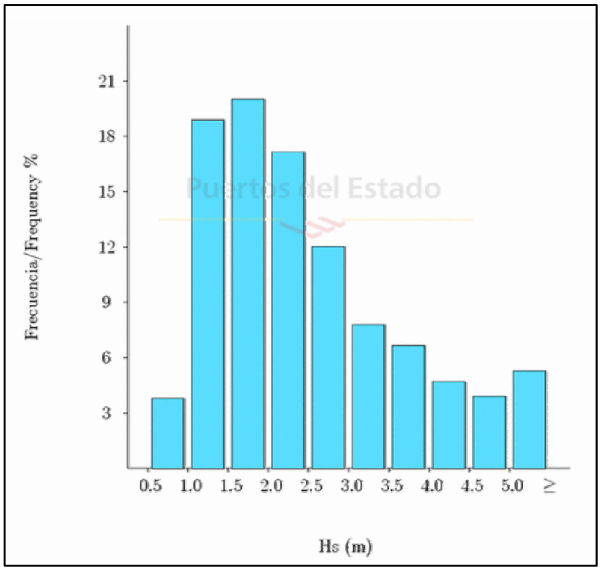

Figura 2: Histograma de H_s correspondente á serie temporal da Figura 1 (Puertos del Estado).

A partires da serie temporal dun ou varios parámetros da ondada pódese determinar a súa frecuencia de ocorrencia. Para iso elabóranse histogramas como o da Figura 2, que corresponde á serie temporal da Figura 1. Por exemplo, nese ano e para ese punto do mar en concreto, as alturas significantes máis comúns foron as comprendidas entre 1.5 e 2 m, representando máis do 18% dos estados de mar.

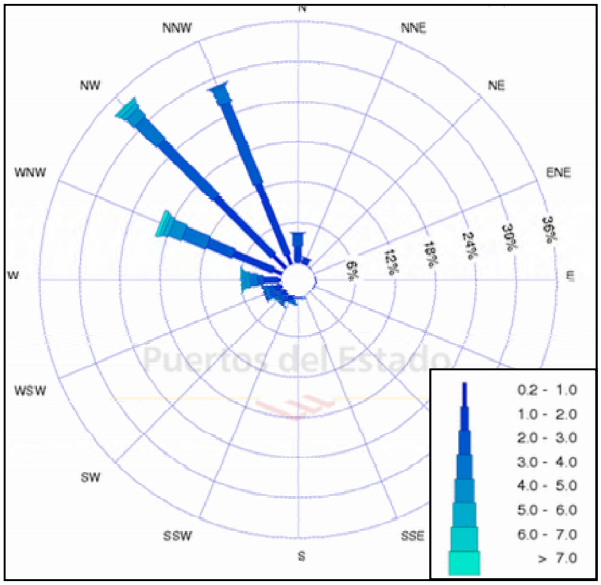

Figura 3: Rosa de ondada, con H_s en m (Puertos delEstado).

Se dispoñemos dun rexistro suficientemente longo, pódese efectuar tamén unha avaliación da estacionalidade dos parámetros da ondada, é dicir, como varía a probabilidade de ocorrencia dos mesmos de acordo á estación ou o mes do ano que consideremos. Por exemplo, pódese observar na Figura 1 que, para ese ano e esa situación, os maiores valores da altura significante se producen nos meses do outono e do inverno.

Outra análise que podemos facer é o estudo da frecuencia de ocorrencia dun parámetro en función doutro ó longo dun período de tempo dado. Por exemplo, pódense estudar conxuntamente as alturas e períodos ou as alturas e as direccións de procedencia da ondada. O máis común é estudar as alturas en función doutros parámetros, posto que estas son representativas da enerxía das ondas.

As rosas de ondada coma a da Figura 3 son unha representación gráfica da distribución das alturas en función das direccións da ondada. A partir da rosa media de ondada podemos definir cal é a dirección reinante e a dirección dominante da ondada nun determinado lugar do mar. A dirección dominante da ondada será a correspondente ós estados de mar con maiores alturas, mentres que a dirección reinante da ondada será a máis repetida entre tódolos estados de mar rexistrados. Por exemplo, para o lugar e o período de tempo correspondentes á rosa de ondada da Figura 3, pódese dicir que a dirección reinante é a NW (noroeste) e a dirección dominante a WNW (oeste-noroeste).

