

Anejo 7. Sedimentología

Proyecto básico de ampliación del Puerto deportivo Poble Marina
(T.M. Puebla de Farnals, Valencia)

LLORENS BUFORT, María

MAHIQUES PÉREZ, M^a Ángeles

Valencia, Junio de 2016



ÍNDICE

1. OBJETO	3
2. EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA	5
2.1. Tramo del Puig al dique Norte del puerto de Puebla de Farnals	5
2.2. Tramo desde el puerto de Puebla de Farnals al inicio de la defensa longitudinal.....	8
3. CAPACIDAD DE TRANSPORTE SÓLIDO LITORAL.....	9
4. FORMULACIÓN DEL TRANSPORTE SÓLIDO LONGITUDINAL	11
4.1. Fórmula del transporte.....	11
4.2. Aplicación de la formulación	13
4.3. Uso de la ROM 0.3-91	13
4.4. Orientación de la línea de costa.....	14
4.5. Estimación el factor de forma k_f	16
4.6. Discretización de la variable h_v y obtención de f	17
4.7. Resultados	17
4.8. Tablas de cálculo.....	19



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ángulos de los principales sectores que aportan sedimentos.....	17
Tabla 2. Alturas de ola significantes según la procedencia.....	18
Tabla 3. Transporte longitudinal con la fórmula SPM.....	19
Tabla 4. Caudales totales	19
Tabla 5. Transporte sólido total.....	20

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Orientación de la línea de costa.....	15
Ilustración 2. Ángulos que forma la línea de costa con la normal.....	15
Ilustración 3. Tabla de alturas significativas según dirección de procedencia	18



1. OBJETO

Las obras de ampliación previstas en este proyecto afectarán a la zona de costa cercana, en este anejo se hará una descripción de cómo variará su comportamiento y cómo evolucionará. También se especificará el modo de aporte y pérdida de material y su capacidad de transporte en lo que refiere a la evolución de la costa.



2. INTRODUCCIÓN

La costa de la Puebla de Farnals se caracteriza por ser costa de acumulación fluvial-marina, y se encuentra asociada a los aportes sedimentarios procedentes de los grandes ríos, Túria y Xúquer, que son los que forman antes de llegar al mar, amplios llanos de inundación, y por su suave pendiente no transportan muchos sedimentos gruesos. Las características de los materiales (homometría, unimodalidad y buena clasificación) son las típicas de acumulación marina. Se trata de playas de acumulación fluvial donde el lavado ha desaparecido por completo y la acumulación que ejerce el oleaje, es el elemento dominante. No aparecen cantos, sólo en momentos de temporal y de manera efímera. En estas costas las formaciones dunares presentan un amplio desarrollo debido sobre todo al exceso de alimentación existente en el momento de su formación.

Estos ríos, Túria y Xúquer son las principales fuentes de sedimentos de tierra que evacuan en sus desembocaduras. El Ebro lo consideramos porque es el río que aporta más caudal a la vertiente mediterránea, y sus sedimentos llegan hasta aquí transportados por las corrientes longitudinales, características del mar Mediterráneo en la costa levantina, que siguen dirección N-S. Este arrastre de sedimentos se debe a que los ríos son muy largos seguidos de una escasa pendiente y con unas importantes y amplias cuencas que desembocan en el Mediterráneo, en estas llanuras se depositan las partículas de mayor tamaño, su caudal pierde la capacidad de arrastre y los materiales más finos se depositan en la costa, ya que la velocidad del agua también es escasa y solo llegan los menos pesados. Esto se ve incrementado por la construcción de embalses, de ahí la fuerte naturaleza arenosa en estas costas tanto la parte emergida como la sumergida.

Cabe destacar que los sistemas dunares también favorecen el aporte de arena a las playas. Cuando se ha urbanizado sobre los mismos se ha eliminado una reserva de sedimentos que mantenía la línea de costa cuando las corrientes no aportaban lo suficiente. No hay que olvidar los espigones que hay a lo largo del tramo entre el puerto de Valencia y Poble Marítim ya que éstos reducen la capacidad de transporte al ralentizar el paso de la corriente litoral, e incluso hay que nombrar el puerto de Sagunto ya que la corriente sigue la dirección N-S, provocando la regresión de las playas del sur y depositando y agrandando las del norte.

Encontramos tres principales salidas de sedimentos en los sistemas litorales del Golfo de Valencia:

- Salidas de sedimentos hacia tierra, que se producen por el transporte eólico.
- Pérdidas de arenas mar adentro: cuando se alcanzan áreas de gran profundidad donde no afecta el oleaje, cañones submarinos, cambios bruscos en la forma costera o lugares modificados por la mano humana, construcciones off-shore.
- Extracciones de materiales por el hombre, pudiendo ser de la misma playa o de los propios cauces de los ríos.



3. EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA

En este punto analizaremos las variaciones de la línea de costa a una escala corta, acotada en los últimos cien años. Por las fuentes utilizadas *La erosión antrópica en el litoral valenciano* y la *ROM 03-91*, el análisis se ha hecho mucho más preciso para las tres últimas décadas.

