

2. Procesos litorales

INDICE

1. Introducción.....	148
2. Delimitación.....	148
2. Clasificación del tramo de costa en estudio.....	148
2.1 naturaleza de fondos.....	149
2.2 análisis de estabilidad.....	149
3. Perfil de playa generado.....	151
4. Forma en planta de la playa.....	154
5. Granulometría de la arena de la playa de les palmeres..	155
6. Perfil de la playa.....	157
7. Alimentación artificial.....	160
8. Bibliografía.....	162

1. Introducción.

La costa es un medio especialmente dinámico donde se producen procesos geomorfológicos rápidos, ya que se concentran grandes cantidades de energía en un espacio muy delimitado.

Buena parte de los materiales están en continuo movimiento transportados por olas, corrientes marinas o por el viento.

El análisis del transporte sedimentario es fundamental para comprender de qué manera y porqué se producen los cambios en el paisaje litoral. Estas modificaciones se presentan a diferentes escalas temporales, aunque en el marco del presente proyecto, el estudio se centra en los cambios a corto y medio plazo.

El objeto de este anejo es recopilar los aspectos más interesantes de la Dinámica litoral y Transporte de sedimentos con la ayuda de las conclusiones obtenidas en los diversos análisis o estudios y datos de textos y jornadas realizadas por D. José C. Serra Peris.

A continuación, se tratará la ejecución de la alimentación artificial.

2. Delimitación.

En este proyecto de regeneración y adecuación se ven afectados 1250 metros de costa.

La zona de actuación queda delimitada, al norte por la calle riu Segarra del municipio de Sueca y al sur por la Gola del Marenny.



2. Clasificación del tramo de costa en estudio.

La gran variedad de líneas de costa demuestra su complejidad. De hecho, para entender cualquier área costera concreta, deben considerarse muchos factores, entre ellos los tipos de roca, el tamaño y la dirección de las olas, la frecuencia de las tormentas, las mareas y la topografía litoral.

Además, prácticamente todas las zonas costeras se vieron afectadas por la elevación del nivel del mar en todo el mundo que acompañó la fusión de la Edad de Hielo que se produjo al final del Pleistoceno.

Por último, deben tenerse en cuenta los acontecimientos tectónicos que elevan o hacen descender el terreno o cambian el volumen de las cuencas oceánicas.

El gran número de factores que influyen en las zonas costeras dificultan la clasificación de las líneas de costa.

2.1 naturaleza de fondos

La playa de Les Palmeres se puede clasificar pues como de fondo móvil homogéneo.

la composición de la playa es prácticamente en su totalidad de arenas finas o muy finas y el tamaño de grano existente de 0,24 mm (anejo geológico y geotécnico)

2.2 análisis de estabilidad

Para realizar este análisis, se establecen dos perfiles de control los puntos 1 y 2 de la figura siguiente, y de la comparación del caudal sólido en uno y otro se pueden dar tres posibilidades:

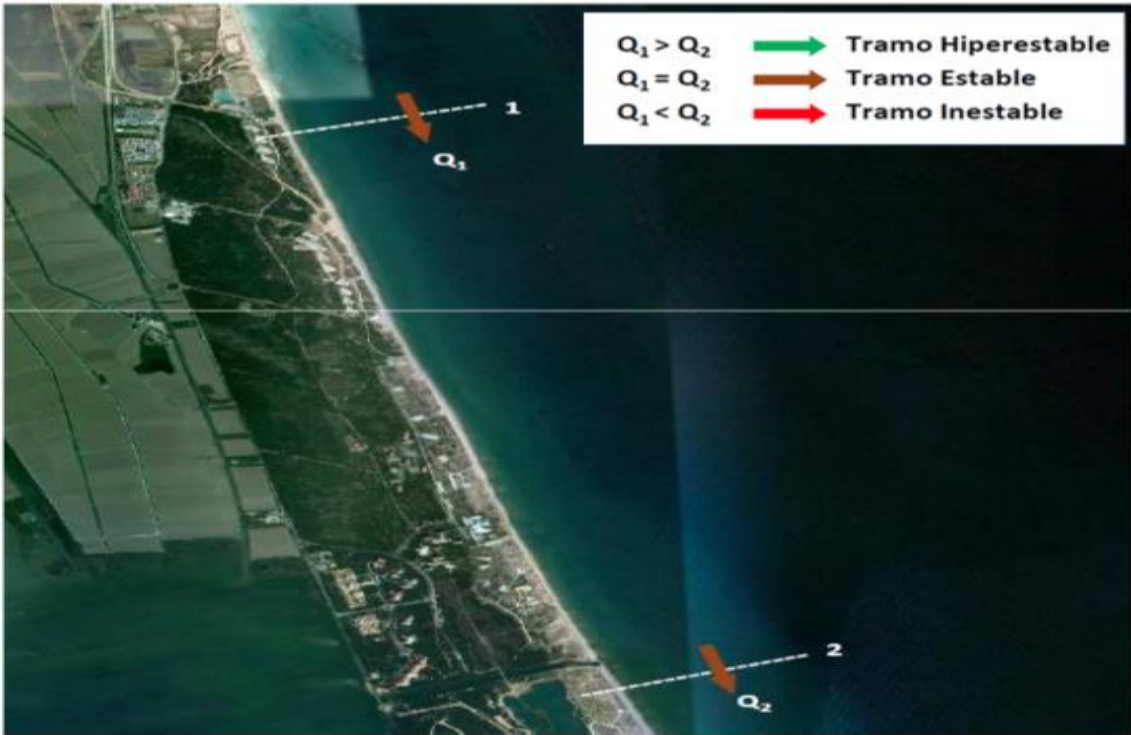


Figura 1: Perfiles de control de caudal.

La playa de Les Palmeres se encuentra en el saco del gran porcentaje de playas en erosión de la zona del Óvalo Valenciano y por lo tanto, estamos ante un claro caso de tramo en erosión.

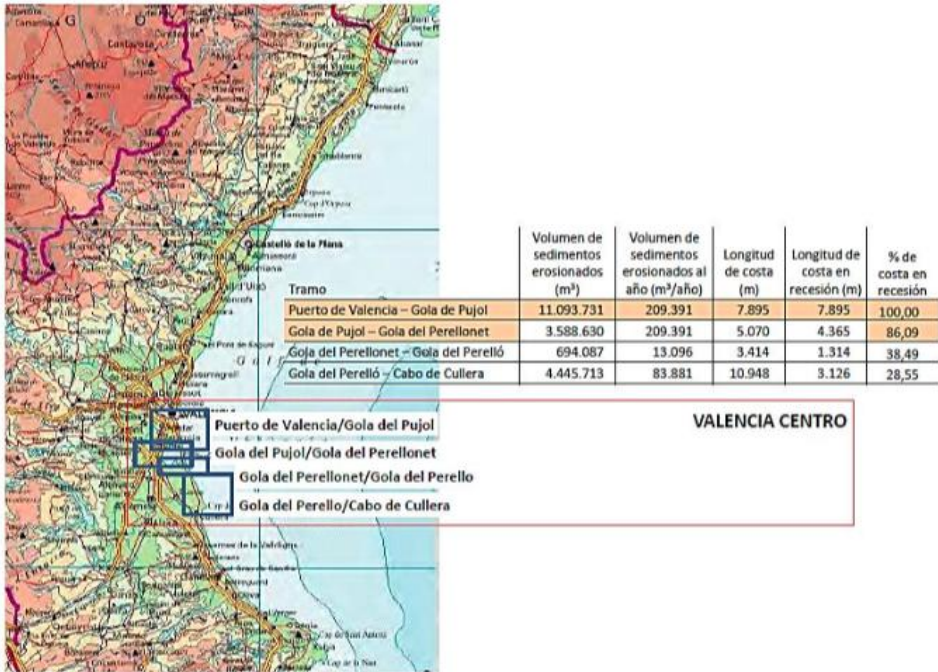


Figura 13: Datos del volumen de sedimentos erosionados y longitud de costa en recesión.



