

ANEJO 6. DINÁMICA LITORAL

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	2
2.	TRANSPORTE SÓLIDO LITORAL.....	2
3.	ORIENTACIÓN DE LA PLAYA	3
4.	RÉGIMEN DE OLEAJE	4
5.	CÁLCULO DEL TRANSPORTE SÓLIDO	8
6.	CONCLUSIONES	10
7.	BIBLIOGRAFÍA	10

1. INTRODUCCIÓN

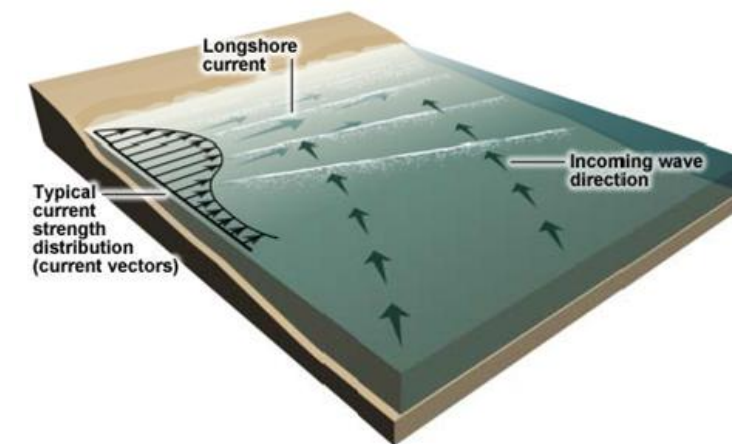
La cuantificación del transporte sólido litoral es fundamental si se quiere actuar sobre una playa. Este anejo tiene como finalidad el análisis en profundidad del transporte sólido litoral en la zona de la playa de La Goleta.

Para llevar a cabo este análisis nos apoyaremos en los siguientes epígrafes: transporte sólido litoral, orientación de la playa, régimen de oleaje, cálculo de transporte sólido y conclusiones.

2. TRANSPORTE SÓLIDO LITORAL

Para poder entender el transporte litoral, hay que conocer su origen. El oleaje, al verse afectado por la topografía submarina, sufre principalmente los fenómenos de refracción y asomeramiento. Al aproximarse a la costa, el oleaje pierde celeridad y aumenta su peralte hasta que llega a un punto donde a determinada relación entre la pendiente del fondo, el peralte de la ola y la profundidad la ola se vuelve inestable y rompe. Es este proceso de rotura el que genera una serie de corrientes a lo largo de la costa que influirán en el transporte sólido. Si el oleaje incide de manera oblicua a la costa, se producirán corrientes transversales y longitudinales que influirán en la dinámica litoral. Si, por el contrario, el oleaje incide perpendicular a la costa, solo encontraremos una corriente transversal.

En el caso del transporte longitudinal, éste afecta desde la línea de orilla hasta el punto de Cornaglia con la siguiente distribución aproximada:



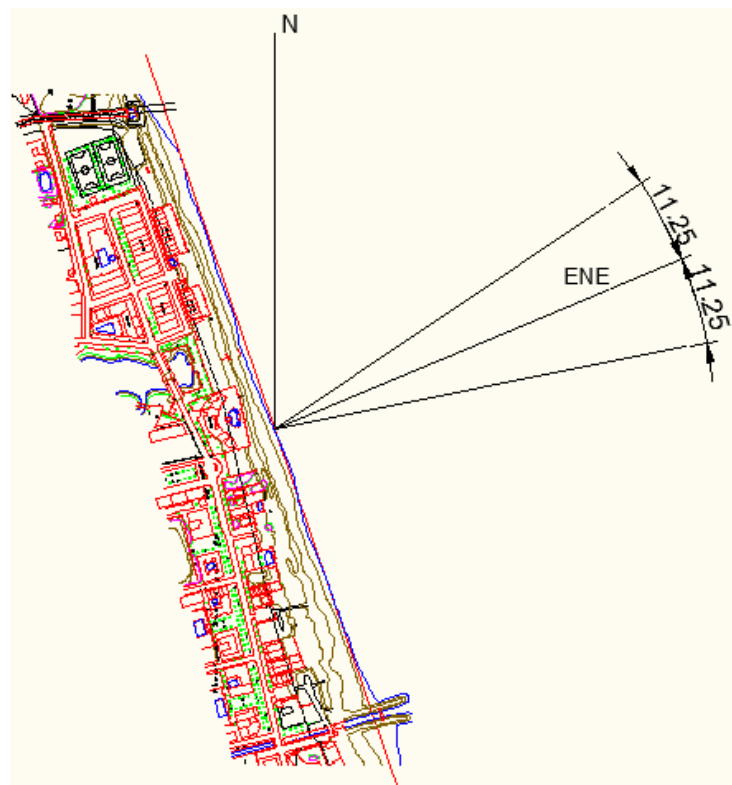
Como se puede observar en el esquema, aproximadamente el 80% del transporte quedaría limitado en la zona más próxima a la orilla con un máximo en la línea de rompientes. El 20% restante, se repartiría por el resto del perfil de manera uniforme.