Un efecto de muchos tantos es el cambio del paisaje costero que depende principalmente de la energía del oleaje incidente y de las características de la zona donde actúa, es por eso que las repercusiones que esto supone son diferentes de unos puntos a otros, predominando los procesos de recesión de la orilla.

Se describirá las variaciones que se han observado en el conjunto del Golfo de Valencia y se cuantificarán los cambios apreciados, que permitirán apreciar cuales son las tendencias sedimentarias que sigue dicha zona.

Se centrará el análisis de la evolución costera en la comparación de documentación cartográfica de la posición de la línea de costa en distintos momentos, sacados del libro *La erosión antrópica en el litoral valenciano*, para que sea más simple su entendimiento dividiremos nuestra zona por tramos:

3.1. Tramo del Puig al dique Norte del puerto de Puebla de Farnals

Dentro del término municipal del Puig se encuentra la desembocadura de la Acequia de Moncada, protegida por una pequeña obra, a partir de aquí se inicia un campo de espigones que se dispone a lo largo de los términos del Puig, La Puebla de Farnals, Massamagrell y Massalfassar. En este tramo tenemos el puerto deportivo de La Puebla de Farnals. Estos espigones tienen como fin retener las arenas (ya que estas playas originariamente eran de cantos y arenas entremezclados) para proteger el litoral del avance del mar.

Al norte del Puig la línea de costa ha retrocedido un centenar de metros en los últimos treinta años. Entre los años 1947 y 1956 la línea de costa ya presentaba una tendencia regresiva pero fue entre el 1956 y 1967 cuando se aceleró el ritmo erosivo observando la pérdida de 30-40 m de playa. Toda esta información ha sido recogida de los estudios del *MOPU*. Entre los años 1956 y 1965 se presenció el mayor retroceso, 36 m de ancho de playa, a partir de este año freno la tendencia de pérdida. En el año 1981 se calculó que se habían perdido otros 30-50 m. Ya en 1977 se instalaron la mayor parte de las estructuras que ahora jalonan estas playas. Las playas del tramo 3 han permanecido prácticamente estables resultado de las distintas obras que han cubierto la zona litoral. La evolución de la línea de costa se puede apreciar en las ilustraciones siguientes.

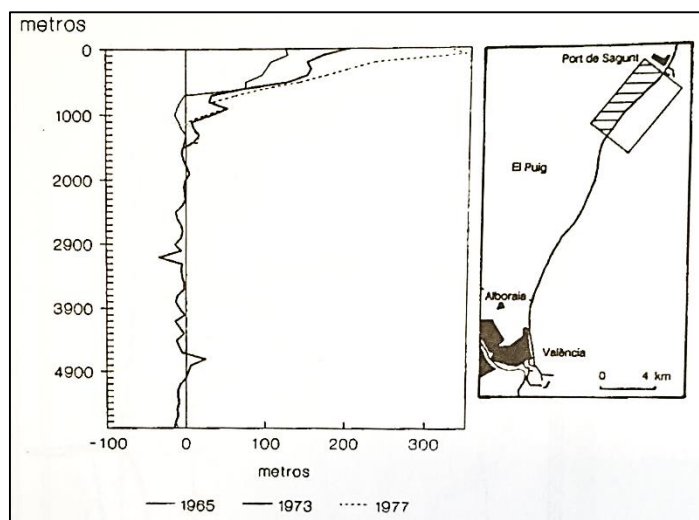


Ilustración 1. Evolución de la línea de costa desde 1956 (sector 1)

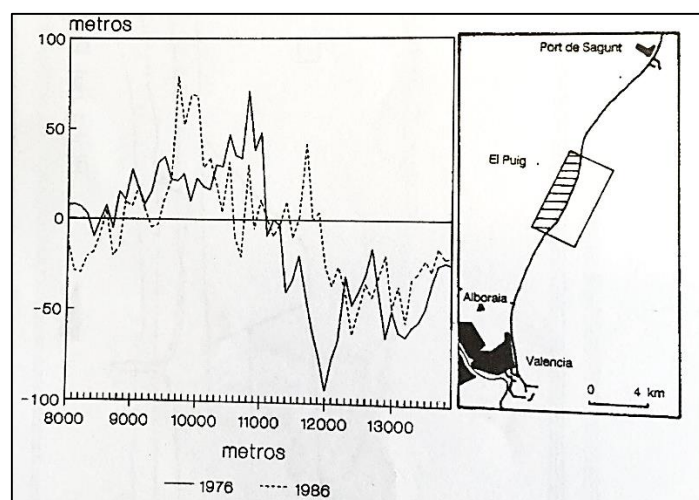


Ilustración 2. Evolución de la línea de costa desde 1967 (sector 1)

