

Proyecto básico de terminal exterior de atraque para  
cruceros de tamaño medio en Benidorm (Alicante).  
Obra de atraque exterior.

Anejo nº 10  
Agitación y operatividad

Autor:

Víctor Martí Grau

## ÍNDICE

1. Introducción	pág. 2
2. Cálculo de la difracción	pág. 3
3. Operatividad	pág. 8

## 1. Introducción

El objeto de este anejo es calcular el porcentaje de operatividad de la terminal para distintas operaciones debido únicamente a la acción del oleaje. Para ello se tiene en cuenta la difracción del oleaje utilizando el método de los diagramas de Wiegel tal como se ejemplifica en el Shore Protection Manual.

Únicamente se tendrá en cuenta la agitación en las aguas de la línea de atraque principal, asumiendo por tanto que los buques auxiliares no son los más limitantes.

El problema de la agitación consiste en calcular cuál es la altura de ola de cada dirección de procedencia que obliga a paralizar las operaciones de embarque y desembarque, o de permanencia con pasaje a bordo. Puesto que, según las condiciones de operación establecidas, el área de maniobras se cerrará con oleajes de cualquier dirección cuya altura sea superior a 1.5 metros, ésta será la máxima altura de ola considerada en dicho cálculo. Esto significa que la operatividad de la terminal estará limitada, al menos, por la frecuencia de aparición de oleajes superiores a 1.5 m.

Se considerarán periodos pico del oleaje de 3 a 10 segundos, admitiendo la simplificación de que la frecuencia de asociación de un determinado periodo a una determinada altura de ola es igual para todas las direcciones de procedencia.

Por la orientación del dique elegida, 45°N, los oleajes de direcciones SW, WSW, W, WNW, NW, NNW, N, NNE y NE, inciden sobre el área de atraque sin ningún obstáculo. Sin embargo, esta orientación fué elegida precisamente para la máxima operatividad, y puede verse que este abanico de direcciones es el que menor frecuencia de aparición tiene así como menor altura de ola asociada.

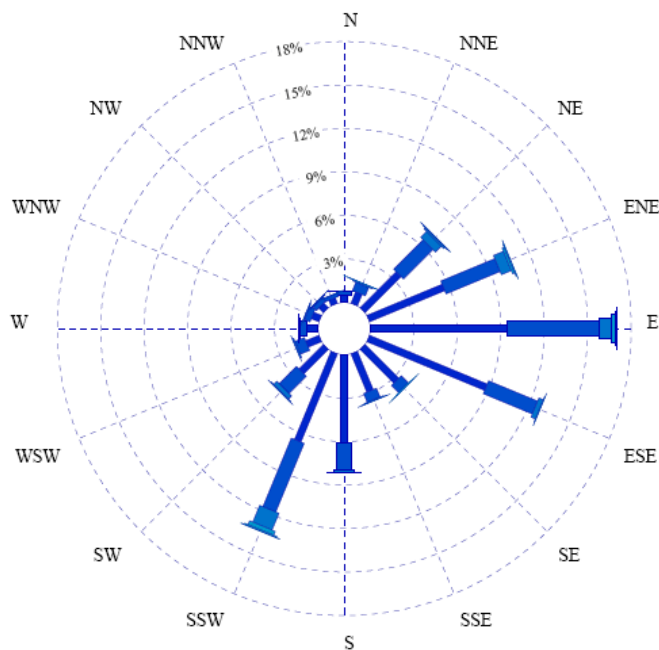


Figura 1.1 Rosa de oleaje anual

## 2. Cálculo de la difracción

Los diagramas de Wiegel muestran líneas con el mismo coeficiente de reducción de la altura de ola ( $k'$ ). Este coeficiente se define como la relación entre la altura de ola afectada por la difracción y la altura de ola incidente. Hay un diagrama para cada dirección de incidencia cada  $15^\circ$ . Las distancias en el diagrama se miden con unidades relativas a la longitud de onda.

Para calcular la longitud de onda en la profundidad del emplazamiento a partir del periodo pico se procede al siguiente cálculo, por ejemplo:

$$T = 5 \text{ m}$$

$$L_0 = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} = 1.56 \cdot T^2 = 1.56 \cdot 5^2 = 39 \text{ m}$$

$$\frac{d_s}{L_0} = \frac{31.41}{39} = 0.805$$

De la tabla C-1 del Anexo C del Shore Protection Manual, se obtiene lo siguiente:

$$\frac{d}{L} = 0.8101$$

Y entonces:

$$L_5 = \frac{d_s}{d/L} = 38.77 \text{ m}$$

Una unidad en el diagrama de Wiegel equivale a 38.77 metros en la realidad.

