

## **Anejo N.º 8: TRANSPORTE SÓLIDO LITORAL**

## Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. TRANSPORTE SOLIDO LITORAL.....	3
3. METODOLOGÍA A EMPLEAR.....	3
4. CÁLCULO DEL TRANSPORTE SÓLIDO LITORAL.....	4
4.1. DATOS DEL CLIMA MARITIMO .....	4
4.2. ORIENTACIÓN DE LA PLAYA .....	5
4.3. DIRECCIONES SIGNIFICATIVAS .....	6
4.4. FACTOR DE PROBABILIDAD DE PRESENTACIÓN DE UNA DETERMINADA DIRECCIÓN (ko)7	
4.5. FACTOR DE FORMA (kf) .....	7
4.6. PROBABILIDAD DE PRESENTACIÓN DE ALTURA DE OLA (f) .....	7
5. CÁLCULO DEL CAUDAL TRANSPORTADO.....	8

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este anejo es el de cuantificar el transporte solido litoral ya que, a la hora de realizar obras marítimas o regeneraciones, es importante saber cuál es el sentido del transporte solido litoral para demostrar su correcto funcionamiento.

El sentido de transporte se comprobará que sea el mismo que el que mostró en *el Anejo 7. Clima Marítimo*.

Para realizar el análisis del transporte solido de la zona de estudio, los factores que intervendrán serán los siguientes:

- Orientación de la playa
- Direcciones significativas
- Régimen medio de oleaje

Con los que se llevara a cabo una serie de conclusiones respecto a la dinámica litoral.

## 2. TRANSPORTE SOLIDO LITORAL

El transporte solido litoral es un elemento esencial en la dinámica litoral junto con los agentes climáticos: viento, variaciones del nivel del mar y corrientes.

Este proceso se define como el transporte de sedimentos a lo largo de la línea de costa debido a la incidencia y propagación del oleaje.

Cuando el oleaje incide oblicuamente sobre la costa, genera dos tipos de corrientes, una longitudinal paralela a la línea de costa y otra transversal, perpendicular a la línea de costa, véase *figura 1*.

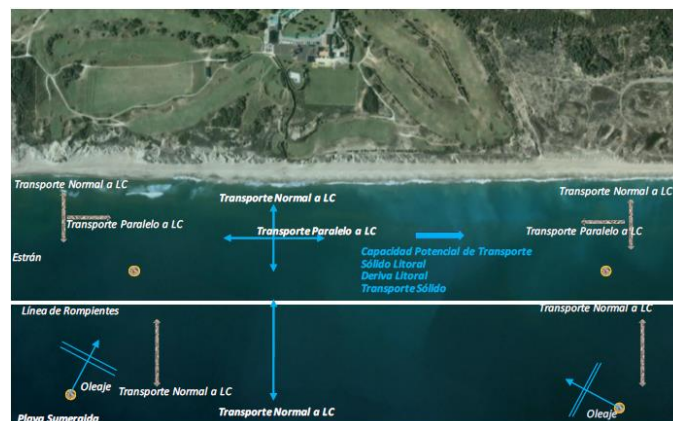


Ilustración 1. Sinterización del transporte solido litoral. Fuente: Asignatura Obras Marítimas

## 3. METODOLOGÍA A EMPLEAR

Para el cálculo teórico del transporte sólido litoral se utiliza una aproximación basada en el flujo de energía "longshore". Esta aproximación recoge sus datos en una fórmula empírica muy utilizada en análisis costeros de dinámica litoral que presentó el SPM, Shore Protection Manual, en 1984.

Anejo N.º 8: TRANSPORTE SÓLIDO LITORAL

La fórmula, permite obtener el caudal medio de material que atraviesa un punto de la línea costera por unidad de tiempo, generalmente, por año. La función definida es la siguiente:

$$Q \left[ \frac{m^3}{s} \right] = 1290 x P_{ls}$$

Donde:

$$P_{ls} = 0,05 x \rho x g^{\frac{3}{2}} x H_{so}^{\frac{5}{2}} x \cos(\alpha_o)^{\frac{1}{4}} x \sin(2\alpha_o)$$

Siendo:

- **H<sub>so</sub>**: Altura de ola significativa en profundidades indefinidas, en metros.
- **ρ**: Densidad del agua.
- **g**: Valor de la gravedad
- **α<sub>o</sub>**: ángulo de incidencia del oleaje en profundidades indefinidas, medido respecto a la normal a la línea de costa, en grados sexagesimales.