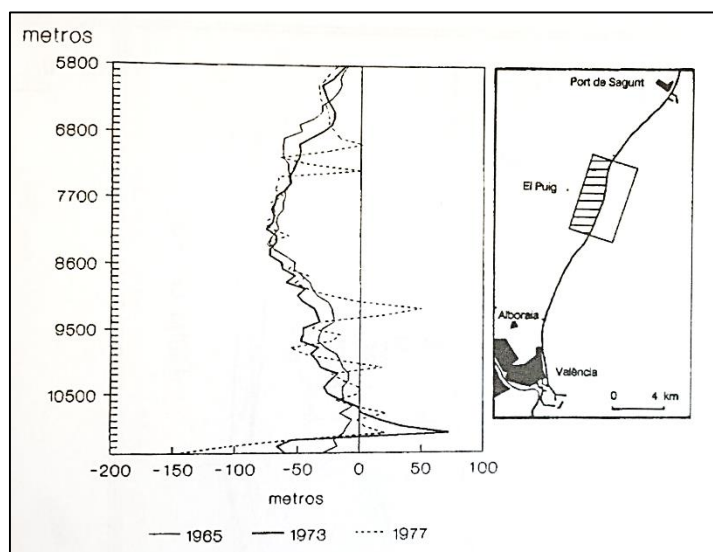


Ilustración 3. Evolución de la línea de costa desde 1956 (sector 2)

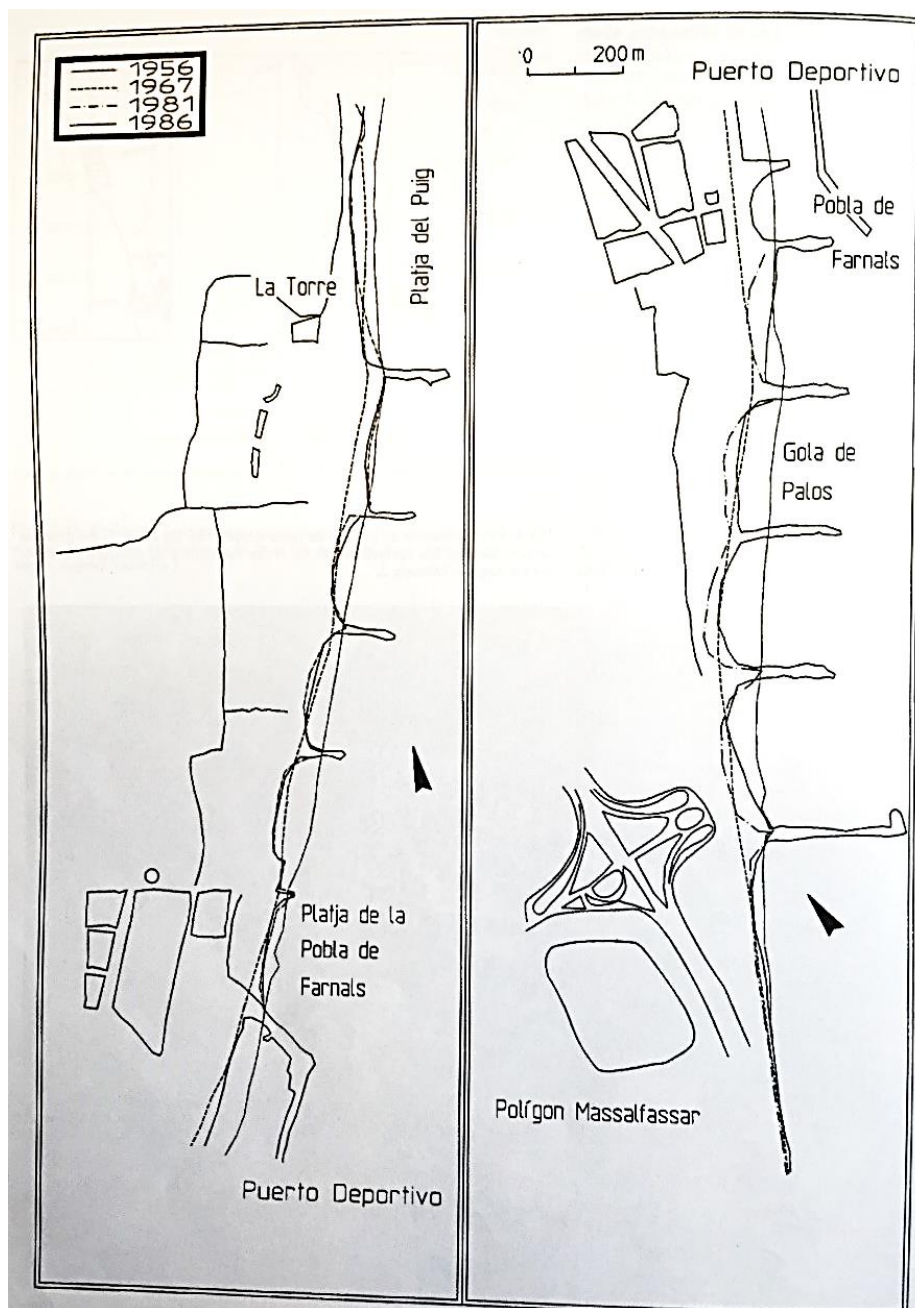


Ilustración 4. Evolución de la línea de costa hasta 1986

Hoy en día se disponen una defensa longitudinal y 10 espigones entre el límite del Puig y Puçol y el dique norte del puerto deportivo de la Puebla de Farnals. Dos espigones más pequeños se sumaron a los 10 anteriores, el mar destruyó esta pareja durante los años 70. A finales de los sesenta se iniciaron las primeras obras en la playa de la Puebla de Farnals, que consistieron en dos espigones, uno en forma de L, que serían predecesores en el posterior puerto deportivo. El resto de los espigones que hoy se conocen se construyeron entre 1970 y 1977, destacando por su longitud que en todos los casos superan los 100 m y en algunos incluso los 200.

