

6. RECOMENDACIONES PARA OBRAS MARÍTIMAS BASADAS EN LA ROM 0.2-90

Una vez obtenidos y estudiados los resultados se puede proceder a su utilización mediante las recomendaciones oportunas para la realización de obras marítimas.

El objetivo de esta tesina era la caracterización del oleaje extremal en la costa catalana, para conocer así las acciones a las que han de estar sometidas las obras en nuestro litoral. El factor más importante de estas acciones es, sin duda, el oleaje. Cualquier obra marítima ha de soportar durante su vida útil los efectos que produce el impacto de las olas sobre ella. Cuando se produce un temporal este impacto puede llegar a ser importante, pudiendo provocar en la estructura desperfectos considerables y en el peor de los casos la destrucción de la misma.

En el cálculo de las obras marítimas el parámetro más importante es la altura de ola, por esto es tan necesario conocer con la mayor seguridad que sea posible la altura de ola de diseño a la que debe ser resistente una determinada estructura marítima. Esta altura de diseño varía en función del periodo de retorno considerado, como se ha demostrado con los resultados de la tesina. Esta variación nos plantea un nuevo problema: la elección del periodo de retorno.

Una primera aproximación al problema de seleccionar este valor de periodo de retorno sería hacerlo equivalente a la vida útil (L) que tiene asociada la obra. La norma ROM 0.2-90 define como vida útil de una estructura al periodo de tiempo que va desde la completa instalación de la estructura hasta su inutilización, desmontaje o cambio de uso. Este periodo también se denomina fase de servicio que, sumado a la fase de construcción (periodo que va desde el comienzo de la construcción de la estructura hasta su entrada en servicio) forman la denominada vida de proyecto. Esta aproximación no se admite como válida porque existe una probabilidad muy elevada de que se exceda un determinado valor de Hs en los Nt temporales registrados en los N años. Así pues, se propone el uso del concepto de riesgo (E) para determinar las acciones de cálculo definido como la probabilidad de que por lo menos una vez exista un temporal mayor durante los L años de vida útil del proyecto. Existe una relación entre el riesgo, el periodo de retorno y la vida útil. La ROM establece dos relaciones según el modelo de determinación estadística utilizado:

- Modelo I: Método del valor pico, serie de datos máximos anuales.

$$E = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^L \text{ para } L \geq 10 \text{ años} \quad (16)$$

- Modelo II: Método del valor pico, serie de datos máximos en cualquier punto de la escala de tiempos.

$$E = 1 - e^{-\frac{L}{T}} \text{ para } L \geq 1 \text{ año} \quad (17)$$

Hay que destacar que los dos modelos coinciden sensiblemente para periodos de retorno altos, pero divergen para periodos de retorno bajos, debiendo utilizarse en este caso el

modelo II. Además, el modelo II reduce los intervalos de confianza y por tanto la incertidumbre de la variable, especialmente si se dispone de un reducido número de registros de datos. Esta tesina se ha llevado a cabo con el modelo II, porque el método del valor pico utilizado no es el de la serie de máximos anuales, que es el que corresponde al modelo I, sino el de la serie de datos máximos en cualquier punto de la escala de tiempos, así que se utilizará la fórmula 17 para mantener el criterio de la ROM, aunque los resultados serán muy similares a los que se obtendrían con la fórmula 16.

El parámetro buscado es el periodo de retorno, así que se ha de despejar de la fórmula obteniendo:

$$T = \frac{-L}{\ln(1-E)} \quad (18)$$

Para hallar el periodo de retorno solo necesitamos conocer la vida útil de la obra y el riesgo admisible. La ROM dice que para la vida útil se adoptarán como mínimo para obras con carácter definitivo y sin justificación específica los valores consignados en la tabla 2.2.1.1 (figura 6), en función del tipo de obra o instalación y del nivel de seguridad requerido.

