



ANEXO 6: DINÁMICA LITORAL

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.	56
2.	ORIENTACIÓN DE LA PLAYA.....	56
3.	TRANSPORTE SÓLIDO DEL LITORAL	57
4.	REGIMEN DE OLEAJE	57
5.	CÁLCULO DEL TRANSPORTE SOLIDO	59
5.1.	FACTORES K0 Y KF.	60
5.2.	RESULTADOS.....	60
6.	CONCLUSIONES	60
7.	BIBLIOGRAFIA	60

1. INTRODUCCIÓN.

Este anexo va en relación con el anterior “Anexo 5: Clima marítimo”, su objetivo es el de demostrar que el sentido del transporte es, en efecto, como ya se mencionó.

A lo largo de este anexo desarrollaremos algunos conceptos que ya han sido mencionados con el fin de avanzar en el análisis del transporte sólido litoral para una futura actuación.

Conocer el volumen medio de sedimentos es muy complicado no solo por las estimaciones que haremos sino también por el gran número de parámetros que se manejan. Primero de todo estudiaremos como está orientada la playa y así conoceremos las posibles olas que puedan afectar a la playa, régimen medio de oleaje. Posteriormente se verá el transporte sólido litoral y por último se calculará el transporte sólido.

2. ORIENTACIÓN DE LA PLAYA

Lo principal que hay que conocer para este estudio es la orientación de la playa, ya que a partir de ese parámetro y conociendo las posibles barreras que influyen en nuestra área de estudio podemos acotar otros parámetros eliminando aquellos que no vayan a repercutir en nuestra playa.

Respecto a nuestra playa como se puede observar en la siguiente figura tiene un ángulo respecto al Norte de 47 grados hacia el Este. Esto equivale a una dirección prácticamente igual a la nordeste.



Figura 1: Orientación de la playa (N47ºE).

Fijándonos ahora en la situación global vemos que al Norte existe el cabo de San Antonio el cual nos proporciona una barrera natural frente al viento y el oleaje procedente del Norte hasta prácticamente la dirección Este. Mientras que por el sur nos encontramos con el puerto de Jávea.

Como podemos apreciar, se ha simplificado la línea de costa a una línea rectilínea para así evitar las irregularidades del terreno y se ha representado la línea cero, la cual es perpendicular a la costa es decir a 47º de la dirección Este.



Figura 2: Línea cero.

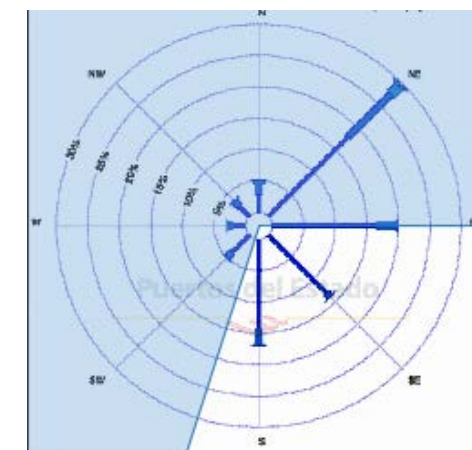


Figura 3: Direcciones posibles.

En esta última figura se muestra las direcciones en las cuales puede incidir el oleaje debido tanto al cabo de San Antonio y al puerto de Jávea siendo esta última dirección de 17º del Sur.

A partir de conocer dichas direcciones podemos conocer cuáles son los ángulos de incidencia (α_0).

Dirección	ángulo de incidencia α_0
E	47
EES	24,5
ES	2
ESS	22,5
S	45
SSW	67,5

Tabla 1: Dirección y ángulo de incidencia.

Debido a la situación geográfica y a las construcciones de alrededor, la cala se encuentra muy protegida de la influencia del oleaje.

3. TRANSPORTE SÓLIDO DEL LITORAL

La dinámica litoral es el conjunto de procesos que suceden en la costa debidos a los diferentes agentes del clima marítimo. En la dinámica litoral hay que tener en cuenta el viento, el oleaje, las variaciones del mar y las corrientes como ya se explicó en el anexo anterior.