En este análisis se aprecia que este tramo perdió más de 20 ha entre 1956 y 1973 y posteriormente con las obras marítimas retuvieron sedimentos del valor de 3,5 ha.



3.2. Tramo desde el puerto de Puebla de Farnals al inicio de la defensa longitudinal

Las obras anteriormente citadas en el tramo 1 han frenado el retroceso de costa pero han ejercido un efecto desfavorable en este tramo. La erosión al sur del puerto deportivo de la Puebla ha supuesto en algunas zonas unos 125 m en los últimos 30 años, cifra mucho mayor con anterioridad a la construcción de los actuales espigones, donde el retroceso supuso 200 m en la orilla del término de Massamagrell. Este sector ha sido, de toda la costa existente entre Sagunto y Valencia, la que ha tenido mayores pérdidas de superficie de terreno, que supone unas pérdidas para el conjunto del tramo de 3,9 m/año.

Los cuatro grandes espigones al sur del puerto con longitudes entre 200 y 300 m han frenado el proceso de erosión. Estos espigones datan de 1973, aunque las obras no se llevaron a cabo hasta años después. Dichas obras han favorecido la acumulación de arenas, especialmente los situados más al norte. Entre 1981 y 1986 se ha producido un mayor avance de la línea de costa en los espigones situados al norte.



4. CAPACIDAD DE TRANSPORTE SÓLIDO LITORAL

El transporte litoral se define como el movimiento de sedimentos en la zona de la línea de costa producido por la influencia de las olas y corrientes que consecuentemente produce una variación del fondo. Se da en la zona comprendida entre la playa seca y el punto de Cornaglia o punto neutro, la profundidad es tal que la velocidad de las corrientes del fondo es igual hacia tierra y hacia el mar, por lo que el paso de las olas no afectará a las partículas y no se producirá su transporte.

La oblicuidad del oleaje respecto a la línea de costa se puede descomponer en dos direcciones principales de transporte para caracterizar la playa: el transporte perpendicular a la costa, que se describe por la magnitud de las olas, el tamaño de los sedimentos y producirá cambios de perfil en la playa, las olas altas mueven material lejos de la costa (offshore) y las bajas de largo periodo mueven material en la propia costa; mientras que su componente de transporte paralela será la que produzca el transporte sólido litoral y dará la forma en planta de la playa. Esta última resulta del movimiento de sedimentos por la rotura de la ola en la componente de movimiento y la corriente longitudinal generada por la propia rotura, su dirección de transporte es directamente proporcional a la dirección de aproximación de la ola y el ángulo de incidencia ola-línea de costa.

Uno de los principales objetivos en los estudios de morfodinámica litoral ha sido encontrar una ecuación que presente la tasa de transporte longitudinal de sedimentos. Ello se debe a la importancia geomorfológica y a las consecuencias económicas y paisajísticas que implica.

Como se ha señalado con anterioridad el ratio de transporte longitudinal de sedimentos está especialmente relacionado con la aproximación de las olas con un cierto ángulo respecto a la línea de costa, así como también la energía que lleven. De esta manera, las tormentas de oleaje alto moverán mayor material por unidad de tiempo que las olas bajas. De todos modos, si las olas bajas tienen mayor periodo de tiempo pueden ser mucho más significantes.

El transporte longitudinal de sedimentos puede ser estudiado desde diferentes perspectivas y con distintos objetivos. Se puede analizar el comportamiento de una zona concreta o se puede buscar una explicación física que muestre cómo y por qué se produce este transporte. El *CERC* (1984) señala cuatro formas distintas de enfocar el problema:

- Adaptar tasas de transporte ya conocidas de una zona cercana con las modificaciones producidas por las condiciones locales.
- Comprobar en la topografía de la zona litoral los cambios históricos utilizando las cartas náuticas, batimetrías hechas y registros de dragados.
- Calcular las condiciones de ola para determinar la componente longitudinal del flujo de energía de la ola.
- Mediante un método empírico (Galvin, 1972b) estimando la tasa de transporte longitudinal a partir de la media anual de la altura de rompientes.



Para una obra de ingeniería que requiere un estudio concreto es más interesante centrarse en los dos primeros puntos. El tercer punto que se basa en el estudio del proceso de transporte se deberá utilizar una fórmula que relacione las condiciones del oleaje con varios estudios. El cuarto punto puede dar resultados erróneos que no se ajusten a la realidad.

La zona del puerto, perteneciente al Golfo de Valencia, se observa que el transporte longitudinal neto sigue la dirección N-S. Resulta evidente cuando se observa que en las obras costeras hay un mayor depósito de sedimentos al norte y una erosión al sur de éstas. Según el *Estudio de Dinámica Litoral*, realizado por el Laboratorio de Puertos de Ramón Iribarren en 1979, el transporte sólido paralelo a la costa sitúa en torno a 110.000 m³/año en Sagunto y en torno a los 300.000 m³/año en el paralelo de Valencia. Con estos datos se aprecia la gran importancia que tiene el transporte longitudinal de sedimentos.