Figura 14: Resumen de datos desde el Puerto de Valencia hasta el Cabo de Cullera.

Desde el punto de vista genético, se trata de una costa de acumulación, con fondo móvil homogéneo, y un tamaño de grano de 0,24mm, estando en clara fase de erosión, y presentando un perfil completo.

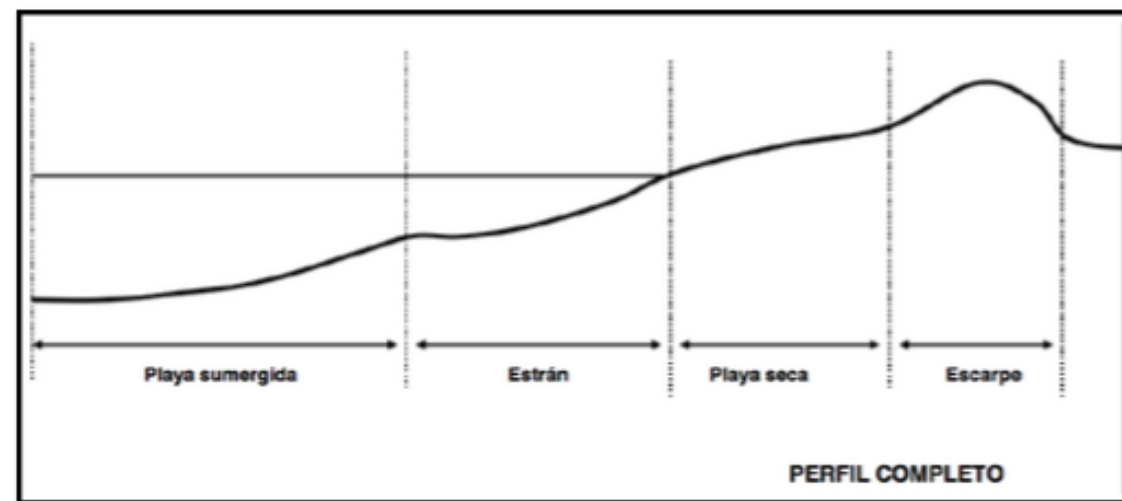


Figura 2: Perfil completo de una playa.

Desde el punto de vista de la estabilidad propiamente dicha, nos encontramos ante un claro ejemplo de costa inestable, en estado regresivo y proceso de recesión.

Todo esto se puede ver claramente si comparamos el estado de la playa actual y las fotografías de la zona en décadas anteriores (anejo fotográfico)

Las causas de dicha erosión fueron detalladas en la “Jornada Proyecto Coastgap: Riesgos Costeros y Gestión del Litoral” por el el catedrático de Puertos y Costas, José C. Serra Peris, resultando ser la mayor causa ,las acciones antropológicas.

Entre ellas destacamos:

La construcción de presas en todos los ríos importantes de la zona, minimizando así el aporte de sedimentos en la costa.

La construcción del Puerto de Valencia y su actual ampliación, que interrumpe el transporte natural de sedimentos norte-sud.

La fuerte presión urbanística en el frente litoral.

El levantamiento de obras de defensa y obras portuarias...

Muy importante señalar que el hecho de que no se respetan las anchuras mínimas, tanto en playa seca con perfil natural (conveniente más de 45m de playa seca) como en playa seca con obra rígida (más de 55m de playa seca).

La playa de Les Palmeres se encuentra en el segundo caso, y con sus escasos 12 metros de media de anchura de playa seca, obviamente no cumple dicha recomendación.

3. Perfil de playa generado

Con la regeneración de la playa de Les Palmeres, se desea recuperar un ancho de playa de aproximadamente 55 metros, para el uso y disfrute de los usuarios. Del mismo modo, habrá que prestar atención a la granulometría del material aportado, para que sea lo más parecido posible a la original.