A la anterior función, se multiplican varios términos que permiten representar la dirección del oleaje distribuidas en sectores de 22,5° en cada caso e introducir la probabilidad de presencia de las distintas alturas de ola significantes. De ello resulta la siguiente expresión:

$$Q \left[ \frac{m^3}{s} \right] = 2030 \cdot 10^3 x f x H_{so}^{\frac{5}{2}} x \cos(\alpha_o)^{\frac{1}{4}} x \sin(2\alpha_o) x K_o x K_f$$

- **f**: Probabilidad de presentación de altura de ola.
- **k<sub>o</sub>**: Factor de probabilidad de presentación de una determinada dirección de oleaje.
- **k<sub>f</sub>**: Factor que representa la relación entre la amplitud del sector real que genera el transporte sólido en un sentido y la del sector teórico de partida.

De los estudios realizados por el CEDEX se observa que en la fórmula para calcular el transporte sólido longitudinal supone como sedimento de la playa, arena. En la zona de estudio, el sedimento está compuesto de un material granular formado por gravas y gravillas, por lo que esta fórmula no es aplicable. Para resolver este problema, la Hydraulics Research Station, en el año 1973, determinó un coeficiente  $k_{gravas}$  con un valor de:

$$k_{gravas} = 0,0035$$

Con lo que aplicando este coeficiente en la fórmula del SPM obtenemos:

$$Q \left[ \frac{m^3}{s} \right] = 1,47 \cdot 10^4 x f x H_{so}^{\frac{5}{2}} x \cos(\alpha_o)^{\frac{1}{4}} x \sin(2\alpha_o) x k_o x k_f$$

#### 4. CÁLCULO DEL TRANSPORTE SÓLIDO LITORAL

##### 4.1. DATOS DEL CLIMA MARITIMO



Anejo N.º 8: TRANSPORTE SÓLIDO LITORAL

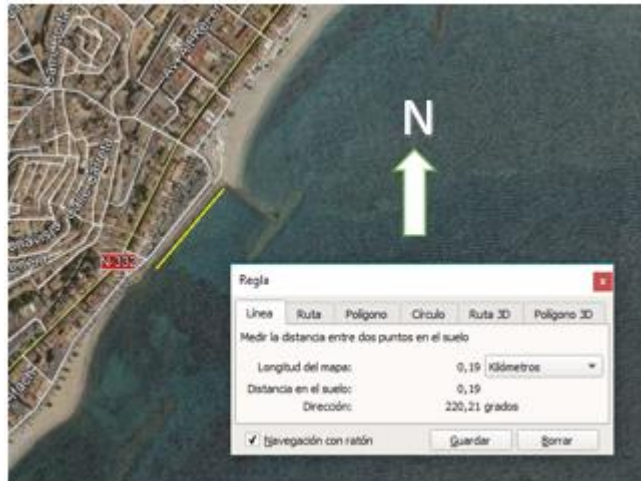


Ilustración 3. Dirección de la zona objeto de estudio. Fuente: Google Earth

Con esta foto queda demostrada la orientación de la zona objeto de estudio, viéndose en ella como la línea de costa forma  $40^\circ$  en sentido horario con el Norte y la normal a la línea de playa formará  $90^\circ$  a la línea de costa. En el siguiente apartado se desarrollará con mayor claridad.

#### 4.3. DIRECCIONES SIGNIFICATIVAS

En el siguiente esquema puede observarse la metodología empleada para determinar las direcciones que tienen mayor incidencia a la costa, véase figura 4:



Ilustración 4. Orientación de la línea de costa y direcciones significativas. Fuente: Propia

Los sectores que provocan oleaje son los siguientes, con sus respectivos ángulos de incidencia y los cálculos para facilitar la función de oblicuidad.