La tabla 2.1 agrupa los resultados para todos los periodos considerados.

Tabla 2.1 – Periodos pico y longitudes de ola				
<b>Tp (s)</b>	<b>Lo (m)</b>	<b>ds/Lo</b>	<b>d/L</b>	<b>L (m)</b>
<b>3</b>	14.04	-	-	<b>14.04</b>
<b>4</b>	24.96	-	-	<b>24.96</b>
<b>5</b>	39	0.8054	0.8101	<b>38.8</b>
<b>6</b>	56.16	0.5593	0.56	<b>56.1</b>
<b>7</b>	76.44	0.4109	0.4155	<b>75.6</b>
<b>8</b>	99.84	0.3146	0.3257	<b>96.4</b>
<b>9</b>	126.36	0.2486	0.267	<b>117.6</b>
<b>10</b>	156	0.2013	0.226	<b>139.0</b>

A continuación se calculan las coordenadas  $x$  e  $y$  de los puntos donde se ha de evaluar la agitación en unidades relativas a la longitud de onda.

El primer punto ( $x_1, y_1$ ) corresponde al vértice de la línea de atraque situado más al sur. El segundo punto ( $x_2, y_2$ ) corresponde al vértice más al norte. Estos puntos se representan en la figura 2.1. Por razones de simetría, las coordenadas de los puntos 1 y 2 son iguales.

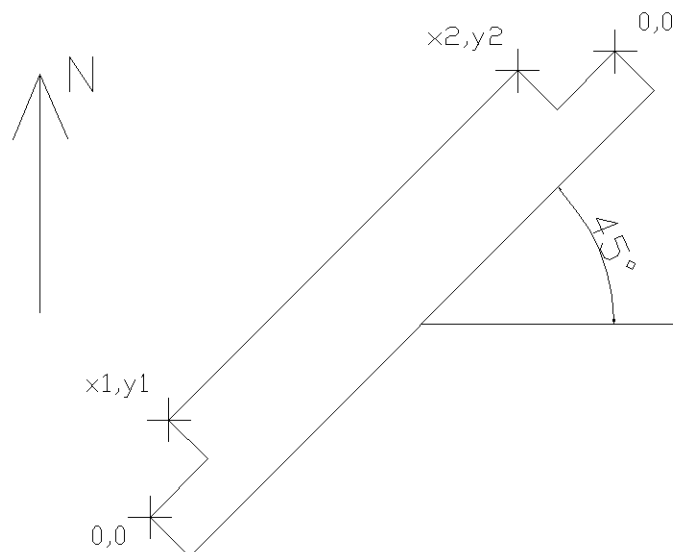


Figura 2.1

El cálculo de estas coordenadas consiste en dividir la longitud real por la longitud de onda calculada. Los ejes de coordenadas no coinciden con la dirección Este y Norte geográficas, sino que son ejes locales, la X es dirección NE y la Y dirección NW.

La longitud real es de 156.6 m en eje X y 36 m en eje Y.

Tabla 2.2 – Coordenadas en unidades relativas		
Tp (s)	X	Y
3	11.15	2.56
4	6.27	1.44
5	4.04	0.93
6	2.79	0.64
7	2.07	0.48
8	1.62	0.37
9	1.33	0.31
10	1.13	0.26

A continuación se resumen en las tablas 2.3 y 2.4 los valores de  $k'$  obtenidos de los diagramas para cada dirección en cada punto y para cada periodo.

Tabla 2.3 – Coeficiente de difracción $k'$ – Punto 1								
Dirección del oleaje	Tp (s)							
	3	4	5	6	7	8	9	10
SSW	0.55	0.55	0.55	0.55	0.6	0.65	0.65	0.65
S	0.13	0.185	0.23	0.275	0.3	0.35	0.37	0.38
SSE	0.10	0.135	0.175	0.22	0.24	0.27	0.29	0.31

SE	0.075	0.095	0.118	0.145	0.17	0.185	0.20	0.22
ESE	0.07	0.082	0.105	0.124	0.136	0.15	0.17	0.18
E	0.06	0.067	0.085	0.106	0.118	0.135	0.15	0.17
ENE	0.05	0.065	0.085	0.105	0.118	0.139	0.15	0.16