5. FORMULACIÓN DEL TRANSPORTE SÓLIDO LONGITUDINAL

Para calcular un valor representativo del caudal medio potencial de sedimentos se hará uso de la formulación que se encuentra en el *Shore Protection Manual* (SPM) que se basa en el flujo de energía “longshore”. Este método se fundamenta en una fórmula empírica muy utilizada para estudios teóricos de la dinámica litoral, no obstante hay que destacar que las fórmulas de este estilo tienen una fiabilidad del 50%.

Esta fórmula se somete a algunas restricciones o simplificaciones porque no puede ser aplicada en cualquier caso. Para evitar errores de interpretación a continuación se enumeran las restricciones:

- Este cálculo solamente recogerá el transporte sólido debido al flujo de energía del oleaje (oblicuidad en rotura), despreciando las componentes como el efecto de la variación del ángulo de ataque y el gradiente de sobreelevación de altura de ola.
- El SPM sólo calcula el transporte de sedimentos en playas rectas y su batimetría tiene que ser rectilínea y paralela a la línea de costa.
- Sólo aborda cálculos en los que el material sólido es arena.

Para poder aplicar la fórmula que proporciona el SPM comprobaremos que nuestro tramo cumple con las condiciones anteriores.

- En primer lugar, se acepta como hipótesis base que la variación del ángulo de ataque y el gradiente de sobreelevación de altura de ola tienen poca repercusión en el cálculo del transporte sólido litoral.
- El puerto en cuestión, se sitúa al Norte del puerto de Valencia y consideramos que la playa tiene una batimetría rectilínea y paralela a la línea de costa.
- Casi en su totalidad, las playas que limitan el puerto están constituidas de arenas.

Por tanto, se admiten como válidas las tres hipótesis para la aplicación de la formulación recogida en el SPM de 1984. Se podrá determinar el caudal medio de sedimentos que circulan en dirección paralela a la línea de costa.

5.1. Fórmula del transporte

La fórmula se fundamenta en lo que se conoce como flujo de energía “longshore”. La variación de las olas rotas, así como también el exceso de flujo en la ecuación de la cantidad de movimiento explican la corriente de transporte longitudinal (longshore-current).

La fórmula de transporte, con datos de oleaje en profundidades indefinidas, permite evaluar el caudal medio de sólidos que atraviesa una sección de una playa recta. Se expresa:



$$Q \left[\frac{m^3}{año} \right] = 1290 * P_1 \left[\frac{J}{m * seg} \right]$$

$$P_1 = \frac{\rho}{20} * g^{3/2} * H_{50}^{5/2} * F(\alpha_0)$$

$$F(\alpha_0) = \{(\cos \alpha_0)^{1/4} * \sin 2\alpha_0\}$$

Según la información de ola disponible, hay una serie de aproximaciones para el cálculo de P_1 . La escogida presenta resultados coherentes para las costas de la zona comparándolos con las estimaciones realizadas con la cartografía histórica. De esta manera, desarrollando la fórmula del SPM obtenemos:

$$Q \left[\frac{m^3}{año} \right] = 2030 * 10^3 * H_{50}^{5/2} * (\cos \alpha_0)^{1/4} * \sin 2\alpha_0$$

Siendo:

- Q: Caudal medio de sedimentos($m^3/año$)
- P_1 : Flujo de energía “longshore”(J/m seg)
- ρ : Densidad del agua del mar
- g: Gravedad (m/s^2)
- H_{50} : altura de ola significativa en aguas de profundidades indefinidas (m)
- (α_0) : Función de oblicuidad.
- α_0 : Ángulo de incidencia del oleaje en profundidades indefinidas, respecto a la normal a la línea de costa en (grados sexagesimales).

Así mismo las suposiciones que se han de hacer son las siguientes:

- I. La velocidad de grupo es igual a la velocidad de onda en rotura, y la velocidad en rotura es dada por la teoría de onda solitaria.
- II. H_b está relacionado con H_0 a través de los coeficientes de refracción y asomeramiento, estando los coeficientes evaluados en rotura.
- III. El coeficiente de refracción se halla por la teoría de pequeña amplitud y el coeficiente de asomeramiento se considera constante.

Para complementar la fórmula se le añaden una serie de términos que representan la componente direccional del oleaje. Están comprendidos:



- f : probabilidad de presentación de la altura de ola.
- K_0 : factor que representa las probabilidades de presentación de una determinada dirección de oleaje (es el P_{sector} que recoge la *ROM 0.3-91*)
- K_f : factor de forma que representa la relación entre la amplitud del factor real, donde se genera el oleaje en un sentido dado, y la del sector teórico de partida.

Si se desarrolla la fórmula del SPM, obtenemos la fórmula definitiva para el cálculo del transporte longitudinal:

$$Q \left[\frac{m^3}{\text{año}} \right] = 2030 \cdot 10^3 f \cdot H_{s_0}^{\frac{5}{2}} (\cos \alpha_0)^{\frac{1}{4}} \sin(2\alpha_0) K_0 K_f$$

5.2. Aplicación de la formulación

Para este tipo de obras marítimas es preciso recurrir a la *ROM 0.3-91*, nombrada ya anteriormente en climatología. Será la fuente para obtener los datos de oleaje pertinentes y sugerencia para efectuar el cálculo del transporte longitudinal.