Anejo N.º 8: TRANSPORTE SÓLIDO LITORAL

Dirección	Ángulo con LNCA ( $\alpha_s$ ) SEXA	Ángulo con LNCA ( $\alpha_s$ ) RAD	$\cos(\alpha_s)^{0,25}$	$\sin(2\alpha_s)$
ENE	62,5	1,090830782	0,824330559	0,81915204
E	40	0,698131701	0,935542436	0,98480775
ESE	17,5	0,305432619	0,988222813	0,57357644
SE	5	0,087266463	0,999047314	0,17364818
SSE	27,5	0,479965544	0,97047026	0,81915204
S	50	0,872664626	0,895399555	0,98480775

#### 4.4. FACTOR DE PROBABILIDAD DE PRESENTACIÓN DE UNA DETERMINADA DIRECCIÓN ( $k_o$ )

Tal como se ha mencionado en el anterior apartado, se extrae el  $k_o$  que viene representado por el  $P_{sector}$  del atlas del clima marítimo de la ROM 0.3-91 para cada dirección separadas entre sí 22,5 grados, y son los siguientes:

Dirección	ENE	E	ESE (N-S)	ESE (S-N)	SE	SSE	S
$k_o$	0,0672	0,066	0,0643	0,0643	0,0334	0,0284	0,039

#### 4.5. FACTOR DE FORMA ( $k_f$ )

El factor de forma es utilizado para determinar la relación entre el sector real en el que es generado el transporte en un sentido y el sector teórico de partida y se calcula como:

$$K_f = \frac{\theta_o}{22,5^\circ}$$

Dirección	ENE	E	ESE (N-S)	ESE (S-N)	SE	SSE	S
$\theta_s$	22,5	22,5	6,25	16,25	22,5	22,5	22,5
$k_f$	1	1	0,27777778	0,72222222	1	1	1

La dirección ENE se divide en dos tramos puesto que en este sector se encuentra la Línea Normal a la Costa, de manera que en dirección N-S se inclina 6,25° y de S-N unos 16,25°.

#### 4.6. PROBABILIDAD DE PRESENTACIÓN DE ALTURA DE OLA ( $f$ )

A continuación, obtenemos el coeficiente  $f$ , probabilidad de altura de ola, para direcciones del oleaje que puedan generar transporte sólido litoral a la zona de estudio y para las alturas de ola significativa a las que está sometida la zona de actuación.

Para ello utilizamos los datos del Anejo 7. Clima Marítimo, sobre las direcciones de ola y alturas significativa medidas por el Punto SIMAR 2084103, véase *tabla 1*.

Anejo N.º 8: TRANSPORTE SÓLIDO LITORAL

Tabla Altura Significativa (Hs) - Dirección de Procedencia en %

Dirección	Hs (m)												Total
	≤ 0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	> 5.0	
CALMAS	11.769												11.769
N	0.0	.039	.059	.009	-	-	-	-	-	-	-	-	.106
NNE	22.5	.086	.187	.042	.005	-	-	-	-	-	-	-	.322
NE	45.0	1.263	1.141	.232	.038	.013	.008	.003	-	-	-	-	2.697
ENE	67.5	7.155	3.390	.524	.096	.026	.006	-	-	-	-	-	11.197
E	90.0	8.626	7.122	1.400	.406	.138	.042	.006	-	-	-	-	17.741
ESE	112.5	9.026	10.395	2.243	.461	.138	.041	.016	.005	-	-	-	22.325
SE	135.0	4.124	1.987	.124	.017	.005	-	.001	-	-	-	-	6.259
SSE	157.5	2.657	1.108	.101	.018	.003	-	-	-	-	-	-	3.887
S	180.0	7.100	5.006	1.082	.248	.053	.009	.001	-	-	-	-	13.498
SSW	202.5	4.036	3.971	.902	.161	.035	.007	.002	.001	-	-	-	9.115
SW	225.0	.269	.238	.047	.008	-	-	-	-	-	-	-	.563
WSW	247.5	.078	.068	.018	.001	-	-	-	-	-	-	-	.165
W	270.0	.045	.057	.012	-	-	-	-	-	-	-	-	.114
WNW	292.5	.028	.040	.012	-	-	-	-	-	-	-	-	.081
NW	315.0	.023	.042	.010	.001	-	-	-	-	-	-	-	.076
NNW	337.5	.032	.042	.010	-	-	-	-	-	-	-	-	.086
Total	11.769	44.586	34.851	6.769	1.463	.412	.113	.030	.008	-	-	-	100%