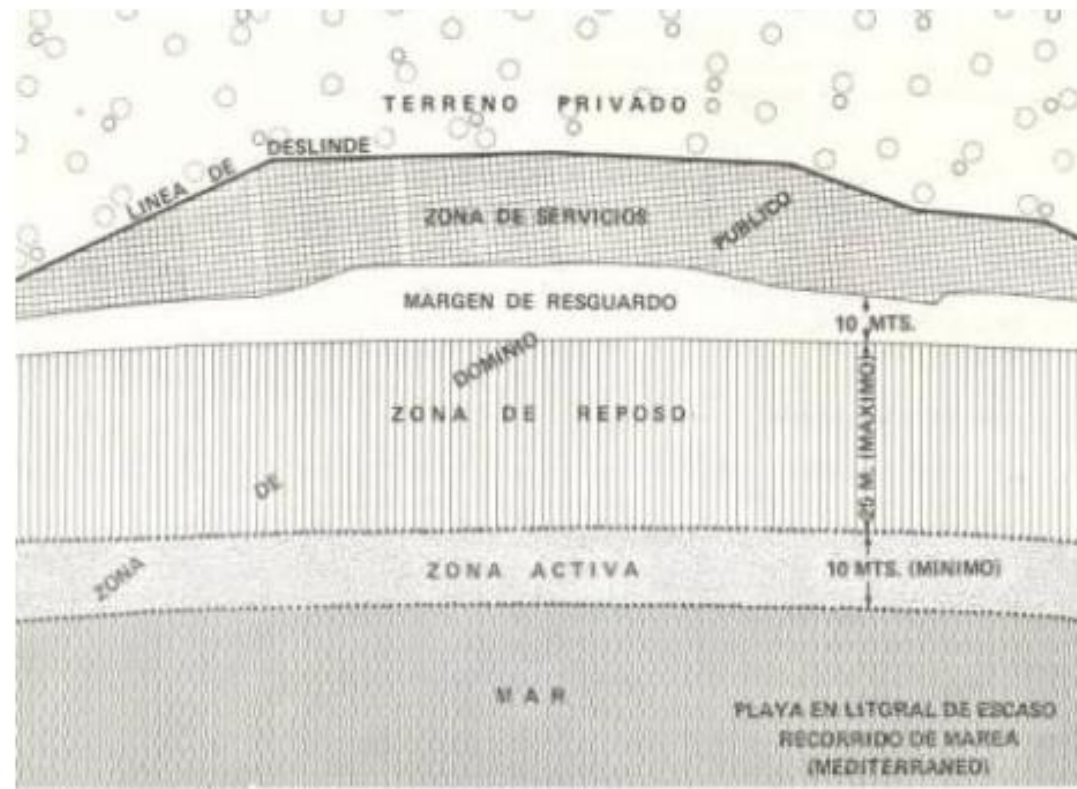
El perfil de la playa se divide en cuatro zonas:

- playa sumergida
- estrán
- playa seca
- escarpe



3.1. Zonificación de la playa

La Orden de 4 de marzo de 1994 de la Conselleria de Obras Públicas y Ordenación del Territorio de las Islas Baleares (OIB-94) sobre los criterios generales de distribución de instalaciones de servicio de temporada en el litoral balear, complementa los definidos con anterioridad por la Dirección General de Puertos y Costas (GRPP-70) para la zonificación de las playas. Siguiendo ambas normas, se podrían distinguir tres grandes zonas –activa, de reposo y de espacios libres-, y otras complementarias a las primeras.



Descripción de las zonas:

Zona activa o de inmersión:

es la franja de arenas más próxima a la orilla que debe permanecer libre en casi toda su longitud, para favorecer la cómoda inmersión y tránsito de los bañistas. Se impedirá la colocación de hamacas y toldos de alquiler. Esta zona viene impuesta por la carrera de marea, sin embargo en las playas que no son sensibles a ellas, debe imponerse una anchura mínima de 10 metros, tomados a partir de la línea de orilla que defina el altamar viva equinoccial. No obstante ello, en las playas con una anchura superior a 40 metros, se podrá ampliar el ancho de la zona activa hasta 10 metros más; y en las playas menores de 20 metros, se puede reducir la dimensión transversal de la zona activa hasta 6 metros como mínimo, previa justificación en razón de su poca afección al uso público. Una buena regla práctica es dejar como zona activa un tercio del total del ancho de la playa, sin bajar nunca de los 6 metros.