Unha vez que dispoñemos dos rexistros históricos dos parámetros da ondada nunha localización dada, coa análise das ondas a longo prazo determínase a probabilidade de ocorrencia deses parámetros (tanto de forma individual coma conxunta). Axustando eses datos a unha distribución teórica coñecida, en lugar de empregar o histograma, pódese obter unha expresión compacta que suaviza e interpola a información proporcionada polo histograma.

Figura 4: Boia para a medición das ondas.

1.2. Datos de partida

Existen basicamente tres fontes de datos das que podemos obter rexistros a longo prazo das ondas:

— datos visuais,

— datos instrumentais e

— modelos de previsión.

Os datos visuais son estimados mediante observación por membros da tripulación dos buques e rexistrados ó longo das súas travesías. Teñen dúas limitacións importantes e polas que hoxe en día están en desuso. A primeira é a evidente falta de exactitude dos resultados. A segunda é a limitación espacial dos datos, posto que estes se rexistren ás principais vías de navegación, quedando fóra dos rexistros aquelas localizacións máis afastadas.

Os datos instrumentais proveñen da medida indirecta das ondas in situ mediante dispositivos especialmente deseñados para este fin. Entre os principais instrumentos que se empregan atópanse: os sensores de presión, as boias (coma a da Figura 4) e os sensores de ultrasóns. Estes datos pódense obter de campañas de campo de duración determinada levadas a cabo cun fin concreto ou ben de redes de medida permanentes. En España, o ente público Puertos del Estado dispón de dúas redes de medida: REDEXT e REDCOS, mediante as que se rexistran de forma permanente os parámetros da ondada en diferentes puntos da costa.

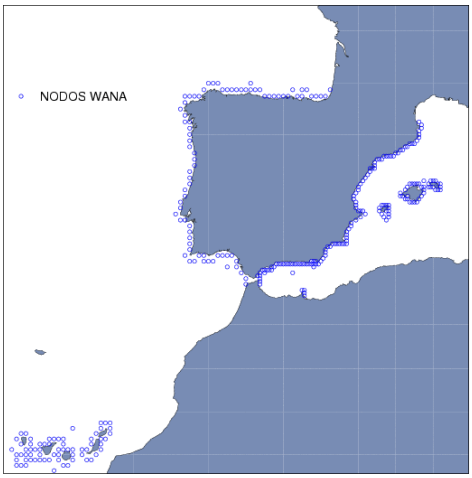

Figura 5: Nodos da rede WANA (Puertos del Estado).

Os modelos de previsión permiten simular mediante métodos numéricos a xeración e a transformación das ondas a partir de datos meteorolóxicos. Os resultados obtidos non son datos de observación, polo que a súa precisión e efectividade non está garantida ó cen por cen. Non obstante, empréganse datos de observación para calibrar e validar os modelos, co cal se pode reducir a súa incerteza. Teñen unha vantaxe moi importante que é a posibilidade de dispor de datos nunha extensión moi ampla sen necesidade de incorrer nun elevado custo.

Puertos del Estado dispón de dous conxuntos de datos da ondada obtidos mediante modelado: os conxuntos WANA e SIMAR-44 (na Figura 5 móstranse os nodos da rede WANA para os que hai datos dispoñibles). En Galicia e no Norte de Portugal tamén se dispón deste tipo de datos facilitados polo RAIA - Observatorio Oceanográfico Da Marxe Ibérica.

2. Caracterización do réxime medio

2.1. Definición e obxectivo

Pódese definir o réxime medio (de altura de onda) como a relación entre os diversos valores da variable altura de onda coa probabilidade de que ditos valores non sexan superados no ano climático medio. Se consideramos indistintamente os estados de mar de tódalas direccións de procedencia, falaremos de réxime medio escalar. Pola contra, se consideramos exclusivamente os estados de mar correspondentes a un sector direccional, estaremos a falar do réxime medio direccional.