Tabla 2.4 – Coeficiente de difracción k' – Punto 2								
Dirección del oleaje	Tp (s)							
	3	4	5	6	7	8	9	10
SSW	0.05	0.065	0.085	0.105	0.118	0.139	0.15	0.16
S	0.06	0.067	0.085	0.106	0.118	0.135	0.15	0.17
SSE	0.07	0.082	0.105	0.124	0.136	0.15	0.17	0.18
SE	0.075	0.095	0.118	0.145	0.17	0.185	0.20	0.22
ESE	0.10	0.135	0.175	0.22	0.24	0.27	0.29	0.31
E	0.13	0.185	0.23	0.275	0.3	0.35	0.37	0.38
ENE	0.55	0.55	0.55	0.55	0.6	0.65	0.65	0.65

En la tabla 2.5 se aplican los distintos coeficientes a las alturas de ola consideradas para cada dirección y cada punto.

Tabla 2.5 – Alturas de ola afectadas por difracción – Punto 1									
Dirección de incidencia	Altura de ola incidente $H_I$ (m)	Tp (s)							
		3	4	5	6	7	8	9	10
SSW	0.5	0.275	0.275	0.275	0.275	0.3	0.325	0.325	0.325
	1	0.55	0.55	0.55	0.55	0.6	0.65	0.65	0.65
	1.5	0.825	0.825	0.825	0.825	0.9	0.975	0.975	0.975
S	0.5	0.065	0.0925	0.115	0.1375	0.15	0.175	0.185	0.19
	1	0.13	0.185	0.23	0.275	0.3	0.35	0.37	0.38
	1.5	0.195	0.2775	0.345	0.4125	0.45	0.525	0.555	0.57
SSE	0.5	0.05	0.0675	0.0875	0.11	0.12	0.135	0.145	0.155
	1	0.1	0.135	0.175	0.22	0.24	0.27	0.29	0.31
	1.5	0.15	0.2025	0.2625	0.33	0.36	0.405	0.435	0.465
SE	0.5	0.0375	0.0475	0.059	0.0725	0.085	0.0925	0.1	0.11
	1	0.075	0.095	0.118	0.145	0.17	0.185	0.2	0.22
	1.5	0.1125	0.1425	0.177	0.2175	0.255	0.2775	0.3	0.33

ESE	0.5	0.035	0.041	0.0525	0.062	0.068	0.075	0.085	0.09
	1	0.07	0.082	0.105	0.124	0.136	0.15	0.17	0.18
	1.5	0.105	0.123	0.1575	0.186	0.204	0.225	0.255	0.27
E	0.5	0.03	0.0335	0.0425	0.053	0.059	0.0675	0.075	0.085
	1	0.06	0.067	0.085	0.106	0.118	0.135	0.15	0.17
	1.5	0.09	0.1005	0.1275	0.159	0.177	0.2025	0.225	0.255
ENE	0.5	0.025	0.0325	0.0425	0.0525	0.059	0.0695	0.075	0.08
	1	0.05	0.065	0.085	0.105	0.118	0.139	0.15	0.16
	1.5	0.075	0.0975	0.1275	0.1575	0.177	0.2085	0.225	0.24

Tabla 2.6 – Alturas de ola afectadas por difracción – Punto 2									
Dirección de incidencia	Altura de ola incidente $H_I$ (m)	Tp (s)							
		3	4	5	6	7	8	9	10
SSW	0.5	0.025	0.0325	0.0425	0.0525	0.059	0.0695	0.075	0.08
	1	0.05	0.065	0.085	0.105	0.118	0.139	0.15	0.16
	1.5	0.075	0.0975	0.1275	0.1575	0.177	0.2085	0.225	0.24
S	0.5	0.03	0.0335	0.0425	0.053	0.059	0.0675	0.075	0.085
	1	0.06	0.067	0.085	0.106	0.118	0.135	0.15	0.17
	1.5	0.09	0.1005	0.1275	0.159	0.177	0.2025	0.225	0.255
SSE	0.5	0.035	0.041	0.0525	0.062	0.068	0.075	0.085	0.09
	1	0.07	0.082	0.105	0.124	0.136	0.15	0.17	0.18
	1.5	0.105	0.123	0.1575	0.186	0.204	0.225	0.255	0.27
SE	0.5	0.0375	0.0475	0.059	0.0725	0.085	0.0925	0.1	0.11
	1	0.075	0.095	0.118	0.145	0.17	0.185	0.2	0.22
	1.5	0.1125	0.1425	0.177	0.2175	0.255	0.2775	0.3	0.33
ESE	0.5	0.05	0.0675	0.0875	0.11	0.12	0.135	0.145	0.155
	1	0.1	0.135	0.175	0.22	0.24	0.27	0.29	0.31
	1.5	0.15	0.2025	0.2625	0.33	0.36	0.405	0.435	0.465
E	0.5	0.065	0.0925	0.115	0.1375	0.15	0.175	0.185	0.19
	1	0.13	0.185	0.23	0.275	0.3	0.35	0.37	0.38
	1.5	0.195	0.2775	0.345	0.4125	0.45	0.525	0.555	0.57
ENE	0.5	0.275	0.275	0.275	0.275	0.3	0.325	0.325	0.325
	1	0.55	0.55	0.55	0.55	0.6	0.65	0.65	0.65
	1.5	0.825	0.825	0.825	0.825	0.9	0.975	0.975	0.975