Zona de reposo o inactiva:

es inmediata y paralela a la anterior, en la que se permite la colocación de sombrillas, hamacas, toldos y otros elementos portátiles que faciliten la permanencia a los usuarios. Se excluyen las superficies destinadas a zonas de pasos peatonales, de espacios libres, de lanzamiento y varada, y zonas de accesos de servicios y limpieza de playas. La anchura óptima en playas mediterráneas sería de 25 m, siendo variable en función de las características y superficie de cada playa. En cualquier caso, no se superará nunca los 100 m que sería el límite del desplazamiento para el baño. Este espacio es el que, debidamente acotado mediante papeleras, postes fijos u otros elementos específicos destinados a tal fin, se emplea para la ocupación temporal mediante la correspondiente autorización. En ningún caso se permite la invasión de zonas dunares. Para facilitar el tránsito peatonal, y siempre que la anchura de la playa lo permita, se dejará, en esta zona y junto a su límite posterior, una franja de paso de 4 m de ancho (10 m según GRPP-70, pero contada fuera de la zona de reposo), que podrá suprimirse si se justifica suficientemente su innecesaridad, en razón de su escasa afección al uso público, o bien porque así lo justifique la ordenación normativa o planos de distribución de las instalaciones.

Zona de espacios libres:

La GRPP-70 la denomina como zona de servicios, y está constituida por el conjunto de terrenos inmediatos a la zona de reposo por el lado de tierra, y limitada por la línea de hitos de la zona marítimo-terrestre, o final de la playa. Sólo por motivos justificados se autorizarán las actividades permitidas en la zona de reposo y las actividades deportivas y lúdicas, conforme a la normativa vigente.

Zonas complementarias:

Zona de lanzamiento y varada de embarcaciones y elementos náuticos, zona marítima de baño, zonas de pasos peatonales y zona de acceso de servicios de limpieza de playa.” (Victor Yepes, 2002)

Como se puede observar, la anchura de playa elegida de 55 metros cumpliría con las condiciones mínimas establecidas por la Dirección General de Puertos y Costas.

3.2. Cálculo de run-up

El run-up es la cota de la playa seca hasta la que asciende una ola de altura en condiciones de rotura. Para poder calcularlo, se utiliza la fórmula de Longuet-Higgins y Stewart:

$$s = 0,19 \left(1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b^*}{g \cdot T^2}} \right) \cdot H_b^*$$

Siendo:

- s es el valor del Run-Up
- H_b^* es la altura de ola en condiciones de rotura
- T el período de la ola de altura H_b^*
- g es la aceleración gravedad

Un aspecto a tener muy en cuenta es que la altura de ola H_b^* no tiene porque corresponder con la de ola para el cálculo del dique exento, H_b , obtenida en la primera parte de este anejo por condiciones de rotura de fondo. Así, en los cálculos del perfil de la playa habrá que utilizar la altura de ola al romper en la línea de

costa. Existen varios criterios para calcular. Estos criterios se pueden clasificar en dos tipos:

- Tipo I: Criterios que expresan las condiciones de rotura en función de parámetros locales de la ola y características batimétricas (o pendiente del fondo).
- Tipo II: Criterios que especifican la altura de ola en rotura en función de características batimétricas (pendiente de la playa) y peralte de la onda en la zona offshore (H_{so}/L_o).