Prestaremos atención al *Atlas Climático* en el área VII perteneciente a Valencia y Alicante, especialmente a los datos recogidos en el cuadro B. Este cuadro muestra el conjunto de datos visuales de oleaje direccional efectuado durante el periodo de 1950-1985. También se obtendrán dos valores, la probabilidad de presentación de altura de ola (f) y el de K_0 (P_{sector}) para cada uno de los sectores direccionales.

Se determinarán otros factores, como puede ser la orientación del oleaje respecto a la costa de estudio. Según la *ROM 0.3-91* las divisiones direccionales se producen cada $22,5^\circ$ y sirven para determinar la orientación relativa de cada oleaje predominante. Como ya se anunció anteriormente, las direcciones predominantes son las que se comprenden entre las direcciones NE y SE.

Seguidamente, quedarán por determinar el factor de forma K_f y la altura de ola significante en aguas profundas (H_{s_0}) que tendrá que ser correlacionada con la altura de ola visual.

5.3. Uso de la ROM 0.3-91

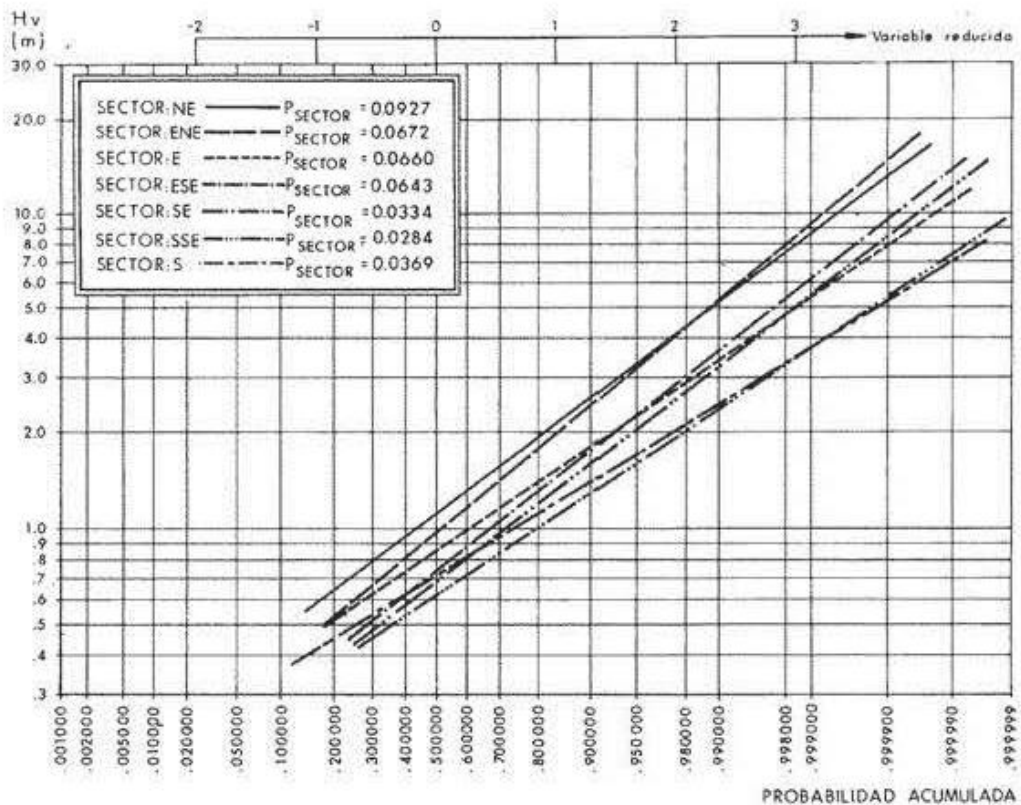
El cuadro B ya nombrado anteriormente presenta el oleaje como la conjunción de los oleajes sea y swell, considerado idóneo porque se entiende que es la forma normal de presentarse el estado del mar. El cuadro muestra en su eje de ordenadas las alturas de ola visual (H_v) y en su eje de abscisas define las probabilidades de no excedencia condicionadas a la probabilidad de presentación de la dirección del oleaje.



El oleaje de tipo “sea”, también llamado mar de viento, se desarrolla en la superficie marítima bajo la acción directa y continua del viento sobre una masa de agua en reposo. Sus oscilaciones se presentan con periodos y longitudes de onda pequeñas.

Por otro lado, el oleaje tipo “swell”, llamado mar de fondo también, se origina cuando las olas abandonan el área de generación y se propagan sin una importante actuación del viento. Este tipo de oleaje es mas ordenado y regular en superficie.

Se hace especial hincapié en que la *ROM 0.3-91* especifica la correlación $H_s=H_v$ porque se consiguen buenos resultados en el litoral español.



5.4. Orientación de la línea de costa

Es de vital importancia determinar la orientación de la costa para poder conocer de una manera más exacta el transporte longitudinal. Se requerirá una precisión del ángulo de la línea de costa ya que la formulación utilizada podría llevarnos a error. Se utilizará una foto del Google Earth para poder expresar la orientación de la manera más precisa.