3. ORIENTACIÓN DE LA PLAYA

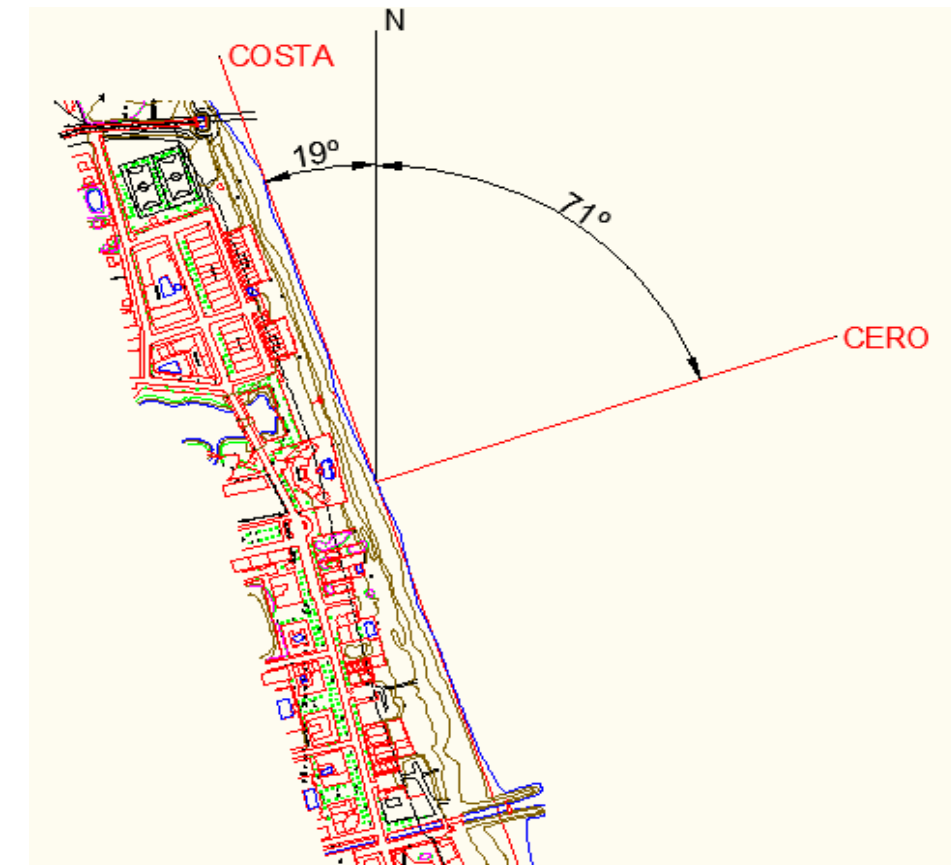
Para hallar el ángulo de incidencia usaremos el límite geográfico, es decir, el sector que incluye los temporales que afectan a la zona de estudio. Por tanto, sabiendo que la orientación de la costa de Tavernes de la Valldigna es de N19W podremos acotar estos sectores. Se ha de tener en cuenta que la línea de costa es irregular, por lo que aproximaremos a una línea recta para despreciar esas irregularidades.

Se puede resaltar que, en caso de oleaje perpendicular a la costa, no se produce transporte longitudinal, del mismo modo que habíamos apuntado en el epígrafe anterior.

Acudiendo con estos datos a la página de Puertos del Estado, considerando el punto WANA 2083110 y los datos del oleaje en régimen medio, encontraremos la frecuencia que se da para cada altura de ola significativa y las direcciones del viento definidos por sectores de 22,5°.



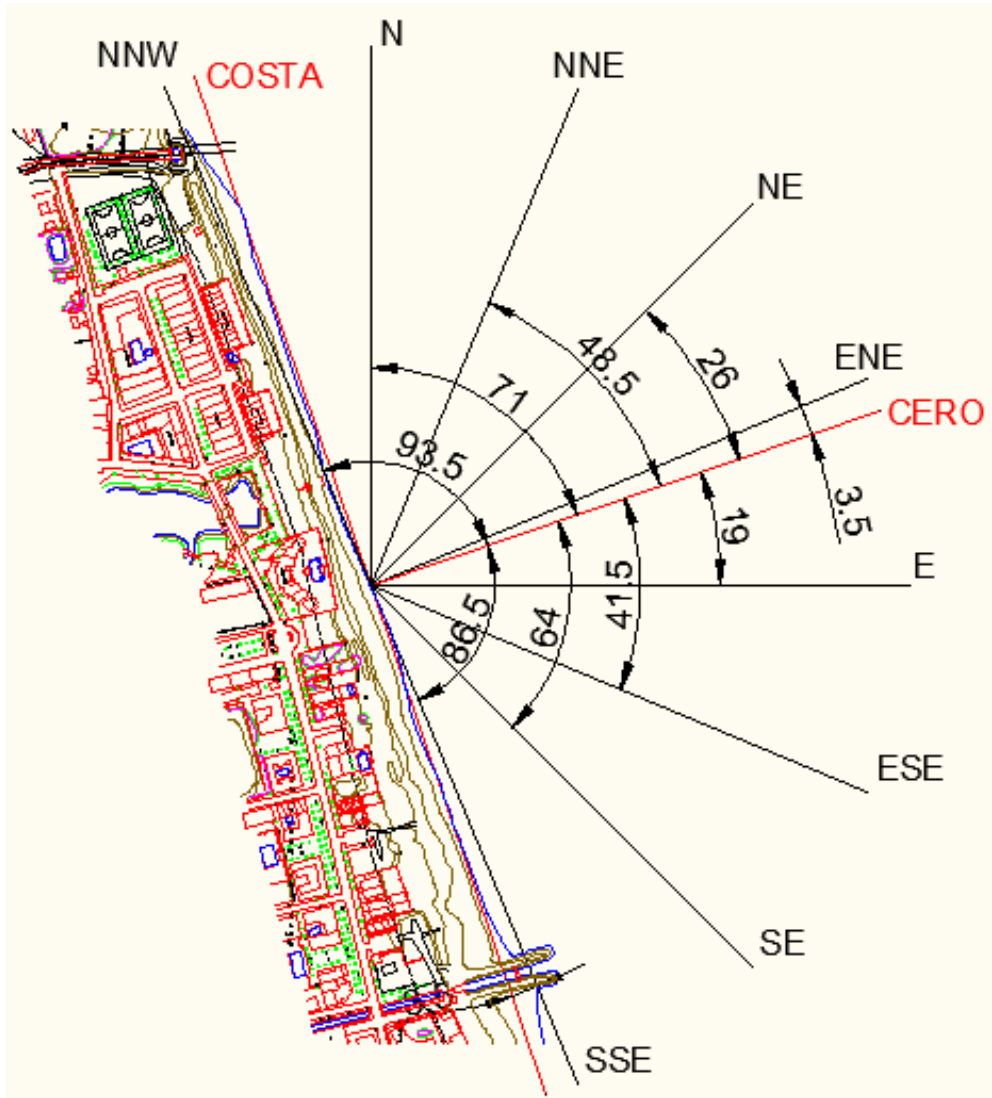
Para medir los ángulos de incidencia del oleaje sobre la playa se ha utilizado la cartografía facilitada por el tutor del proyecto y sobre ella se ha trazado una línea recta tratando de adaptarse a la orientación de la línea de orilla e intentando compensar las irregularidades de la misma. En el esquema siguiente se observa la orientación de la línea de playa respecto al norte.