A análise dos réximes medios de ondas axúdanos a definir, por exemplo:

— a operatividade dun porto,

— os procesos litorais.

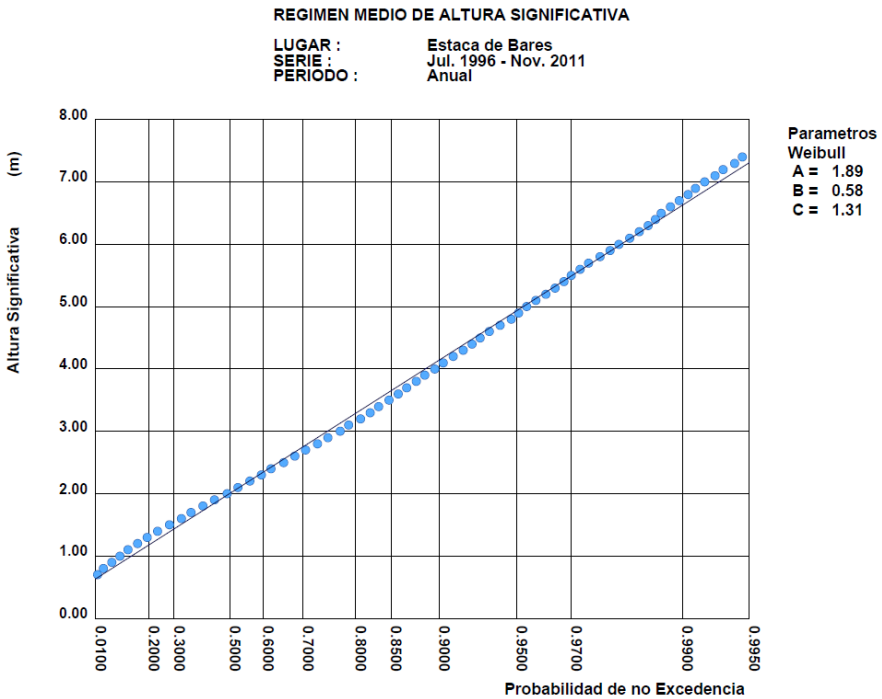

Figura 6: Exemplo de axuste da probabilidade de non excedencia de H_s a unha función de distribución tipo Weibull.

2.2. Función de distribución

A función de distribución máis habitual para as alturas significantes (H_s) en réximes medios é a de Weibull triparamétrica, pola que a probabilidade de non excedencia dun valor x é:

$$P(H_s \leq x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-B}{A}\right)^C\right],$$

onde: B é o parámetro de centrado e ten que ser menor que o menor dos valores axustados; A é o parámetro de escala e, polo tanto, cumpre $A > 0$; e C é o parámetro de forma, $C \in (0.5\text{-}3.5)$.

2.3. Operatividade

A operatividade defínese como a capacidade dunha instalación de funcionar sen limitacións, non véndose afectada a súa explotación polas condicións ambientais. Os principais axentes ambientais que poden determinar a operatividade dunha instalación portuaria son as correntes, o vento e as ondas. Estes axentes presentan valores límites de explotación para as súas accións (a velocidade da corrente, a velocidade do vento ou a altura de onda), que toman distintos valores dependendo do tipo de operación (atraque, carga e descarga, ...) e do tipo de buque en cuestión. Superados os valores límite, as operacións portuarias deberán ser paralizadas ou ó menos limitadas. O cumprimento destes criterios garante a seguridade do porto e unha adecuada xestión económica do mesmo.

Na Táboa 1 preséntanse as condicións límite de operación propostas na ROM 3.1/99 para vento, correntes e ondada. Sabendo os valores límite operativos e o réxime medio da ondada, podemos calcular a porcentaxe de tempo anual ou número de horas que unha área de navegación é operativa debido a ondada (para o resto dos axentes, o proceso sería similar). Bastaría con obter a probabilidade de non excedencia nun ano medio da altura de onda significante límite.