En lo relacionado al transporte sólido litoral, este consiste el en movimiento hacia la costa de sedimentos que pueden llegar a ser desde arenas finas hasta gruesos como la grava. Este material puede llegar a la costa por muchos procesos en los que se encuentran los físicos, biológicos químicos y mecánicos. A pesar de que el gran generador de sedimentos es los ríos nos vamos a centrar en aquello procedentes del mar, ya que se ajusta más a nuestro caso.

El oleaje cuando se va acercando a la costa alcanza un momento donde la altura de la ola es mayor a la profundidad del mar por lo que nos lleva a una disminución de su velocidad, aumenta el peralte lo que lleva a la rotura de la ola. Como ya se explicó anteriormente este evento provoca unas ciertas corrientes en toda la costa que influyen directamente en el transporte de sedimentos.

Cuando el transporte longitudinal del litoral se ve interrumpido por un obstáculo, la morfología de la playa cambia tanto a corto como a largo plazo creándose así, zonas donde la playa crece (zonas de acreción) y zonas donde la playa disminuye (zonas de recesión). En este caso de transporte longitudinal este se ve afectada desde la línea de la costa hasta el punto de Cornaglia. Como se puede apreciar en la imagen, la gran mayoría de los sedimentos se posan en la zona más próxima a la orilla.

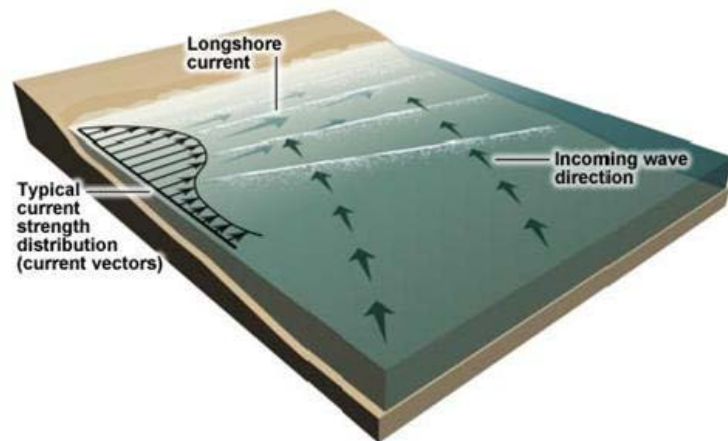


Figura 4: Esquema del transporte de sólidos.

4. REGIMEN DE OLEAJE

Los datos con los cuales nos vamos a manejar son proporcionados por el Ministerio de Fomento en la página web de puertos del estado. Nos basaremos en los resultados obtenidos por la boyta de Valencia y el nodo SIMAR 2088106 en los años comprendidos en 2005 y 2014. Como ya explicamos en el anexo anterior solo tendremos en cuenta aquellas direcciones las cuales puedan alcanzar la costa.

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	3.526												3.526
N	0.0	.259	.626	.349	.179	.058	.027	.004	-	-	-	-	1.502
NNE	22.5	.697	1.850	1.292	.505	.134	.076	.022	.004	.004	-	-	4.585
NE	45.0	1.756	4.813	2.874	1.157	.554	.219	.183	.080	.022	.004	.009	11.673
ENE	67.5	3.714	7.495	3.370	1.502	.684	.255	.179	.098	.031	.004	-	17.331
E	90.0	4.979	5.005	1.153	.380	.121	.036	.022	.004	-	-	-	11.700
ESE	112.5	4.867	3.365	.474	.080	.013	-	-	-	-	-	-	8.813
SE	135.0	5.501	4.375	.273	.036	.009	-	-	-	-	-	-	10.194
SSE	157.5	3.732	5.685	1.283	.134	.004	-	-	-	-	-	-	10.838
S	180.0	1.104	1.305	.174	.027	-	-	-	-	-	-	-	2.610
SSW	202.5	.733	1.171	.152	.036	-	-	-	-	-	-	-	2.092
SW	225.0	.751	3.079	.988	.063	-	-	-	-	-	-	-	4.880
WSW	247.5	.362	2.632	2.489	.585	.049	.009	.004	-	-	-	-	6.132
W	270.0	.121	.612	.577	.098	.036	.009	-	-	-	-	-	1.452
WNW	292.5	.152	.349	.313	.125	-	-	-	-	-	-	-	.939
NW	315.0	.085	.366	.340	.080	.009	-	-	-	-	-	-	.880
NNW	337.5	.147	.335	.228	.116	.009	.004	.013	-	-	-	-	.854
Total	3.526	28.960	43.064	16.326	5.104	1.680	.648	.429	.188	.058	.009	.009	100%

Figura 5: Altura de ola significativa y dirección de procedencia.