A partir de esta orientación, ya podemos obtener los ángulos de incidencia (α_0) de los oleajes que pueden producir transporte sólido:

Dirección	Ángulo de incidencia
NNW	93.5
N	71
NNE	48.5
NE	26
ENE	3.5
E	19
ESE	41.5
SE	64
SSE	86.5

En la siguiente imagen se representan gráficamente el resultado:



4. RÉGIMEN DE OLEAJE

Los datos que se van a exponer a continuación han sido facilitados por Puertos del Estado a través del nodo WANA 2083110. Estos datos corresponden al período entre 1996 y 2013. Como se ha comentado anteriormente, sólo se tendrán en cuenta aquellas direcciones del oleaje que generen transporte sólido litoral en la playa de La Goleta.

En la siguiente tabla, se observa la frecuencia que tiene cada rango de alturas de ola significante respecto a cada una de las direcciones:

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	9.508											9.508
N	0.0	.681	.724	.369	.137	.047	.012	-	-	-	-	1.972
NNE	22.5	1.354	2.119	.911	.332	.125	.045	.039	.010	-	-	4.936
NE	45.0	5.638	8.886	4.130	1.520	.628	.252	.131	.074	.033	.014	21.330
ENE	67.5	6.508	7.415	2.062	.585	.162	.057	.041	.023	.012	.002	16.867
E	90.0	6.397	4.085	.638	.135	.041	.023	.004	-	-	-	11.323
ESE	112.5	6.379	2.729	.181	.014	.002	-	-	-	-	-	9.304
SE	135.0	4.670	2.290	.146	.014	-	-	-	-	-	-	7.119
SSE	157.5	1.520	.579	.064	.010	-	-	-	-	-	-	2.173
S	180.0	.819	.269	.055	.006	-	-	-	-	-	-	1.149
SSW	202.5	.599	.222	.035	.006	-	-	-	-	-	-	.862
SW	225.0	.728	.308	.037	-	-	-	-	-	-	-	1.073
WSW	247.5	.878	.577	.074	.021	.002	-	-	-	-	-	1.551
W	270.0	1.600	1.426	.271	.059	.006	.002	-	-	-	-	3.365
WNW	292.5	1.623	1.787	.453	.076	.010	.010	-	-	-	-	3.960
NW	315.0	.911	.817	.222	.070	.014	-	-	-	-	-	2.033
NNW	337.5	.675	.558	.172	.053	.016	-	-	-	-	-	1.475
Total	9.508	40.981	34.789	9.819	3.041	1.055	.402	.215	.107	.045	.016	100 %

Dirección	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	>5	Total
NNW	0,675	0,558	0,172	0,053	0,016							1,474
N	0,681	0,724	0,369	0,137	0,047	0,012						1,97
NNE	1,354	2,119	0,911	0,332	0,125	0,045	0,039	0,01				4,935
NE	5,638	8,886	4,13	1,52	0,628	0,252	0,131	0,074	0,033	0,014	0,023	21,329
ENE	6,508	7,415	2,062	0,585	0,162	0,057	0,041	0,023	0,012	0,002		16,867
E	6,397	4,085	0,638	0,135	0,041	0,023	0,004					11,323
ESE	6,379	2,729	0,181	0,014	0,002							9,305
SE	4,67	2,29	0,146	0,014								7,12
SSE	1,52	0,579	0,064	0,01								2,173
Total	33,822	29,385	8,673	2,8	1,021	0,389	0,215	0,107	0,045	0,016	0,023	

A partir de la tabla anterior, calculamos la probabilidad de que se origine un oleaje de una altura determinada para cada una de las direcciones que influyen en la costa de Tavernes de la Valldigna.

Dirección	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	>5	Total
NNW	0,458	0,379	0,117	0,036	0,011							1
N	0,346	0,368	0,187	0,070	0,024	0,006						1
NNE	0,274	0,429	0,185	0,067	0,025	0,009	0,008	0,002				1
NE	0,264	0,417	0,194	0,071	0,029	0,012	0,006	0,003	0,002	0,001	0,001	1
ENE	0,386	0,440	0,122	0,035	0,010	0,003	0,002	0,001	0,001			1
E	0,565	0,361	0,056	0,012	0,004	0,002						1
ESE	0,686	0,293	0,019	0,002								1
SE	0,656	0,322	0,021	0,002								1
SSE	0,699	0,266	0,029	0,005								1

La frecuencia para cada dirección del régimen de oleaje se representará mediante una distribución normal, con escala logarítmica en el eje de abscisas porque ésta se ajusta bastante bien a los resultados experimentales y cuya recta de ajuste es:

$$H_0 = a - b \cdot \ln(1-F)$$

siendo:

- H_0 la altura de ola significativa en profundidades indefinidas, en metros y representada en el eje de ordenadas en escala normal.
- F la probabilidad de presentación de una altura de ola menor de H_0 ; se representa en el eje de abscisas a escala logarítmica. (1 - F) es la probabilidad de presentación de una altura de ola igual o superior a H_0 .