O número total de horas anuais e/ou mensuais no que unha área portuaria pertence pechada por condicións ambientais adversas non debe ser excesivo, dependendo do tipo de porto e do tipo de área portuaria. A ROM 3.1/99 presenta uns valores límite para este número de horas que se presentan na Táboa 2.

3. Caracterización do réxime extremo

3.1. Definición e obxectivo

A seguridade dunha instalación na costa pode estar condicionada pola acción das ondas en situación de temporal (situacións baixo as que a altura de onda alcanza valores pouco frecuentes). Co fin de delimitar o risco que corre unha instalación, cómpre estimar a frecuencia coa que se presentan temporais que superan certos valores da altura de onda.

Táboa 1: Condicións límites de operación de buques en peiraos e pantaláns. Fonte: ROM 3.1/99.

	$V_{10.1min}$	$V_{c.1min}$	H_s
Atraque de buques			
— Accións en sentido lonxitudinal	17 m/s	1.0 m/s	2.0 m
— Accións en sentido transversal	10 m/s	0.1 m/s	1.5 m
Paralización operacións de carga e descarga (para equipos convencionais)			
— Accións en sentido lonxitudinal			
• Petroleiros			
< 30 000 TPM	22 m/s	1.5 m/s	1.5 m
30 000 – 200 000 TPM	22 m/s	1.5 m/s	2.0 m
> 200 000 TPM	22 m/s	1.5 m/s	2.5 m
• Graneleiros			
Cargando	22 m/s	1.5 m/s	1.5 m
Descargando	22 m/s	1.5 m/s	1.0 m
• Gaseiros			
< 60 000 m^3	22 m/s	1.5 m/s	1.2 m
> 60 000 m^3	22 m/s	1.5 m/s	1.5 m
• Mercantes de carga xeral, pesqueiros de	22 m/s	1.5 m/s	1.0 m
• Portacontedores, RO-ROs y Ferries	22 m/s	1.5 m/s	0.5 m
• Transatlánticos e Cruceiros	22 m/s	1.5 m/s	0.5 m
• Pesqueiros de pesca fresca	22 m/s	1.5 m/s	0.5 m
— Acciones en sentido transversal			
• Petroleiros			
< 30 000 TPM	20 m/s	0.7 m/s	1.0 m
30 000 – 200 000 TPM	20 m/s	0.7 m/s	1.2 m
> 200 000 TPM	20 m/s	0.7 m/s	1.5 m
• Graneleiros			
Cargando	22 m/s	0.7 m/s	1.0 m
Descargando	22 m/s	0.7 m/s	0.8 m
• Gaseiros			
< 60 000 m^3	16 m/s	0.5 m/s	0.8 m
> 60 000 m^3	16 m/s	0.5 m/s	1.0 m
• Mercantes de carga xeral, pesqueiros de	22 m/s	0.7 m/s	0.8 m
• Portacontedores, RO-ROs e Ferries	22 m/s	0.5 m/s	0.3 m
• Transatlánticos e Cruceiros	22 m/s	0.5 m/s	0.3 m
• Pesqueiros de pesca fresca	22 m/s	0.7 m/s	0.4 m
Permanencia de buques en peirao			
— Acciones en sentido lonxitudinal			
• Petroleiros e Gaseiros	30 m/s	2.0 m/s	3.0 m
• Transatlánticos e Cruceiros	22 m/s	1.5 m/s	1.0 m
• Embarcacións deportivas	22 m/s	1.5 m/s	0.4 m
— Acciones en sentido transversal			
• Petroleiros e Gaseiros	25 m/s	1.0 m/s	2.0 m
• Transatlánticos e Cruceiros	22 m/s	0.7 m/s	0.7 m
• Embarcacións deportivas	22 m/s	0.7 m/s	0.2 m

$V_{10.1min}$ = Vel. media vento (10 m altura e refacho de 1 min); $V_{c.1min}$ = Vel. media corrente (profundidade 50% do calado do buque, en 1 min); H_s = Altura significante da ondada.