En esta tabla encontramos las frecuencias que tiene las alturas de olas significante en relación a la dirección de cada una de ellas.

Dirección	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	>5	Total
E	4,979	5,005	1,153	0,38	0,121	0,36	0,22	0,04				12,258
EES	4,867	3,365	0,474	0,08	0,013	0,013						8,812
SE	5,501	4,375	0,273	0,36	0,009							10,518
SSE	3,732	5,685	1,283	0,134	0,004							10,838
S	1,104	1,305	0,174	0,27								2,853
SSW	0,733	1,171	0,152	0,036								2,092
Total												47,371

Tabla 2: Frecuencia altura de ola significativa por dirección.

La frecuencia para cada dirección se representa mediante una distribución normal, con una escala logarítmica.

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

En la siguiente serie de tablas se muestra los cálculos necesarios para llegar a calcular la ola significativa (H_0). En esta tabla 3 se muestra la frecuencia para cada altura según su dirección.

ANEXO Nº6 DINÁMICA LITORAL

Dirección	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	>5	Total
E	0,406	0,408	0,094	0,031	0,010	0,029	0,018	0,003	0	0	0	1
EES	0,552	0,382	0,054	0,009	0,001	0,001	0,0	0,0	0	0	0	1
SE	0,523	0,416	0,026	0,034	0,001	0	0	0	0	0	0	1
SSE	0,344	0,525	0,118	0,012	0	0	0	0	0	0	0	1
S	0,387	0,457	0,061	0,095	0	0	0	0	0	0	0	1
SSW	0,350	0,560	0,073	0,017	0	0	0	0	0	0	0	1

Tabla 3: Frecuencia de ocurrencia por dirección.

Sobre la tabla 4 se trata de la frecuencia acumulada por cada dirección siendo la probabilidad de que se presente una ola menor de H_0 en la costa.

Dirección	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	>5
E	0,406	0,814	0,909	0,940	0,949	0,979	0,997	1,000	1	1	1
EES	0,552	0,934	0,988	0,997	0,999	1,000	1,0	1,0	1	1	1
SE	0,523	0,939	0,965	0,999	1,000	1	1	1	1	1	1
SSE	0,344	0,869	0,987	1,000	1	1	1	1	1	1	1
S	0,387	0,844	0,905	1,000	1	1	1	1	1	1	1
SSW	0,350	0,910	0,983	1,000	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 4: frecuencia acumulada.

Esta tabla 5 ya muestra parte de la formula estamos en la probabilidad de que se presente una altura de ola superior o igual a la ola significativa (1-F).

Dirección	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	>5
E	0,594	0,186	0,091	0,060	0,051	0,021	0,003	0,000	0	0	0
EES	0,448	0,066	0,012	0,003	0,001	0,000	0,0	0,0	0	0	0
SE	0,477	0,061	0,035	0,001	0,000	0	0	0	0	0	0
SSE	0,656	0,131	0,013	0,000	0	0	0	0	0	0	0
S	0,613	0,156	0,095	0,000	0	0	0	0	0	0	0
SSW	0,650	0,090	0,017	0,000	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 5: $f=1-F$

Finalmente, en esta tabla observamos ya el logaritmo neperiano de (1-F).