Así que a continuación hay que calcular F y 1 - F para cada dirección:

F ACUMULADA											
Dirección	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	>5
NNW	0,458	0,836	0,953	0,989	1	1	1	1	1	1	1
N	0,346	0,713	0,901	0,970	0,994	1	1	1	1	1	1
NNE	0,274	0,704	0,888	0,956	0,981	0,990	0,998	1	1	1	1
NE	0,264	0,681	0,875	0,946	0,975	0,987	0,993	0,997	0,998	0,999	1
ENE	0,386	0,825	0,948	0,982	0,992	0,995	0,998	0,999	1	1	1
E	0,565	0,926	0,982	0,994	0,998	1	1	1	1	1	1
ESE	0,686	0,979	0,998	1	1	1	1	1	1	1	1
SE	0,656	0,978	0,998	1	1	1	1	1	1	1	1
SSE	0,699	0,966	0,995	1	1	1	1	1	1	1	1

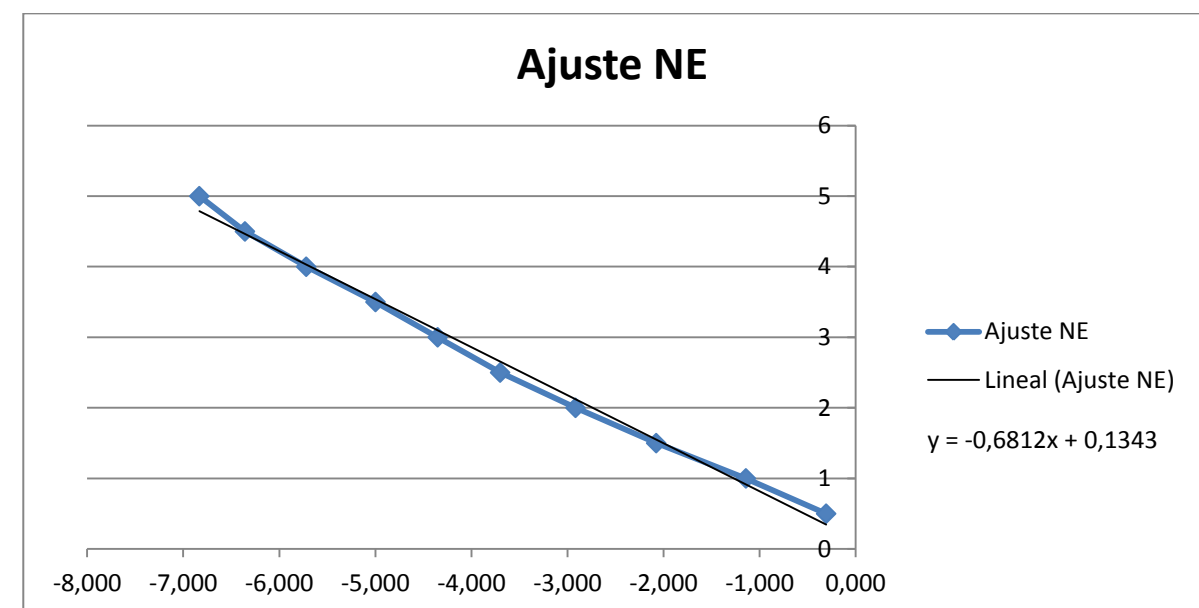
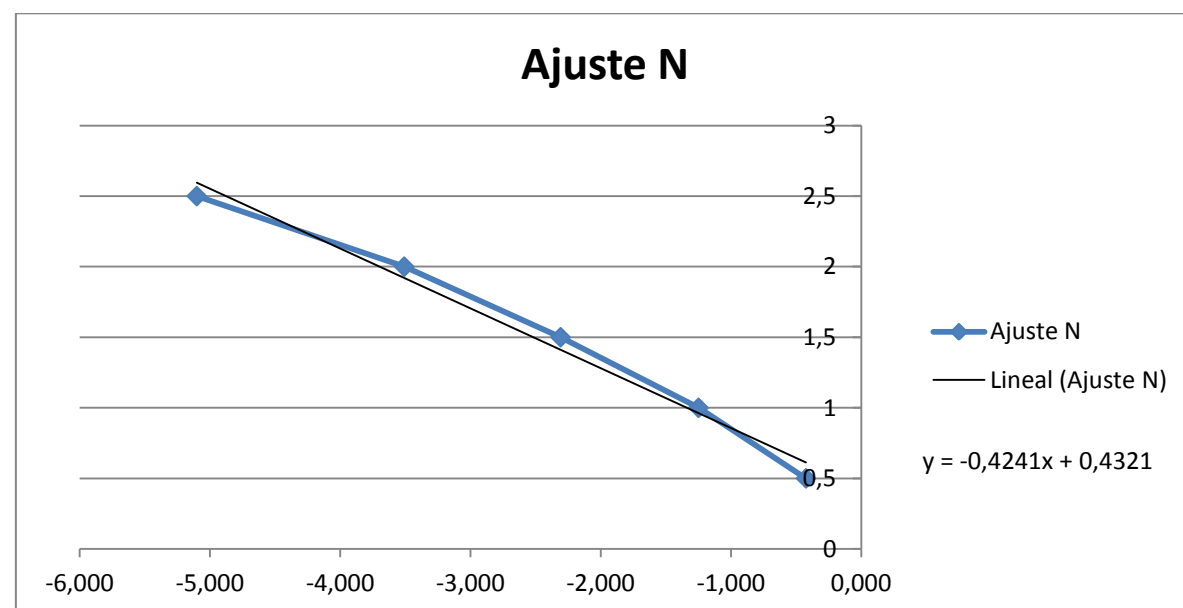
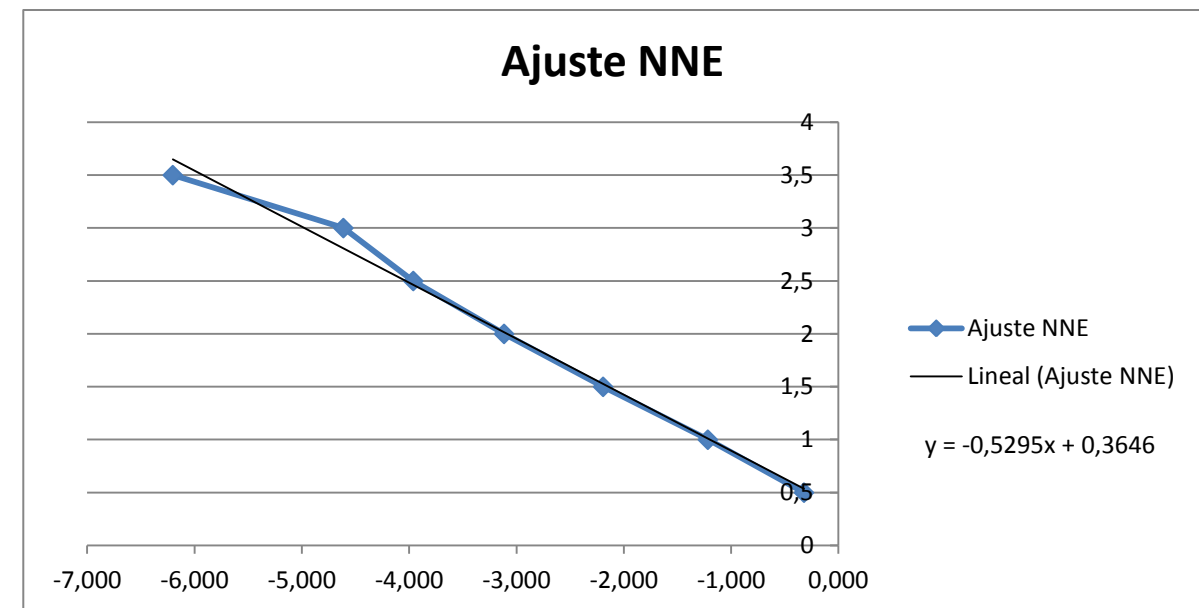
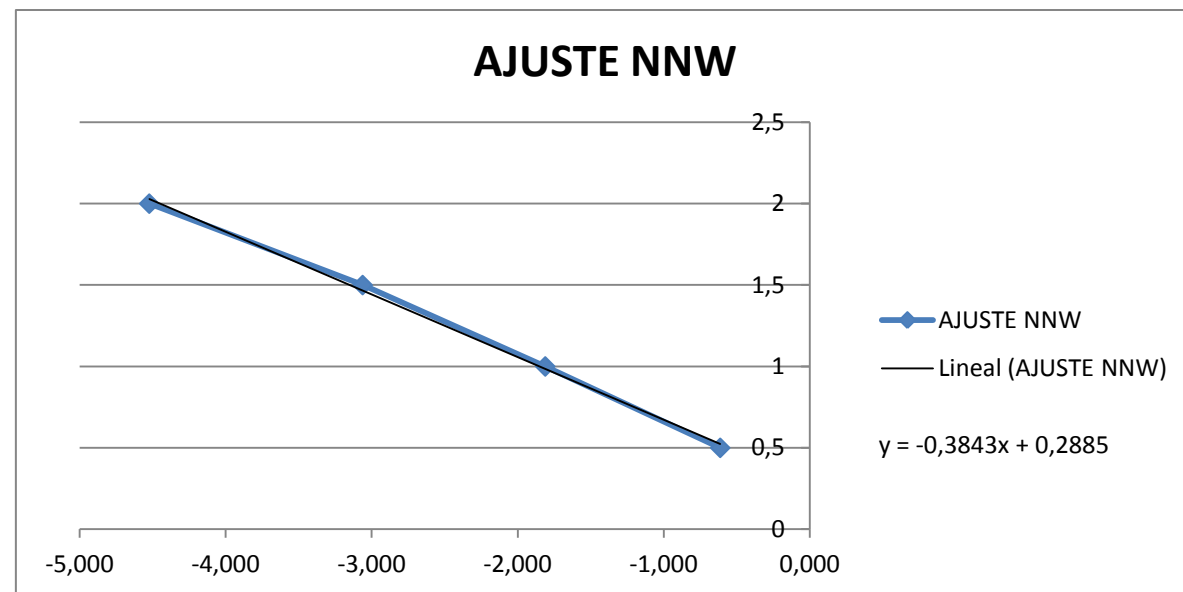
f=1-f											
Dirección	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	>5
NNW	0,542	0,164	0,047	0,011							
N	0,654	0,287	0,099	0,030	0,006						
NNE	0,726	0,296	0,112	0,044	0,019	0,010	0,002				
NE	0,736	0,319	0,125	0,054	0,025	0,013	0,007	0,003	0,002	0,001	
ENE	0,614	0,175	0,052	0,018	0,008	0,005	0,002	0,001			
E	0,435	0,074	0,018	0,006	0,002						
ESE	0,314	0,021	0,002								
SE	0,344	0,022	0,002								
SSE	0,301	0,034	0,005								