Ilustración 5. Orientación de la línea de costa

En la foto se puede ver una línea roja que sigue la dirección de la costa y las amarillas nos indican los puntos cardinales. De esta manera se ha podido hacer una aproximación fiable de los ángulos que son de vital importancia.

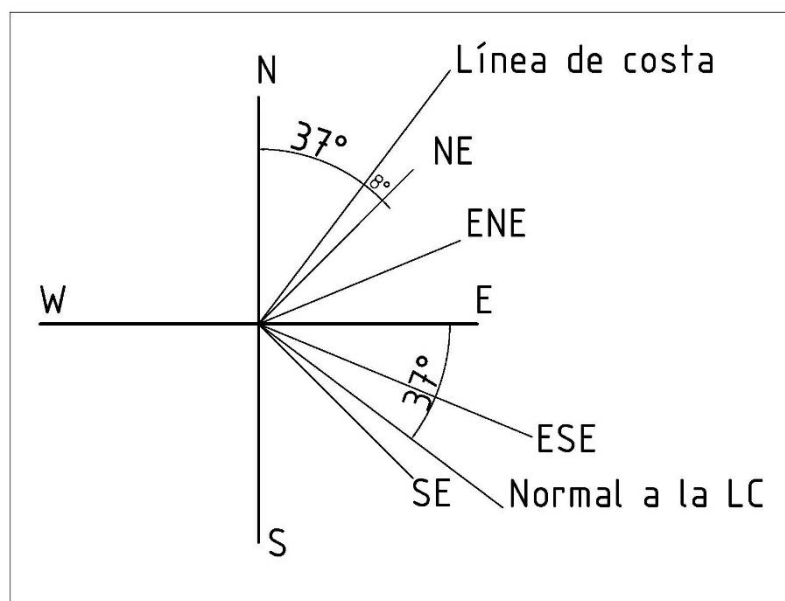


Ilustración 6. Ángulos que forma la línea de costa con la normal



Como conclusión se puede remarcar que la playa sur tiene una orientación de 37° respecto al Norte. Así pues, se calcula de forma directa que el ángulo que forma la normal con el Este geográfico es de 37° con sentido horario.

Para considerar los sectores que se van a utilizar para la aplicación de la fórmula del cálculo del transporte de sedimentos, se ha seguido lo establecido en la ROM 0.3-91, que agrupa la información en sectores de 22,5°.

Debido a la configuración de la costa y a la situación de los puntos de medida se han realizado los cálculos de los regímenes medios de altura de ola visuales para aquellas direcciones que son relevantes para el proyecto.

El ángulo de aproximación se detallará en el siguiente apartado, ya que hay que considerar el caso particular de la dirección SE.

Asimismo, estas orientaciones relativas también se han de usar para el cálculo del factor de forma Kf, que será la próxima que se explique.

5.5. Estimación el factor de forma kf.

La finalidad de este parámetro es determinar que amplitud de cada sector de oleaje contribuye para cada sentido de transporte (N-S – S-N). Kf se entiende como un coeficiente de minoración que vale 1 cuando la amplitud sirve a un único sentido, y para el resto viene dado por la siguiente fórmula:

$$Kf = \frac{\text{Amplitud real sector}}{22.5^\circ} = \frac{\theta}{22.5^\circ}$$

Todos los sectores tienen la misma amplitud salvo el sector NE, ya que la influencia de la costa lo reduce hasta una amplitud de 19,25°. Todo esto se puede observar en la imagen de la ROM 0.3-91 correspondiente al cuadro B.



Ilustración 7. ROM 0.3-91, cuadro B



Para la dirección SE hay que hacer un estudio con más detenimiento. Este sector es el que incluye a la perpendicular a la línea de costa. Dividiremos el sector SE en dos subsectores porque el transporte sólido impulsado por el oleaje de cada uno de ellos tendrá sentido contrario. Consiguientemente tendremos el subsector SE-1 con dirección N-S con una amplitud de $3,25^\circ$, mientras que el subsector SE-2 tiene dirección S-N con una amplitud de $19,25^\circ$.

Se adjunta una tabla con los correspondientes sectores que realizan un transporte litoral.

Dirección	NE	ENE	E	ESE	SE-1	SE-2
α	82	59.5	37	14.5	1.625	9.625

Tabla 1. Ángulos de los principales sectores que aportan sedimentos

5.6. Discretización de la variable h_v y obtención de f .

Hay que realizar unos intervalos de altura de ola para aplicarles el factor de probabilidad f para cada dirección. El 90% de los oleajes son menores de 2,5 m de altura, no podemos despreciar los oleajes mayores porque son los que tienen mayor energía para producir el transporte de sedimentos.

Por lo tanto, se hará una discretización de los intervalos de altura de ola de medio metro en medio metro llegando hasta un límite de 6 m, a partir de esta altura es bastante improbable que se produzcan oleajes en nuestro sector.

Se concluye a partir del cuadro B de observaciones visuales del anejo de la ROM 0.3-91 para el área VII y la discretización para obtener los factores f para cada dirección e intervalo.