Dirección	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	>5
E	-0,521	-1,685	-2,392	-2,806	-2,984	-3,853	-5,725				
EES	-0,804	-2,721	-4,420	-5,826	-6,519						
SE	-0,740	-2,796	-3,350	-7,064							
SSE	-0,422	-2,032	-4,364	-7,905							
S	-0,489	-1,860	-2,358								
SSW	-0,431	-2,409	-4,062								

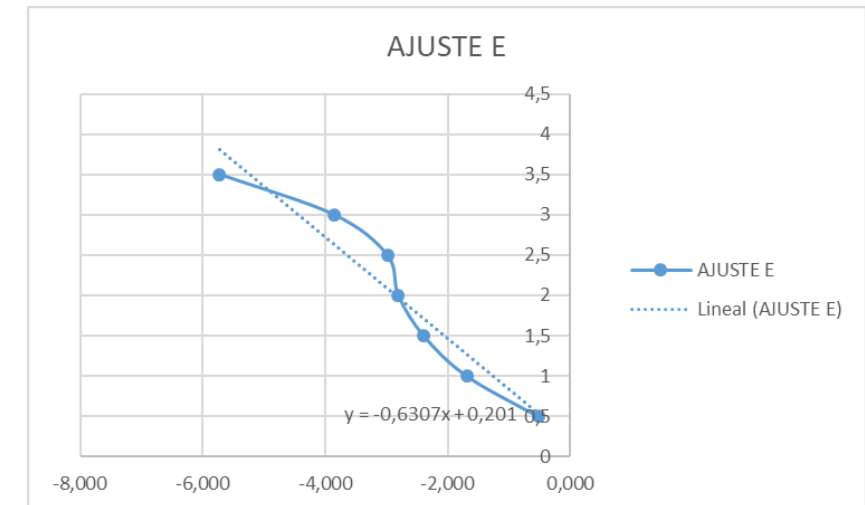
Tabla 6: $\ln(f)$ 

Figura 6: Curva de distribución para la dirección E.

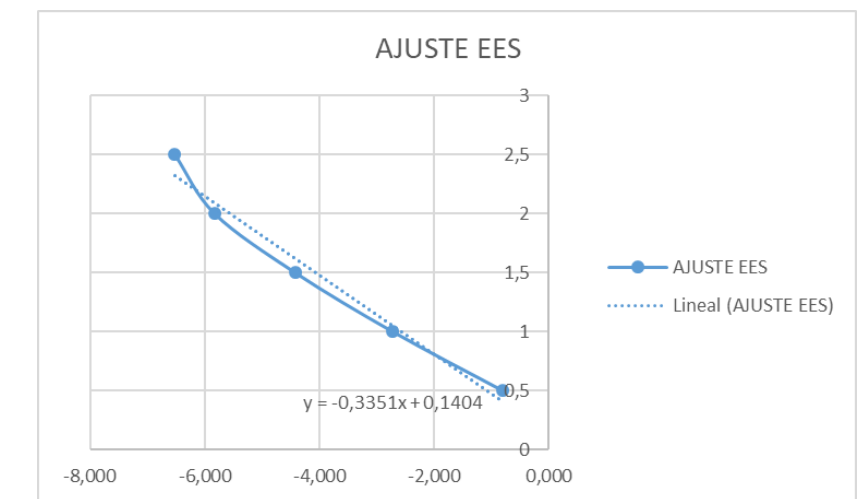


Figura 7: Curva de distribución para la dirección EES.

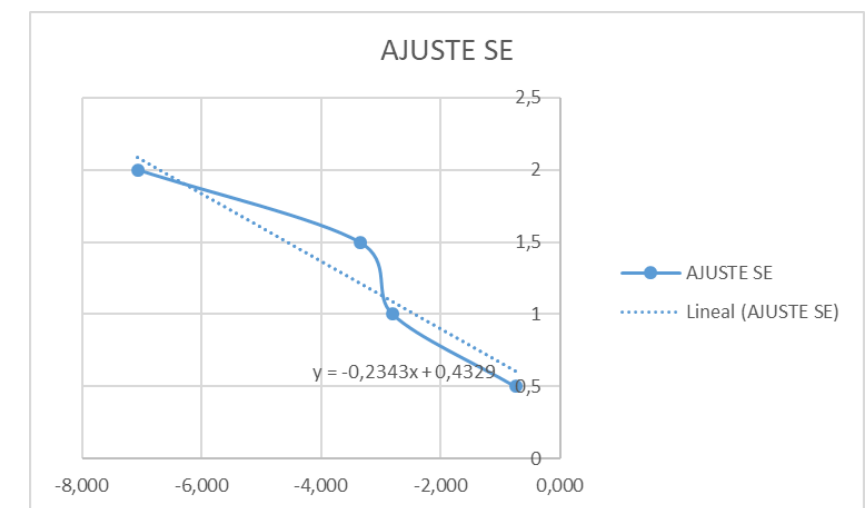


Figura 8: Curva de distribución para la dirección SE.