En cuanto al riesgo, la ROM define los riesgos admisibles en la obra en función de sus características económicas. Se aplicará el riesgo de iniciación de averías o de destrucción total según los criterios consignados en la tabla 3.2.3.1.2 (figura 7) para fase de servicio:

TABLA 2.2.1.1. VIDAS ÚTILES MÍNIMAS PARA OBRAS O INSTALACIONES DE CARÁCTER DEFINITIVO (en años)			
TIPO DE OBRA O INSTALACION	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 ESPECÍFICO:
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 o 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 6: Vidas útiles mínimas para obras de ingeniería marítima según la ROM 0.2-90

TABLA 3.2.3.1.2. RIESGOS MÁXIMOS ADMISIBLES PARA LA DETERMINACIÓN, A PARTIR DE DATOS ESTADÍSTICOS, DE VALORES CARACTERÍSTICOS DE CARGAS VARIABLES PARA FASE DE SERVICIO Y CONDICIONES EXTREMAS

a) RIESGO DE INICIACIÓN DE AVERÍAS

		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA. Indice: $\frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$	BAJA	0,50	0,30
	MEDIA	0,30	0,20
	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. Indice r: $\frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$	BAJA	0,20	0,15
	MEDIA	0,15	0,10
	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.

LEYENDA:

- 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 CASO 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 7: Riesgos máximos admisibles para obras de ingeniería marítima según la ROM 0.2-90

Una vez conocidos los valores de vida útil y de riesgo admisible se puede calcular el periodo de retorno y obtener el valor de altura de ola para cada zona del litoral catalán estudiado, gracias a los ajustes realizados que contiene la tabla 17 del apartado 4.4.

6.1. Ejemplos prácticos

A continuación se realizarán algunos ejemplos prácticos donde se obtiene la altura de ola correspondiente para diferentes periodos de retorno calculados a partir de la vida útil y el riesgo admisible. No se realizarán todas las combinaciones posibles de vida útil y riesgo que se pueden hacer a partir de las tablas de la ROM, sino que solo se realizarán aquellas combinaciones que se han considerado más interesantes.

Para la vida útil se ha escogido como tipo de obra o instalación, la infraestructura de carácter general, ya que como su nombre indica es algo general, que no se centra en ningún uso específico, ya que no están ligadas a la explotación de una instalación industrial o de un yacimiento concreto. En cuanto al nivel de seguridad requerido, se ha optado por el nivel 2 y 3 por tener un riesgo moderado y elevado, respectivamente, de pérdidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura. El nivel 2 corresponde a obras e instalaciones de interés general que exista un riesgo moderado de pérdidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura (obras en grandes puertos, emisarios de grandes ciudades,...), y el 3 a obras e instalaciones de protección contra inundaciones o de carácter supranacional que exista un riesgo elevado de pérdidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura (defensa de núcleos urbanos o bienes industriales,...).

Para el riesgo admisible en la fase de servicio, se diferencia entre riesgo de iniciación de averías (normalmente obras flexibles, semirígidas o de rotura reparable) y riesgo de destrucción total (normalmente obras rígidas o de rotura frágil sin posibilidad de reparación). La adopción de uno o de otro se realiza en función de las características de deformabilidad y de posibilidad o facilidad de reparación de la estructura resistente. Dentro de cada tipo de riesgo se considera una repercusión económica en caso de inutilización de la obra media. Esta repercusión económica se calcula mediante un índice que relaciona el coste de pérdidas directas e indirectas con la inversión. Si el resultado está entre 5 y 20, se considera una repercusión media, es decir, el coste de pérdidas producido por la inutilización de la obra (ya sea por inicio de averías o por destrucción total) no es muy elevado respecto la inversión que se realizó. El otro factor a tener en cuenta es la posibilidad de pérdidas humanas que puede ser reducida, si no es esperable que se produzcan pérdidas humanas en caso de rotura o daños, o esperable, cuando es previsible que se produzcan pérdidas humanas en caso de rotura o daños.

Con todas estas combinaciones de vida útil y riesgo se calcula a partir de la fórmula 18 el periodo de retorno. En la tabla 21 se resumen las combinaciones con los valores de vida útil (L), riesgo (E) y periodo de retorno (T):

		REPERCUSIÓN ECONÓMICA MEDIA			
		RIESGO DE INICIACIÓN DE AVERÍAS		RIESGO DE DESTRUCCIÓN TOTAL	
		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE	REDUCIDA	ESPERABLE
INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL	NIVEL 2	L = 50 años E = 0,30 T = 140 años	L = 50 años E = 0,20 T = 224 años	L = 50 años E = 0,15 T = 308 años	L = 50 años E = 0,10 T = 475 años
	NIVEL 3	L = 100 años E = 0,30 T = 280 años	L = 100 años E = 0,20 T = 448 años	L = 100 años E = 0,15 T = 615 años	L = 100 años E = 0,10 T = 949 años