Pódese definir o réxime extremo de alturas de onda como a relación entre os valores máximos previsibles de altura de onda coa probabilidade de que ditos valores non sexan superados nun ano; é dicir, a función de distribución dos valores extremos da variable altura de onda. O seu obxectivo está enfocado á obtención das accións de proxecto das obras marítimas, especialmente das obras de abrigo.

Táboa 2: Tempos medios aceptábeis de peche dunha área por presentarse condicións climáticas adversas (superiores ás establecidas como límites de operación para os buques de proxecto). Fonte: ROM 3.1/99.

Características da área	Tempos de inoperatividade	
Áreas de buques en tránsito (accesos, canais, bocanas, áreas de manobras, ...)		
— Portos de interese xeral		
• Áreas abertas a todo tipo de barcos	200 h. ano	20 h. mes
• Áreas abertas a embarcacións pesqueiras e deportivas	20 h. ano	4 h. mes
— Portos de refuxio		
• Áreas abertas a todo tipo de barcos	300 h. ano	30 h. mes
• Áreas abertas a embarcacións pesqueiras e deportivas	20 h. ano	4 h. mes
— Outros portos	400 h. ano	40 h. mes
— Terminais especializadas		
• Terminais con liñas regulares	200 h. ano	20 h. mes
• Terminais sen liñas regulares	600 h. ano	60 h. mes
Áreas de buques en permanencia (dársenas, peiraos, atraques, terminais, ...)		
— Portos de calquera tipo	40 h. ano	20 h. mes
— Terminais especializadas		
• Terminais con liñas regulares	200 h. ano	20 h. mes
• Terminais sen liñas regulares	500 h. ano	50 h. mes

3.2. Selección de temporais

Un método posible para a análise de sucesos extremos (temporais) é analizar os máximos anuais observados ó longo dunha serie de anos. Desta forma teríamos un número de temporais identificados igual ó número de anos do rexistro. Non obstante, como non é frecuente dispoñer de rexistros de ondas moi longos, este método non resulta moi satisfactorio.

Para resolver este inconveniente, emprégase o método "Pico por Riba do Límite" ou, máis comunmente coñecido, método POT (do inglés *Peak Over Threshold*). Este método considera como temporais a tódolos sucesos que superan un limiar predeterminado da altura significante, H_l. Ademais, impón un intervalo de tempo mínimo entre dous temporais consecutivos para que sexan considerados independentes. Defínese λ coma o número medio de temporais que se presentan nun ano.

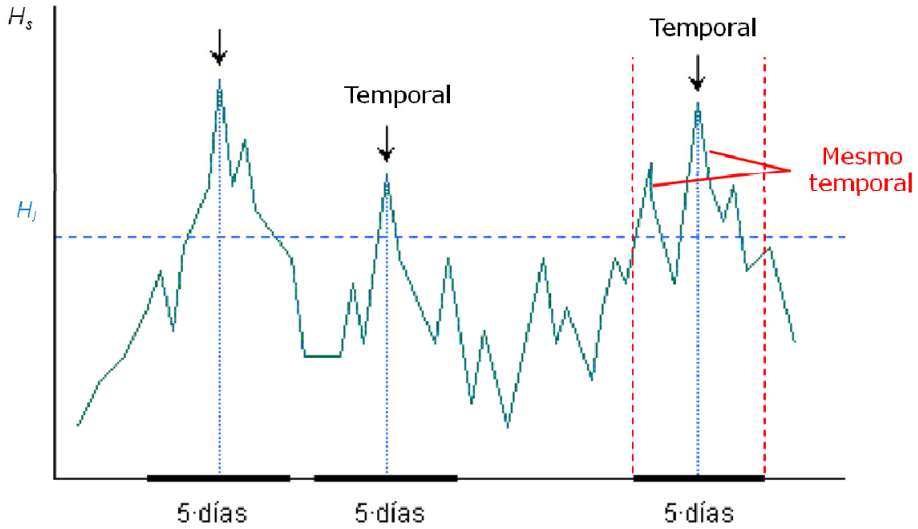

Figura 7. Exemplo de aplicación esquematizado do método POT, polo que se definen 3 temporais cun intervalo mínimo de 5 días.