ANEXO Nº6 DINÁMICA LITORAL

De dichas distribuciones hallamos los valores a y b.

	E	EES	SE	SSE	S	SSW
a	0,201	0,1404	0,4329	0,5295	0,2172	0,368
b	0,6307	0,3351	0,2343	0,1958	0,4989	0,2747

Tabla 7: Parámetros de la recta de ajuste.

5. CÁLCULO DEL TRANSPORTE SOLIDO

Lo siguiente y último a calcular en este anexo es el transporte de solido que llega a nuestra línea de costa. Para ello, nos basaremos en la fórmula del CERC (Coastal Engineering Research Center). Esta fórmula proviene de numerosos ensayos en modelos de reducidos y de datos obtenidos en los lugares de estudio. Esto también nos indica, que nunca vamos a tener el valor exacto sino un dato aproximado pero que nos ayudará a conocer cuál es el caudal de solido que llega a nuestra cala. Entre las diferentes expresiones del volumen de transporte sólido muchas se corresponden a la formula general $Q=a \cdot E^b$

Donde,

E: la energía del oleaje en la dirección del transporte y a y b son coeficiente.

Así pues, podemos aproximar las expresiones a:

$$Q \left(\frac{m^3}{año} \right) = 1290 \cdot P_{ls}$$

Para,

$$P_{ls} = 0.05 \cdot \rho \cdot g^{\frac{3}{2}} \cdot H_{s0}^{\frac{5}{2}} \cdot \cos(\alpha_0)^{(1/4)} \cdot \text{sen}(2\alpha_0)$$

Donde,

- H_{s0} : corresponde a la altura de ola significativa en profundidades indefinidas. Según la ROM se considera la altura significativa H_s .
- ρ : la densidad del agua
- α_0 : ángulo de incidencia

Para hallar el resultado más óptimo se realiza el estudio en función de la oblicuidad, uniendo los regímenes medios direccionales y sustituiremos la expresión por un valor medio así contaremos con el efecto de la dispersión. Para minimizar los errores hay que contar con que el ángulo sea pequeño, aunque eso conlleve a que el transporte solido lo sea también. Nos basaremos en la ROM 0.3-91 para escoger el ángulo de los sectores siendo este de 22.5°. A continuación, se introduce el parámetro “f” que proviene del apartado anterior $f=1-F$.

$$Q = 2030 \cdot 10^3 \cdot f \cdot H_{s0}^{\frac{5}{2}} \cdot \cos(\alpha_0)^{(1/4)} \cdot \text{sen}(2\alpha_0)$$

Dirección	0,25	0,75	1,25	1,75	2,25	2,75	3,25	3,75	4,25	4,75	5,25
E	34402	167534	296170	454019	712046	493135	115194	0	0	0	0
EES	21089	48332	31676	18019	16887	0	0	0	0	0	0
SE	2126	4241	8741	494	0	0	0	0	0	0	0
SSE	29047	90548	31535	2120	0	0	0	0	0	0	0
S	35925	142167	310028	0	0	0	0	0	0	0	0