Los valores en color amarillo superan el límite de oleaje establecido para embarque y desembarque. Los valores en color naranja superan el límite para permanencia en puerto con pasaje a bordo.

La parada operativa de una determinada actividad se producirá cuando en cualquiera de los dos puntos considerados se alcancen unas condiciones superiores a las que marca el límite de operación. Por tanto los valores obtenidos en las tablas 2.5 y 2.6 han de combinarse en una sola tabla que refleje el tiempo de inoperatividad, la tabla 2.7.

Tabla 2.7 – Operatividad – Terminal									
Dirección de incidencia	Altura de ola incidente $H_I$ (m)	Tp (s)							
		3	4	5	6	7	8	9	10
SSW	0.5	0	0	0	0	0	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1.5	2	2	2	2	2	2	2	2
S	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	1	1	1
	1.5	0	0	1	1	1	1	1	1
SSE	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	1.5	0	0	0	1	1	1	1	1
SE	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.5	0	0	0	0	0	0	0	1
ESE	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	1.5	0	0	0	1	1	1	1	1
E	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	1	1	1
	1.5	0	0	1	1	1	1	1	1
ENE	0.5	0	0	0	0	0	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1.5	2	2	2	2	2	2	2	2

El número 0 significa que pueden realizarse todas las operaciones. El valor 1 significa que no se puede realizar la operación de embarque y desembarque. El valor 2 significa que el buque no puede permanecer atracado con pasaje a bordo.



### 3. Operatividad

Los resultados de la tabla 2.7 muestran la operatividad de las diferentes operaciones de una forma cualitativa. Para determinar el porcentaje de operatividad es necesario recurrir a cálculos estadísticos con los datos del régimen medio de oleaje que se exponen en el anejo nº 3.

Utilizando, fundamentalmente, las tablas que aparecen en las figuras 2.1.3 y 2.1.6 del citado anejo, el cálculo de la operatividad se efectúa del siguiente modo:

Se calcula primero el peso relativo de un determinado periodo dentro del grupo de una altura de ola determinada. A continuación ese peso relativo afecta a la frecuencia de aparición de una determinada altura de ola asociada a una dirección de procedencia. Haciendo esto para cada una de las direcciones, alturas de ola y periodos, y sumando finalmente la frecuencia de calmas, se obtiene el porcentaje de tiempo de operatividad.

El resultado del cálculo es el siguiente:

Las operaciones de embarque y desembarque, cuyo límite de altura de ola son 0.3 m, se podrán efectuar el 64.1% del año.

La permanencia del buque con pasaje a bordo, cuyo límite de altura de ola son 0.7 m, se podrá efectuar el 88.1% del año.

El atraque de buques y apertura del área de maniobra, que se consideran conjuntamente, y cuya altura de ola límite es 1.5 m, podrán efectuarse el 98.7% del año.

Es importante recordar que esta operatividad se ha calculado considerando sólo la acción del oleaje. La terminal también puede interrumpir sus actividades debido al viento o a las corrientes. Sin embargo, ante la falta de datos estadísticos que traten de la simultaneidad de estas tres acciones, se ha optado por no realizar un cálculo que resultaría en porcentajes de operatividad mucho menores de los que se producirían en la realidad.

Los resultados se resumen en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 - Operatividad	
Área de maniobras	98.651%
Atraque de buques	98.651%
Permanencia del buque con pasaje	88.100%
Embarque y desembarque	64.055%