3.3. Función de distribución

Igual que no caso do réxime medio, unha vez identificados e caracterizados os temporais que se produciron ó longo dunha serie histórica de rexistros de alturas significantes, o réxime extremo das alturas significantes pode ser caracterizado pola función de distribución de Weibull triparamétrica.

3.4. Altura significante e período de retorno

O número de anos que de media transcorren entre temporais que superan un certo valor da altura significante, denomínase período de retorno, T_r, asociado a esa altura de retorno H_r (non confundir este período cos períodos das ondas).

A probabilidade de excedencia dun suceso en T_r anos pode expresarse:

$$P(H_s > H_r) = \frac{1}{\lambda T_r}.$$

Asumindo a distribución de Weibull, temos que:

$$P(H_s > H_r) = exp\left[-\left(\frac{H_r - B}{A}\right)^C\right] = \frac{1}{\lambda T_r}.$$

Combinando as dúas expresións anteriores pódese chegar a que:

$$H_r = B + A\left[ln(\lambda T_r)\right]^{1/C}.$$

3.5. Período de pico asociado a temporais

Para réxime extremo, unha vez seleccionados os temporais, establécese unha relación empírica entre o período de pico, T_p, e a altura significante das ondas axustando por mínimos cadrados a fórmula do tipo:

$$E(T_p) = aH_s^{\,c}$$

Onde: $E(T_p)$ é o valor estimado ou probable para un temporal de altura significante H_s; e a máis c son os parámetros a obter do axuste.

TIPO DE OBRA O INSTALACIÓN	NIVEL DE SEGURIDAD REQUERIDO		
	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL	25	50	100
DE CARÁCTER INDUSTRIAL ESPECÍFICO	15	25	50

LEYENDA:

INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL:
Obras de carácter general; no ligadas a la explotación de una instalación industrial o de un yacimiento concreto.

DE CARÁCTER INDUSTRIAL ESPECIFICO:
Obras al servicio de una instalación industrial concreta o ligadas a la explotación de recursos o yacimientos de naturaleza transitoria (por ejemplo, puerto de servicio de una industria, cargadero de mineral afecto a un yacimiento concreto, plataforma de extracción de petróleo,...).

NIVEL 1:
Obras e instalaciones de interés local o auxiliares.
Pequeño riesgo de pérdidas de vidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura.
(Obras de defensa y regeneración de costas, obras en puertos menores deportivos, emisarios locales, pavimentos, instalaciones para manejo y manipulación de mercancías, edificaciones,...).

NIVEL 2:
Obras e instalaciones de interés general.
Riesgo moderado de pérdidas de vidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura.
(Obras en grandes puertos, emisarios de grandes ciudades, ...).

NIVEL 3:
Obras e instalaciones de protección contra inundaciones o de carácter supranacional. Riesgo elevado de pérdidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura.
(Defensa de núcleos urbanos o bienes industriales, ...).

Figura 8. Vidas útiles mínimas para as obras ou instalacións de carácter definitivo (en anos), extraído da ROM 02/90.

3.6. Altura significante de deseño

A altura de onda significante de deseño dunha instalación costeira, H_d, está determinada polo grao de seguridade co que se proxecta a obra. Á súa vez, o grao de seguridade da instalación ben determinado polos custos económicos e sociais dun posible faio da mesma. Para poder definir o valor de H_d é preciso introducir dous conceptos: a vida útil e o risco admisible.

A vida útil (L) é o tempo durante o cal é necesario garantir a permanencia en servizo dunha instalación. O seu valor dependerá do carácter da infraestrutura e do nivel de seguridade requirido. Estas dúas variables son cualitativas, polo que a ROM 02/90 estipula os seus valores nunha táboa, a cal se acompaña na Figura 8.