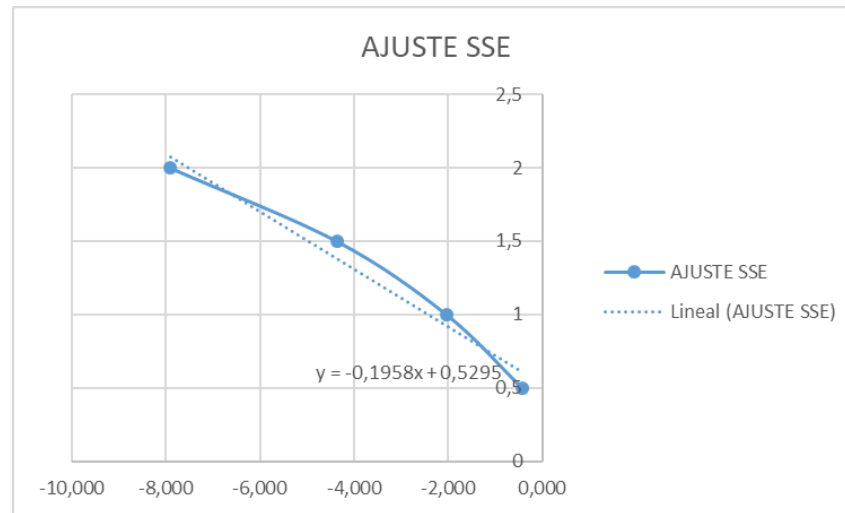


Figura 9: Curva de distribución para la dirección SSE.

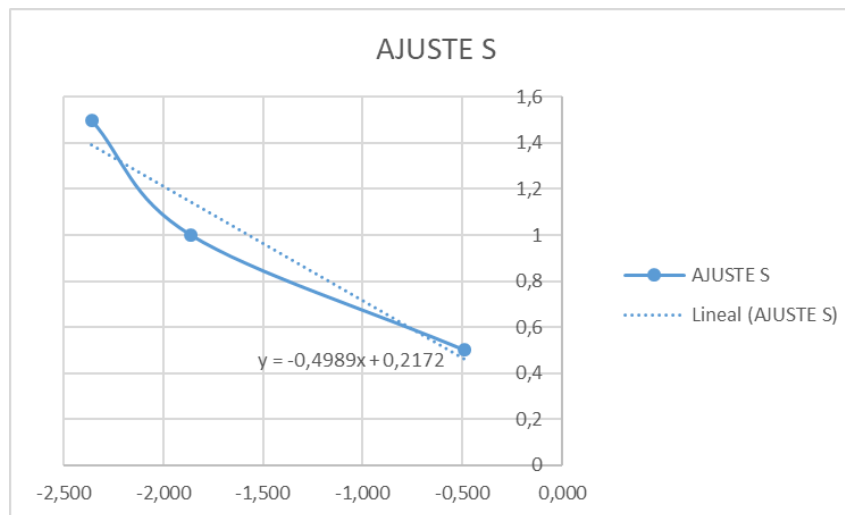


Figura 10: Curva de distribución para la dirección S.

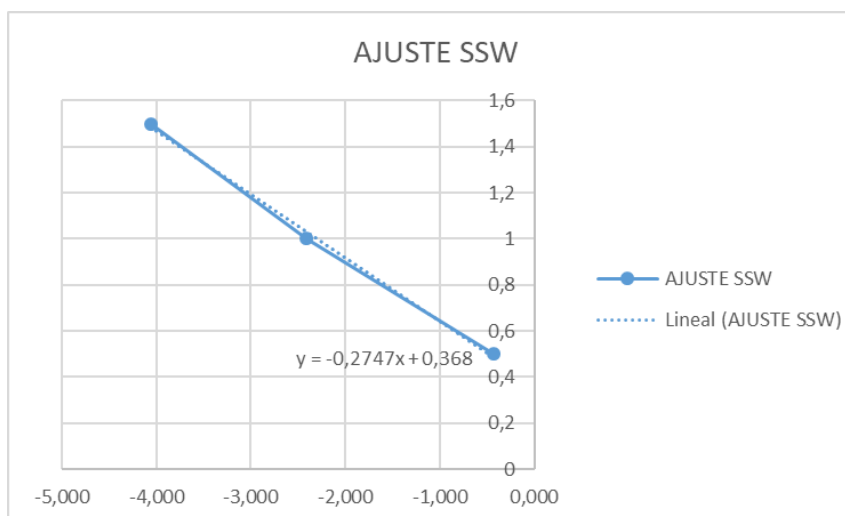


Figura 11: Curva de distribución para la dirección SSW.



ANEXO Nº6 DINÁMICA LITORAL

SSW	23089	49789	34190	0	0	0	0	0	0	0	0
-----	-------	-------	-------	---	---	---	---	---	---	---	---

Tabla 8: Caudal de transporte de sólido.

Dirección	TOTAL
E	2272499
EES	136003
SE (Este)	15603
SSE	153250
S	488121
SSW	107068

Tabla 9: Caudal total por dirección.