5.7. Resultados

Se concluye exponiendo los cálculos obtenidos al aplicar la metodología anteriormente explicada. La siguiente tabla engloba todos los factores necesarios para proceder a calcular el transporte litoral, a todo esto también añadimos la tabla proporcionada por *Puertos del Estado* en la boya de Valencia en régimen medio a partir de la cuál obtenemos las probabilidades de ocurrencia (f) para las diferentes alturas de ola, según de donde procedan:



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	2.901												2.901
N 0.0		.388	.827	.489	.202	.034	.017	-	-	-	-	-	1.957
NNE 22.5		.911	2.126	1.974	.742	.169	.051	.051	.017	.017	-	-	6.056
NE 45.0		1.906	5.904	3.998	1.704	.978	.371	.304	.084	.051	-	-	15.300
ENE 67.5		3.677	8.182	4.335	1.771	.641	.219	.118	.051	-	-	-	18.995
E 90.0		4.318	4.723	1.417	.489	.067	-	-	-	-	-	-	11.016
ESE 112.5		3.391	2.918	.978	.135	-	-	-	-	-	-	-	7.422
SE 135.0		4.234	2.986	.321	.101	-	-	-	-	-	-	-	7.642
SSE 157.5		3.408	4.960	1.012	.152	-	-	-	-	-	-	-	9.531
S 180.0		1.248	1.029	.118	.051	-	-	-	-	-	-	-	2.446
SSW 202.5		.843	.928	.135	.051	-	-	-	-	-	-	-	1.957
SW 225.0		.810	2.311	.827	.084	-	-	-	-	-	-	-	4.032
WSW 247.5		.540	2.277	2.227	.793	.084	.017	.017	-	-	-	-	5.955
W 270.0		.186	.590	.658	.017	.017	.017	-	-	-	-	-	1.484
WNW 292.5		.253	.455	.253	.118	-	-	-	-	-	-	-	1.080
NW 315.0		.118	.506	.523	.084	-	-	-	-	-	-	-	1.231
NNW 337.5		.219	.371	.270	.118	-	-	.017	-	-	-	-	.995
Total	2.901	26.451	41.093	19.534	6.613	1.991	.692	.506	.152	.067	-	-	100 %

Ilustración 8. Tabla de alturas significativas según dirección de procedencia

En esta tabla se muestran las alturas de ola significantes según la procedencia, como en este estudio solo se ha tenido en cuenta aquellas que van del NE hasta SE, solo se considerarán las probabilidades en ese rango.

Dirección	α	θ	K0	Kf
NE	82	19,25	0,0927	0,856
ENE	59,5	22,5	0,0672	1
E	37	22,5	0,066	1
ESE	14,5	22,5	0,0643	1
SE-1	1,625	3,25	0,0334	0,144
SE-2	9,625	19,25	0,0334	0,856

Tabla 2. Alturas de ola significantes según la procedencia

Para calcular el transporte longitudinal de sedimentos en las diferentes direcciones significativas se ha utilizado la fórmula del SPM.



TRANSPORTE EFECTIVO	
NE	36744,131
ENE	42994,172
E	12632,967
ESE	5714,588
SE-1	70,841
SE-2	2275,374

Tabla 3. Transporte longitudinal con la fórmula SPM

Caudal bruto (m³)	100432,074
Caudal neto (m³)	95881,324

Tabla 4. Caudales totales

La cartografía histórica cuantifica el transporte de sedimentos para el puerto de Valencia a partir de estimaciones, el resultado que recomienda la *ROM 0.3-91*, se considera como válido para el litoral español.

El transporte efectivo se compone a su vez del transporte bruto y neto. En el transporte bruto se define la capacidad total de movilizar arena en ambos sentidos, en cambio el transporte neto es la diferencia de entre los dos sentidos de transporte existentes, se ha considerado las direcciones N y S, donde la dirección predominante es la N-S.

Hay que remarcar que los resultados obtenidos son una aproximación al fenómeno real. Difiere bastante el resultado obtenido en el transporte bruto del obtenido en el neto. La capacidad de transporte se verá claramente influenciada por la existencia de espigones y del propio puerto, al querer realizar la ampliación sur de éste no es de vital importancia el cálculo del transporte de sedimentos ya que el propio puerto actúa como una barrera para los sedimentos que van de en dirección N-S.

5.8. Tablas de cálculo

Para obtener los datos resultantes se ha creado una tabla Excel que englobase todas las direcciones que son significativas para el puerto con sus respectivas probabilidades de ocurrencia según la altura de ola:



	Hs											Sumatorio
	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	6,00	
NE	306,674	4754,914	7824,232	6465,992	5408,621	3372,672	4143,315	2529,104	933,643	220,908	784,057	36744,131
ENE	620,899	7088,034	8782,379	8035,244	6392,346	3759,218	3879,514	2965,720	1259,352	211,465	0,000	42994,172
E	817,515	4648,715	2951,116	1996,583	1110,617	521,236	468,297	118,888	0,000	0,000	0,000	12632,967
ESE	778,542	3044,955	1181,959	409,507	116,249	183,376	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5714,588
SE-1	10,777	48,485	8,337	2,257	0,986	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	70,841
SE-2	346,147	1557,297	267,784	72,489	31,658	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2275,375

Tabla 5. Transporte sólido total