O risco admisible (E) é a probabilidade de que ó menos un temporal supere a altura de deseño dentro da vida útil e exprésase como:

$$E = 1 - \left(1 - \frac{1}{\lambda T_r}\right)^{\lambda L}.$$

O seu valor tamén se pode determinar en función de:

— o risco de iniciación de avarías na infraestrutura ou de destrución total da mesma,

— a repercusión económica se a instalación se chega a inutilizar, e

— a posibilidade de perdas humanas.

A ROM 02/90 recomenda uns valores para o valor de E en función distes tres criterios, os cales se amosan na Figura 9.

Para obter a altura significante de deseño temos que seguir o seguinte procedemento:

1º, calcular o réxime extremo das ondas;

2º, definir un risco admisible e unha vida útil;

3º, calcular o período de retorno tendo en conta E, L e λ;

4º, obter, mediante o réxime extremo, a altura significante de retorno correspondente ao período de retorno obtido. Esta altura será a nosa altura significante de deseño. Poderemos ademais obter o seu período de pico asociado, coa fórmula exposta no apartado anterior.

Se os datos empregados para realizar a análise extrema se corresponden cos datos no emprazamento, diremos que obtemos a altura de deseño no emprazamento. Porén, non sempre dispoñemos dos datos históricos no emprazamento, polo que moitas veces temos que acudir ós datos en augas profundas. Nese caso, a altura de deseño no emprazamento non se corresponde coa altura de deseño en augas profundas, posto que como se viu nas Unidades anteriores, a ondada transfórmase na súa propagación cara a costa. Teranse que estudar, mediante a simulación da propagación das ondas, cales son aqueles estados de mar en augas profundas que se corresponden cos estados de mar máis desfavorables no emprazamento. Para iso temos que ter en conta a direccionalidade da ondada e tamén as variacións do nivel medio do mar, que poden afectar ás propagacións. Finalmente, realizarase unha análise estatística multivariable que determine a altura de onda de deseño no emprazamento.

a) RIESGO DE INICIACIÓN DE AVERÍAS

		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACION DE LA OBRA.	BAJA	0,50	0,30
	MEDIA	0,30	0,20
Indice : $\frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$	ALTA	0,25	0,15

b) RIESGO DE DESTRUCCIÓN TOTAL

		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA.	BAJA	0,20	0,15
	MEDIA	0,15	0,10
Indice r : $\frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$	ALTA	0,10	0,05

Se adoptará como riesgo máximo admisible el de iniciación de averías o el de destrucción total según las características de deformabilidad y de posibilidad o facilidad de reparación de la estructura resistente.
Para obras rígidas o de rotura frágil sin posibilidad de reparación se adoptará el riesgo de destrucción total.
Para obras flexibles, semirrígidas o de rotura en general reparable (daños menores que un nivel prefijado función del tipo estructural) se adoptará el riesgo de iniciación de averías.
En este tipo de obras podrá adoptarse también el riesgo de destrucción total, definiendo para cada tipo estructural el nivel de daños aceptado como de destrucción total. La acción resultante se considerará como accidental.

EYENDA:

POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS

— Reducida: Cuando no es esperable que se produzcan pérdidas humanas en caso de rotura o daños

— Esperable: Cuando es previsible que se produzcan pérdidas humanas en caso de rotura o daños.

REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASÓ DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA

$$\text{Indice } r = \frac{\text{Coste de pérdidas directas e indirectas}}{\text{Inversión}}$$

— BAJA: $r \leq 5$
— MEDIA: $5 < r \leq 20$
— ALTA: $r > 20$

Figura 9. Riscos máximos admisibles en fase de servicio e condicións extremas, extraído da ROM 02/90.

ACTIVIDADES PROPOSTAS

Durante as horas expositivas, o profesor ou a profesora expoñerá e resolverá sinxelos casos prácticos nos que se aplican os contidos teóricos da Unidade Didáctica. Nalgúns casos pode que se requira da participación do alumnado ou se propoñan pequenos cálculos que estimulen a atención e melloren a aprendizaxe dos alumnos e alumnas.