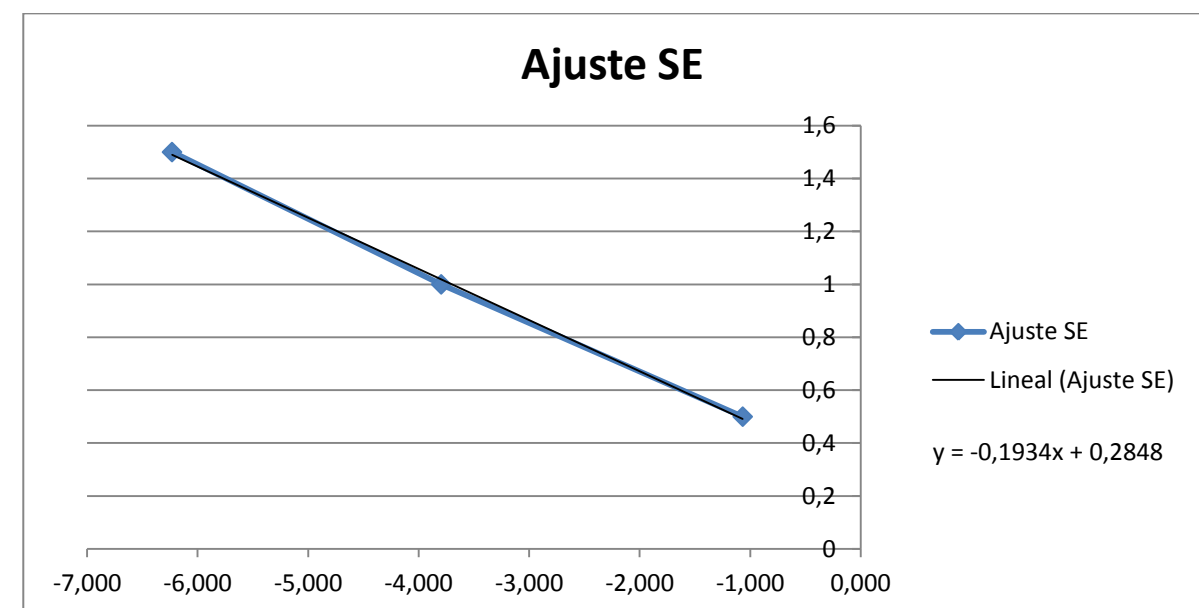
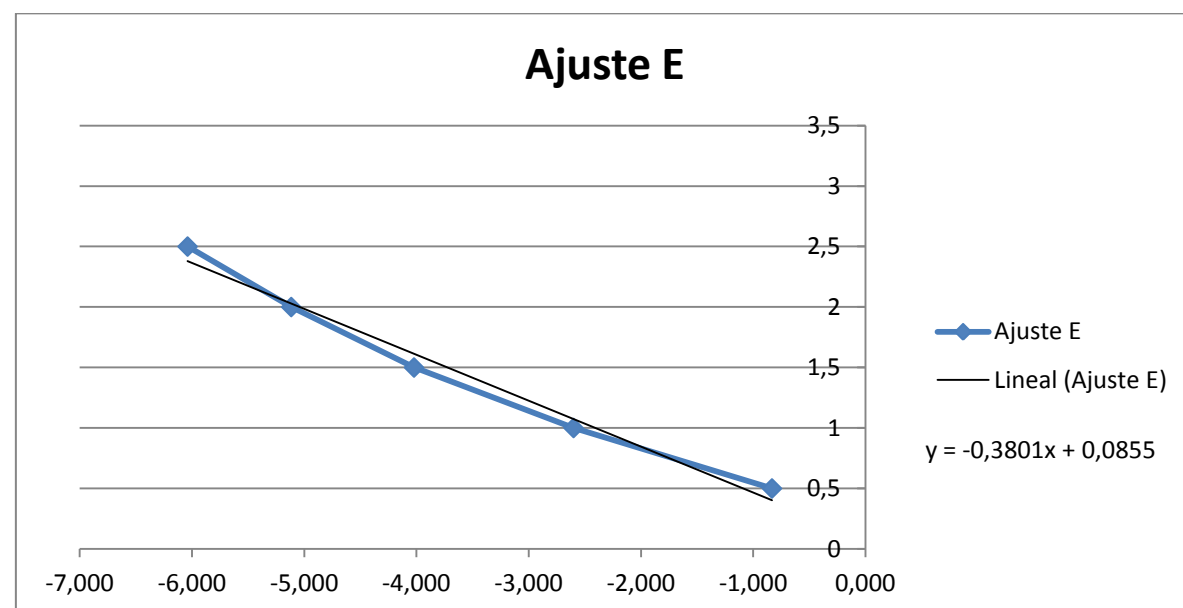
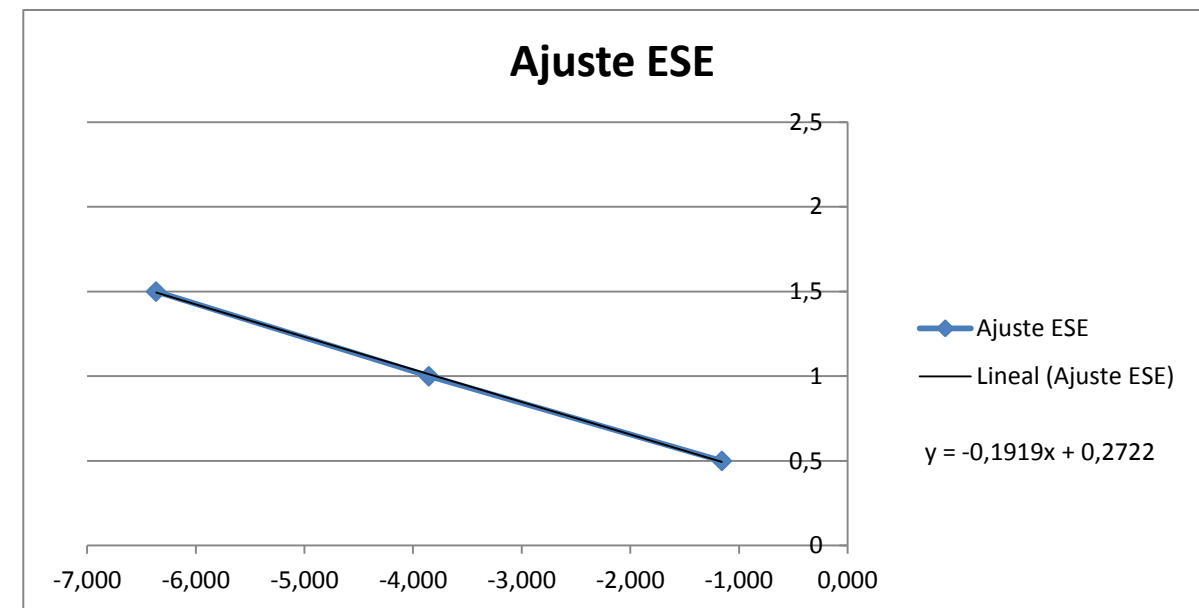
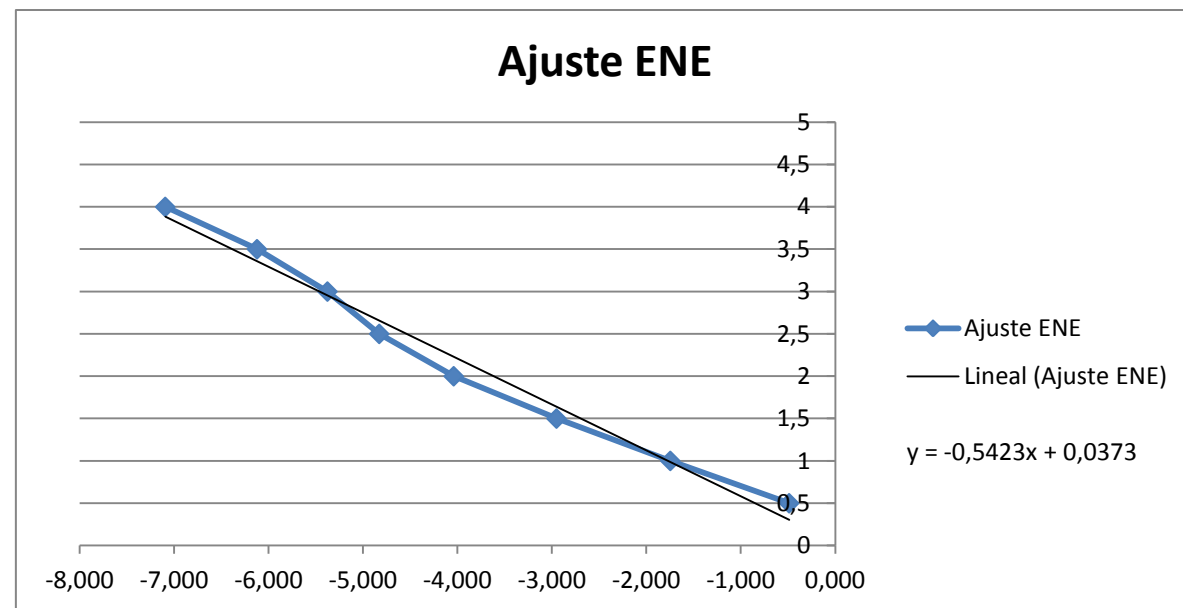
ln(f)											
Dirección	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	>5
NNW	-0,612	-1,811	-3,062	-4,523							
N	-0,424	-1,249	-2,308	-3,508	-5,101						
NNE	-0,321	-1,217	-2,192	-3,115	-3,961	-4,612	-6,202				
NE	-0,307	-1,142	-2,076	-2,916	-3,701	-4,351	-4,998	-5,719	-6,357	-6,832	
ENE	-0,488	-1,746	-2,951	-4,039	-4,828	-5,376	-6,122	-7,094			
E	-0,832	-2,600	-4,021	-5,115	-6,039						
ESE	-1,157	-3,855	-6,366								
SE	-1,067	-3,795	-6,232								
SSE	-1,202	-3,380	-5,381								