Tabla 21: Vida útil, riesgo y periodos de retorno

A partir de estos periodos de retorno y con los ajustes seleccionados para cada boya, se puede dar el valor de altura de ola correspondiente. Según la ROM se debe considerar la incertidumbre en la determinación de los parámetros y por ello no se admitirán valores inferiores al límite superior de la estimación a un nivel de confianza del 90%, salvo justificación; por ejemplo, para periodos de retorno altos en relación al periodo de registro de datos, como ocurre en esta tesina, ya que los registros que proporcionan las boyas son muy inferiores a los periodos obtenidos en la tabla 21. Este hecho permite adoptar valores de altura de ola inferiores al límite superior, pero nunca inferiores al límite inferior. Lo más razonable es dar el valor de la estima puntual junto con los límites del intervalo, el inferior y el superior, y dejar en manos del ingeniero la elección definitiva.

Ejemplo 1:

Se pretende diseñar una obra marítima con las siguientes características, extraídas de la tabla 21:

- infraestructura de carácter general
- nivel de seguridad 2
- riesgo de iniciación de averías
- repercusión económica de la obra media
- posibilidad de pérdidas humanas en caso de rotura o daños reducida

En la tabla 22 están los resultados de altura de ola estimada e intervalo de confianza para las tres zonas de estudio:

	ALTURA DE OLA (m)	INTERVALO (m)
GOLFO DE ROSES	8,8	6,9 – 15,0
DELTA DEL TORDERA	6,5	5,6 – 8,8
DELTA DEL LLOBREGAT	6,0	4,6 – 7,5

Tabla 22: Alturas de ola e intervalos

Ejemplo 2:

Se pretende diseñar una obra marítima con las siguientes características, extraídas de la tabla 21:

- infraestructura de carácter general
- nivel de seguridad 2
- riesgo de iniciación de averías
- repercusión económica de la obra media
- posibilidad de pérdidas humanas en caso de rotura o daños esperable

En la tabla 23 están los resultados de altura de ola estimada e intervalo de confianza para las tres zonas de estudio:

	ALTURA DE OLA (m)	INTERVALO (m)
GOLFO DE ROSES	9,2	7,2 – 16,2
DELTA DEL TORDERA	6,7	5,7 – 9,4
DELTA DEL LLOBREGAT	6,3	4,8 – 7,8

Tabla 23: Alturas de ola e intervalos

Ejemplo 3:

Se pretende diseñar una obra marítima con las siguientes características, extraídas de la tabla 21:

- infraestructura de carácter general
- nivel de seguridad 2
- riesgo de destrucción total
- repercusión económica de la obra media
- posibilidad de pérdidas humanas en caso de rotura o daños reducida

En la tabla 24 están los resultados de altura de ola estimada e intervalo de confianza para las tres zonas de estudio:

	ALTURA DE OLA (m)	INTERVALO (m)
GOLFO DE ROSES	9,5	7,4 – 17,1
DELTA DE LA TORDERA	6,9	5,9 – 9,7
DELTA DEL LLOBREGAT	6,5	4,9 – 8,1

Tabla 24: Alturas de ola e intervalos

Ejemplo 4:

Se pretende diseñar una obra marítima con las siguientes características, extraídas de la tabla 21:

- infraestructura de carácter general
- nivel de seguridad 2
- riesgo de destrucción total
- repercusión económica de la obra media
- posibilidad de pérdidas humanas en caso de rotura o daños esperable

En la tabla 25 están los resultados de altura de ola estimada e intervalo de confianza para las tres zonas de estudio:

	ALTURA DE OLA (m)	INTERVALO (m)
GOLFO DE ROSES	9,9	7,6 – 18,4
DELTA DE LA TORDERA	7,1	6,0 – 10,2
DELTA DEL LLOBREGAT	6,7	5,0 – 8,5

Tabla 25: Alturas de ola e intervalos

Ejemplo 5:

Se pretende diseñar una obra marítima con las siguientes características, extraídas de la tabla 21:

- infraestructura de carácter general
- nivel de seguridad 3
- riesgo de iniciación de averías
- repercusión económica de la obra media
- posibilidad de pérdidas humanas en caso de rotura o daños reducida

En la tabla 26 están los resultados de altura de ola estimada e intervalo de confianza para las tres zonas de estudio:

	ALTURA DE OLA (m)	INTERVALO (m)
GOLFO DE ROSES	9,4	7,3 – 16,9
DELTA DE LA TORDERA	6,8	5,8 – 9,6
DELTA DEL LLOBREGAT	6,4	4,8 – 8,0

Tabla 26: Alturas de ola e intervalos

Ejemplo 6:

Se pretende diseñar una obra marítima con las siguientes características, extraídas de la tabla 21:

- infraestructura de carácter general
- nivel de seguridad 3
- riesgo de iniciación de averías
- repercusión económica de la obra media
- posibilidad de pérdidas humanas en caso de rotura o daños esperable

En la tabla 27 están los resultados de altura de ola estimada e intervalo de confianza para las tres zonas de estudio:

	ALTURA DE OLA (m)	INTERVALO (m)
GOLFO DE ROSES	9,8	7,6 – 18,2
DELTA DE LA TORDERA	7,1	6,0 – 10,2
DELTA DEL LLOBREGAT	6,7	5,0 – 8,4

Tabla 27: Alturas de ola e intervalos

Ejemplo 7:

Se pretende diseñar una obra marítima con las siguientes características, extraídas de la tabla 21:

- infraestructura de carácter general
- nivel de seguridad 3
- riesgo de destrucción total
- repercusión económica de la obra media
- posibilidad de pérdidas humanas en caso de rotura o daños reducida

En la tabla 28 están los resultados de altura de ola estimada e intervalo de confianza para las tres zonas de estudio:

	ALTURA DE OLA (m)	INTERVALO (m)
GOLFO DE ROSES	10,1	7,8 – 19,2
DELTA DE LA TORDERA	7,3	6,1 – 10,5
DELTA DEL LLOBREGAT	6,9	5,1 – 8,7

Tabla 28: Alturas de ola e intervalos

Ejemplo 8:

Se pretende diseñar una obra marítima con las siguientes características, extraídas de la tabla 21:

- infraestructura de carácter general
- nivel de seguridad 3
- riesgo de destrucción total
- repercusión económica de la obra media
- posibilidad de pérdidas humanas en caso de rotura o daños esperable

En la tabla 29 están los resultados de altura de ola estimada e intervalo de confianza para las tres zonas de estudio:

	ALTURA DE OLA (m)	INTERVALO (m)
GOLFO DE ROSES	10,5	8,0 – 20,6
DELTA DE LA TORDERA	7,5	6,3 – 11,1
DELTA DEL LLOBREGAT	7,1	5,2 – 9,1

Tabla 29: Alturas de ola e intervalos

6.2. Comentarios de los ejemplos

En todos los casos las mayores alturas de ola se observan para la zona del golfo de Roses, con bastante diferencia respecto las otras dos zona, para las cuales las alturas son bastante similares, aunque un poco mayores en Blanes.

Las alturas más bajas se registran en el ejemplo 1, ya que es el menos exigente, con un nivel 2, para inicio de averías y pérdidas humanas reducidas. Las alturas más altas son para el ejemplo 8, que es el más exigente, con un nivel 3, destrucción total y pérdidas humanas esperables. En el resto de ejemplos las alturas van variando en función de los criterios establecidos, cumpliendo siempre que, con el resto de características iguales, el nivel 3 es más exigente que el 2, la destrucción total más que el inicio de averías y las pérdidas esperables más que las reducidas, así que darán alturas de ola mayores. Por ejemplo, comparando el ejemplo 1 con el 5, en este último las alturas son mayores, o si se compara el ejemplo 2 con el 4, las alturas son mayores en el 4.

Hay casos como el de los ejemplos 7 o 8 para la zona del golfo de Roses que la altura del límite superior del intervalo es de 19 y 20m. Una altura de estas características no se ha registrado nunca en esta zona. Estas medidas tan poco reales son debidas a que el tiempo de registro de datos es pequeño en comparación con el periodo de retorno que se utiliza para el cálculo.

Un punto que hay que dejar claro es que todos los resultados obtenidos por estudios estadísticos deben referirse siempre al punto de medida donde se encuentre la boya. Para encontrar la altura de ola en algún otro punto se deben hacer estudios de propagación de oleaje. Es lógico pensar que los valores obtenidos por la boya de Roses

no son aplicables a la zona del delta del Llobregat, ya que las diferencias son considerables.