Tabla 1. Altura Significativa (Hs) – Dirección de procedencia %

Hs(m)	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
0,5	7,155	8,626	9,026	4,124	2,657	7,1
1	3,39	7,122	10,395	1,987	1,108	5,006
1,5	0,524	1,4	2,243	0,124	0,101	1,082
2	0,096	0,406	0,461	0,017	0,018	0,248
2,5	0,026	0,138	0,138	0,005	0,003	0,053
3	0,006	0,042	0,041			0,009
3,5		0,006	0,016	0,001		0,001
4			0,005			
4,5						
5						
TOTAL	11,197	17,74	22,325	6,258	3,887	13,499

Con la tabla anterior se calcula la probabilidad de que se origine un oleaje de una altura determinada para cada una de las direcciones influyentes:

Hs(m)	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
0,5	0,63901045	0,486245772	0,404300112	0,65899648	0,68356059	0,52596489
1	0,30275967	0,401465614	0,465621501	0,31751358	0,28505274	0,37084228
1,5	0,04679825	0,0789177	0,100470325	0,01981464	0,02598405	0,08015409
2	0,00857373	0,022886133	0,020649496	0,00271652	0,00463082	0,01837173
2,5	0,00232205	0,00777903	0,006181411	0,00079898	0,0007718	0,00392622
3	0,00053586	0,002367531	0,001836506			0,00066672
3,5		0,000338219	0,000716685	0,0001598		7,408E-05
4			0,000223964			
4,5						
5						
TOTAL	1	1	1	1	1	1

## 5. CÁLCULO DEL CAUDAL TRANSPORTADO

Aplicando la fórmula del SPM obtenemos los siguientes caudales:



Anejo N.º 8: TRANSPORTE SÓLIDO LITORAL

Hs(m)	Caudal (m³/año)						
	ENE	E	ESE (N-S)	ESE (S-N)	SE	SSE	S
0,5	72,8820247	76,83464164	10,63655172	27,6550345	9,92266197	40,1037006	47,0036991
1	195,337434	358,859605	69,29549633	180,16829	27,0447142	94,603596	187,473343
1,5	83,2041934	194,3921794	41,20386327	107,130044	4,65087173	23,763883	111,661662
2	31,2919049	115,724051	17,38426888	45,1990991	1,30890594	8,69391478	52,5382191
2,5	14,8050252	68,71502574	9,090957431	23,6364893	0,67251899	2,53127402	19,6143793
3	5,38939689	32,98944678	4,260568083	11,077477			5,25405148
3,5		6,928575705	2,444390626	6,35541563	0,3119282		0,85825983
4			1,066597346	2,7731531			
4,5							
5							
<b>TOTAL</b>	<b>402,909979</b>	<b>854,4435252</b>	<b>155,3826937</b>	<b>403,995004</b>	<b>43,911601</b>	<b>169,696369</b>	<b>424,403613</b>
<b>DIRECCIÓN</b>	<b>N-S</b>			<b>S-N</b>			
<b>Qttotal</b>	<b>1412,736198</b>			<b>1042,006586</b>			

<b>Caudal Neto</b>	<b>370,7296119</b>	<b>m³/año</b>	<b>N-S</b>
<b>Caudal Bruto</b>	<b>2454,742784</b>	<b>m³/año</b>	

A la vista de los resultados obtenidos, y tras los cálculos se obtiene un transporte de sedimentos bruto de 2.454,74 m³/año, mientras que el transporte neto es de 370,73 m³/año. Con lo que es posible afirmar que el transporte litoral se produce de Norte a Sur.

Los resultados del caudal transportado verifican lo analizado en el anejo Clima Marítimo. Como podemos observar, los temporales de E son los principales causantes del transporte sólido litoral en la zona de estudio, seguidos por los temporales ESE. También se puede observar que la diferencia de caudal transportado de Norte-Sur, Sur-Norte no es muy significativa con lo que la costa intentara estar siempre en equilibrio en las zonas que no tenga ningún obstáculo cerca para el transporte sólido litoral.