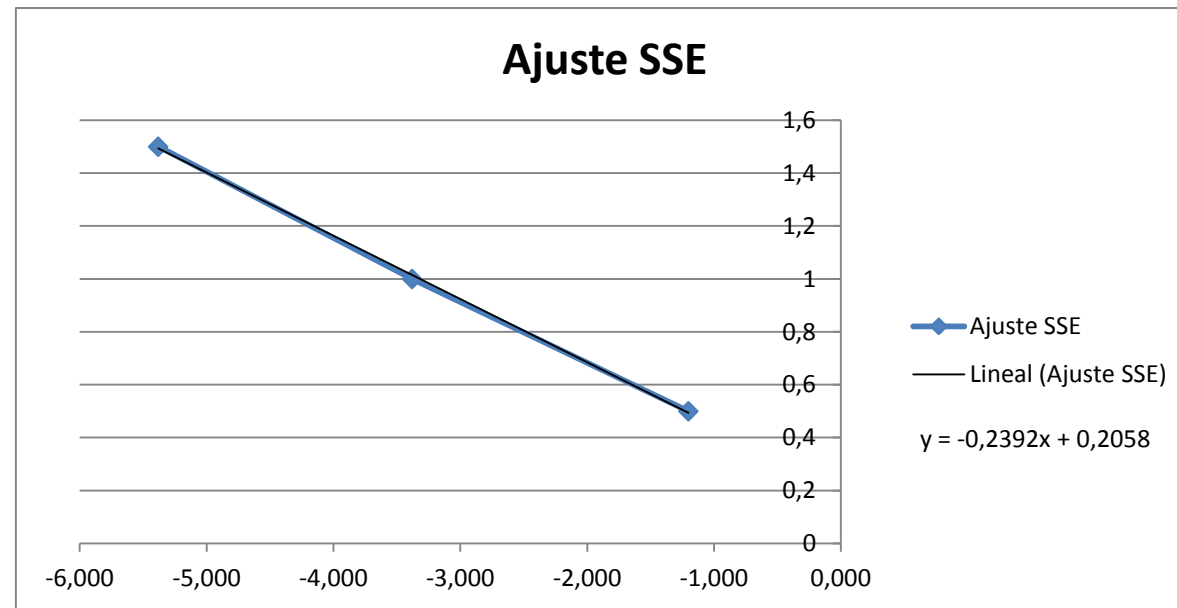
A continuación, obtenemos una recta de ajuste de los valores del ln (f) de cada una de las direcciones que afectan a nuestra playa:

AJUSTE	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
a	0,289	0,432	0,365	0,134	0,146	0,120	0,237	0,285	0,206
b	0,384	0,424	0,530	0,681	0,508	0,368	0,204	0,193	0,239

A continuación se adjuntan los resultados del ajuste así como la representación gráfica de los mismos:







5. CÁLCULO DEL TRANSPORTE SÓLIDO

Para el cálculo del transporte sólido litoral se emplea la formulación matemática del CERC (Coastal Engineering Research Center). Esta formulación está basada en un amplio número de ensayos en modelo reducido y datos de campo y ha sido contrastada por el Centro de Estudios de Puertos y Costas Ramón Iribarren.

Hay que tener en cuenta que los métodos o modelos que se pueden emplear no proporcionan el valor exacto del caudal sólido transportado, sino la capacidad de transporte del oleaje de la zona en cuestión, que podrá aproximarse más o menos a la realidad.

En este epígrafe se expondrá la formulación matemática del CERC para el estudio del transporte de sedimentos en la playa de La Goleta.

En función de las características del oleaje presentadas anteriormente, las expresiones a emplear son las siguientes:

$$Q(m^3/año)=1290 \cdot P_{Is}$$

siendo
$$P_{Is} = 0.05 \cdot \rho \cdot g^{3/2} \cdot H_{so}^{5/2} \cdot \cos(\alpha_o)^{1/4} \cdot \text{sen}(2\alpha_o)$$

Además, se introduce un valor “ f ” que representa la probabilidad de presentación de una altura de ola determinada,

$$Q = 2045 \cdot 10^3 \cdot H_{so}^{5/2} \cdot f \cdot \cos(\alpha_o)^{1/4} \cdot \text{sen}(2\alpha_o)$$

El valor de “ f ” se obtiene del siguiente modo:

$$H_o = a - b \cdot \ln(1-F)$$

$$f = 1-F$$

$$\rightarrow H_o = a - b \cdot \ln(f)$$

Por lo que,

$$f = e^{(H_o - a)/-b} = e^{(a - H_o)/b}$$

Finalmente el caudal se calcula como:

$$Q = 2045 \cdot 10^3 \cdot H_o^{5/2} \cdot e^{(a - H_o)/b} \cdot \cos(\alpha_o)^{1/4} \cdot \text{sen}(2\alpha_o)$$

Dicha formulación se emplea para cada una de la direcciones del oleaje que generan transporte sólido litoral en la playa de La Goleta. Para la obtención de este caudal, las alturas de ola empleadas son la media de las alturas de los intervalos proporcionados por Puertos del Estado. La suma de los caudales parciales de cada dirección proporcionará el caudal total de la misma.

$k_g = \theta/22.5$

Se considerará k_g positivo si el transporte es N-S y k_g negativo en caso contrario. Así, la expresión del caudal es:

$Q = 2045 \cdot 10^3 \cdot H_o^{5/2} \cdot e^{(a-Ho)/b} \cdot k_o \cdot k_g \cdot \cos(\alpha_o)^{1/4} \cdot \sin(2\alpha_o)$

Así, los valores de k_o y k_g son los siguientes:

Q sólido											
Dirección	0,25	0,75	1,25	1,75	2,25	2,75	3,25	3,75	4,25	4,75	5,25
NNW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N	45.659	218.931	241.496	172.271	99.324	50.456	23.565	0	0	0	0
NNE	71.057	430.833	600.942	542.068	395.200	253.859	149.924	83.395	0	0	0
NE	41.374	309.570	532.854	593.140	533.638	423.010	308.287	211.618	138.892	88.037	0
ENE	6.343	36.974	49.580	42.996	30.136	18.611	10.567	0	0	0	0
E	27.244	109.265	100.812	60.150	29.007	0	0	0	0	0	0
ESE	55.317	74.697	23.204	0	0	0	0	0	0	0	0
SE	49.055	57.636	15.579	0	0	0	0	0	0	0	0
SSE	3.218	6.203	2.751	789	0	0	0	0	0	0	0

Dirección	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
alpha	93,50	71,00	48,50	26,00	3,50	19,00	41,50	64,00	86,50
Ko	0,01	0,02	0,05	0,21	0,17	0,11	0,09	0,07	0,02
Kg(+)	0,34	1,00	1,00	1,00	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00
Kg(-)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	1,00	1,00	1,00	0,66

A partir de lo expuesto anteriormente, se calculan los caudales adjuntos en la siguiente tabla. Se considerarán positivos si la dirección de transporte es N-S y negativos si la dirección es S-N.

Q sólido	
Dirección	Total
NNW	0
N	851.701
NNE	2.527.278
NE	3.180.419
ENE	195.206
E	326.479
ESE	153.218
SE	122.270
SSE	12.960

	Caudal total (m3/año)								
	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
Q positivo	0,00	16.778,51	124.721,19	678.351,57	21.584,43	0,00	0,00	0,00	0,00
Q negativo	0,00	0,00	0,00	0,00	11.340,97	36.967,18	14.256,91	8.705,62	184,62

La expresión de "f" hay que corregirla, multiplicándola por un factor k_o , que da la probabilidad, en tanto por uno, de ocurrencia de una determinada dirección del oleaje en un año, con lo cual la expresión resultante es:

$Q = 2045 \cdot 10^3 \cdot H_o^{5/2} \cdot e^{(a-Ho)/b} \cdot k_o \cdot \cos(\alpha_o)^{1/4} \cdot \sin(2\alpha_o)$

Otro factor corrector a tener en cuenta es k_g . Este factor es la relación entre el sector que genera transporte sólido en un sentido y la totalidad del sector. Se utilizará en dos casos: cuando el sector de una dirección supera la línea de costa o cuando el sector intersecta la perpendicular de la misma. En el segundo caso, el sector estará dividido en dos, generando uno transporte en un sentido y el otro en otro.

Transporte N-S	841.435,70
Transporte S-N	71.455,30
Transporte Neto	769.980,40

6. CONCLUSIONES

Los resultados anteriores verifican lo comentado en el anejo Clima Marítimo. Como podemos observar, los temporales de NE son los principales causantes del transporte sólido litoral en la playa de La Goleta, seguidos por los temporales NNE. Asimismo, se observa que las direcciones del segundo cuadrante tienen poca relevancia en el área de estudio.

Por último, hay que tener en cuenta que los resultados obtenidos tienen una validez meramente teórica.

7. BIBLIOGRAFÍA

- www.puertos.es , Puertos del Estado
- Shore Protection Manual I