Despejando de la fórmula de la ola significativa tenemos que $f = e^{\left(\frac{a-H_0}{b}\right)}$, sin embargo el parámetro f no es del todo correcto y es necesario multiplicarlo por el parámetro k₀ (factor de probabilidad de presentación de una determinada dirección).

También hay que tener en consideración en

Finalmente tenemos que la fórmula del caudal de los sedimentos es:

$$Q = 2030.10^3 \cdot e^{\frac{a-H_0}{b}} \cdot H_{s0}^{\frac{5}{2}} \cdot k_0 \cdot k_f \cos(\alpha_0)^{(1/4)} \cdot sen(2\alpha_0).$$

5.1. FACTORES K0 Y KF.

- k₀: factor de probabilidad de presentación de una dirección de oleaje.

Viene explicada en el Psector de la ROM 0.3-91:

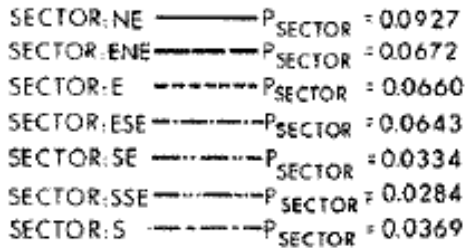


Figura 12: Psector de la ROM0.3-91.

- Kf: factor de forma:

Determina la relación entre el sector teórico inicial y el sector real. El valor es 1 siempre y cuando forme parte de las rosas principales sino se calcula a partir de:

$$k_f = \theta / 22.5$$

dirección	E	EES	SE (ESTE)	SE (S)	SSE	S
θ ₀	11,25	22,5	13,5	9,25	22,5	17
kf	0,5	1	0,6	0,41	1	0,76

Tabla 10: Factor de forma según la dirección.

Hemos dividido nuestra área de acción en dos, al norte de nuestra línea cero donde la corriente será norte-sur y al sur de nuestra línea cero donde la corriente será sur-norte.

5.2. RESULTADOS

Dirección	0,25	0,75	1,25	1,75	2,25	2,75	3,25	3,75	4,25	4,75	5,25
E	1135	5529	9774	14983	23498	16273	3801	0	0	0	0
EES	1356	1865	837	1159	1086	0	0	0	0	0	0
SE (ESTE)	43	85	175	10	0	0	0	0	0	0	0
SE(S)	29	58	120	7	0	0	0	0	0	0	0
SSE	82	90548	31535	2120	0	0	0	0	0	0	0
S	1326	5246	11440	0	0	0	0	0	0	0	0
SSW	218	470	322	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 11: Caudal con los factores.

Dirección	TOTAL	Dirección	Suma	Total bruto	Dirección
E	74992,4803	N-S			
EES	6302,44645	N-S	81607,6079		
SE (Este)	312,681141	N-S		61913,0908	S-N
SE (S)	214,244485	S-N			
SSE	124285,134	S-N	143520,699		
S	18011,6649	S-N			
SSW	1009,65487	S-N			
Total neto	225128,307				

Tabla 12: Total por dirección.

6. CONCLUSIONES

Como conclusión, la dirección más desfavorable para la Cala de Pope es la SSE, la que peor oleaje tiene es la dirección Este, pero al estar protegida por el cabo de San Antonio se ha visto reducido a la mitad. Esto se demuestra en la última tabla donde vemos como el oleaje es mayor Sur-norte que Norte-sur. Por último, cabe recordar que estos resultados son solo de carácter teórico.

7. BIBLIOGRAFIA

- PUERTOS DEL ESTADO. (25 de OCTUBRE de 2015). www.puertos.es
- COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER. (1984). *SHORE PROTECTION MANUAL*. VICKSBURG, MISSISSIPPI.



ANEXO Nº6 DINÁMICA LITORAL

- ESTEBAN CHAPAPRIA, V. (2005). *OBRAS MARÍTIMAS*. VALENCIA: SERVICIO DE PUBLICACIÓN UPV.
- PUERTOS DEL ESTADO. (1991). *ROM 0.3-91 CLIMA MARÍTIMO EN EL LITORAL ESPAÑOL*.