Ademais, propóñense dúas actividades prácticas para á súa resolución por parte do alumnado. Estas actividades teñen como fin a maduración dos coñecementos teóricos expostos durante as clases expositivas, pero tamén pretenden familiarizar ó alumnado cos procedementos necesarios para a aplicación da análise a longo prazo da ondada. Para dar continuidade e coherencia os contidos das diferentes Unidades Didácticas da materia, parte das metodoloxías necesarias para a resolución destas actividades corresponden a Unidades Didácticas anteriores.

Na primeira práctica aplicaranse os contidos da Unidade Didáctica referentes ó réxime medio da ondada e consistirá en:

— Obter o réxime medio direccional para unha localización en augas profundas a partires dos rexistros históricos de parámetros da ondada.

— Obter os valores da altura de onda en augas profundas que limitan a operatividade dunha dársena portuaria próxima. Terase en conta a batimetría da área costeira e tódolos procesos de transformación da ondada dende augas profundas ata a costa.

— Estimar a operatividade debido á ondada da dársena.

— Elaboración dun informe que inclúa tanto os resultados obtidos coma as metodoloxías aplicadas.

Na segunda práctica aplicaranse os contidos da Unidade Didáctica referentes ó réxime extremo da ondada e consistirá en:

— Identificar, co método POT, os temporais (sucesos excepcionais) dentro dun rexistro de alturas significativas da ondada.

— Caracterizar e tabular os temporais identificados cos seus parámetros da ondada correspondentes.

— Axustar a probabilidade de excedencia a unha función de distribución de Weibull.

— Estimar a altura de deseño no emprazamento a partires do réxime extremo obtido para unha instalación cunhas características dadas.

— Elaboración dun informe que inclúa tanto os resultados obtidos coma as metodoloxías aplicadas.

Estes supostos prácticos será resoltos, na medida do posible, durante as horas de seminarios interactivos baixo a supervisión do profesorado. Empregaranse medios informáticos para a súa resolución, polo que os seminarios terán lugar nunha aula de informática do centro. Todo o material necesario será proporcionado polo profesorado no seu debido momento. Os informes serán elaborados polo alumnado durante as horas non presenciais e presentados en formato dixital antes dunha data previamente anunciada.

AVALIACIÓN DA UNIDADE DIDÁCTICA

A avaliación desta Unidade Didáctica faise conxuntamente co resto da materia de forma continuada. Os aspectos avaliados e os criterios e instrumentos empregados, así como o seu valor na cualificación final dos alumnos e alumnas recóllense na táboa que se acompaña.

Aspectos	Criterios	Instrumento	Valor (%)
Clases expositivas	- Asistencia - Coñecementos teóricos	- Folla de sinaturas	20
Seminarios Interactivos	- Asistencia - Participación - Capacidade de traballo en grupo - Formulación e resolución de exercicios e problemas	- Folla de sinaturas - Entrega de problemas e exercicios	40
Exame	- Coñecementos teóricos - Formulación e resolución de exercicios e problemas	- Proba escrita	40

BIBLIOGRAFÍA

PUERTOS DEL ESTADO (2009): *ROM 1.0-09 Recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo*

PUERTOS DEL ESTADO (1999). *ROM 3.1-99: Proyecto de la configuración marítima de los puertos, canales de acceso y áreas de flotación*. Puertos del Estado, 2000.

PUERTOS DEL ESTADO (1991): *ROM 0.3-91 Acciones Medioambientales I: Oleaje.*

PUERTOS DEL ESTADO (1990). *ROM 0.2-90: Acciones al proyectar Obra Marítima y Portuaria*. Puertos del Estado, 1994.

GŌDA, Y. (2010): *Random seas and design of maritime structures*. World Scientific Publishing Company Incorporated, 2010.

KAMPHUIS, J. W. (2000): *Introduction to Coastal Engineering and Management.* World Scientific Publishing Company Incorporated.

KINSMAN, B. W. (2002): *Wind Waves.* Dover Publications

unidadesdidácticas
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Unha colección orientada a editar materiais docentes de calidade e pensada para apoiar o traballo do profesorado e do alumnado de todas as materias e titulacións da universidade

USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA
VICERREITORÍA DE ESTUDANTES, CULTURA E FORMACIÓN CONTINUA