En este proyecto se utilizarán criterios de tipo II, que son los siguientes

- Le Méhautéy Koh (1967):

$$H_b^* = 0,76 \cdot m^{\frac{1}{7}} \cdot H_{so} \cdot \left(\frac{H_{so}}{L_o} \right)^{-\frac{1}{4}}$$

- Komar y Gaughan (1972):

$$H_b^* = \frac{0,56 \cdot H_{so}}{\left(\frac{H_{so}}{L_o} \right)^{\frac{1}{5}}}$$

- Sunamura y Horikawa (1974):

$$H_b^* = m^{0,2} \cdot H_{so} \cdot \left(\frac{H_{so}}{L_o} \right)^{-\frac{1}{4}}$$

Para una pendiente en la zona de rompientes del 2%, los resultados obtenidos son los siguientes:

H_b^*			
Criterio1	6,87	H_{so} (m)	5,95
Criterio2	7,28	L_o (m)	297
Criterio3	7,23	m	2%

Puesto que la diferencia entre el segundo y tercer criterio es mínima, optamos por elegir el criterio de Sunamura y Horikawa, por lo que la altura de ola de rotura en la línea de costa es de 7,2 metros.

Para un período $T = 13,78$ segundos (calculado en el anejo de calculo de obras de abrigo), y empleando la fórmula de Longuet-Higgins y Stewart, se obtiene un valor de run-up (s) igual a 1,13 metros.

Cabe destacar, que aunque haya zonas en la línea de costa cuya altura de ola de rotura sea menor por estar protegidas por el dique, a efectos de cálculo se va a considerar el mismo run-up para toda la cosa, para así quedarnos del lado de la seguridad.

Asimismo, si se considera una sobreelevación media del nivel del mar de 0,5 metros, se obtiene un run-up total de 1,63 metros.

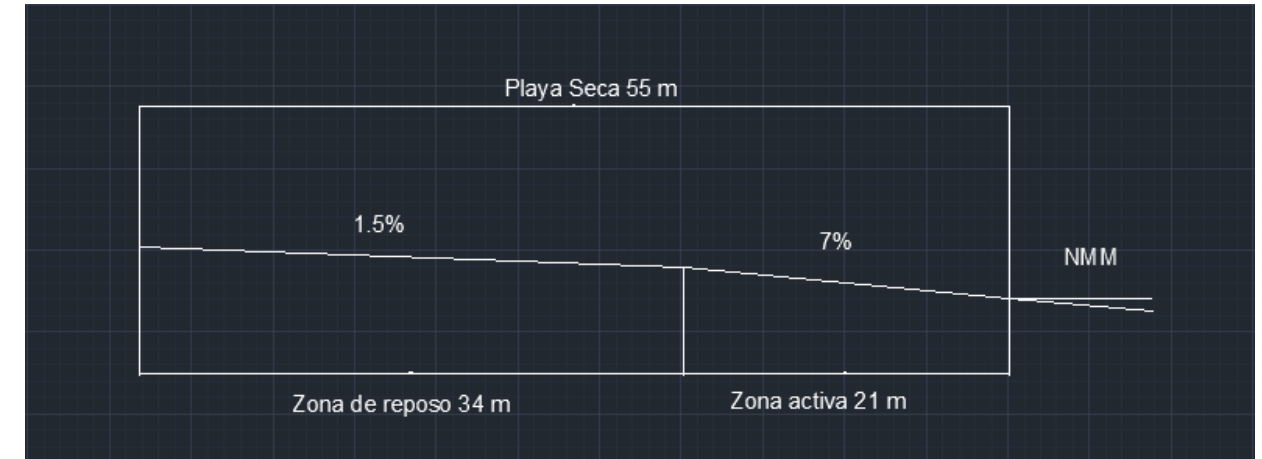
3.3. Determinación del ancho mínimo de la playa seca

El ancho mínimo de la zona activa es el necesario para absorber el run-up.

Sabiendo que el valor del mismo asciende a 1,63 metros y que la pendiente escogida para la zona es del 7%, el ancho de la zona activa debe ser al menos de 20,4 metros. Por seguridad se adoptará un ancho de 21 metros, que es mayor que el mínimo recomendado (10 metros).

Para la zona de reposo, se decide adoptar un ancho de 34 metros. La pendiente recomendada en esta zona es del 1,5%, lo que significa que en esos 34 metros de anchura se aumentan 51centímetros de cota.

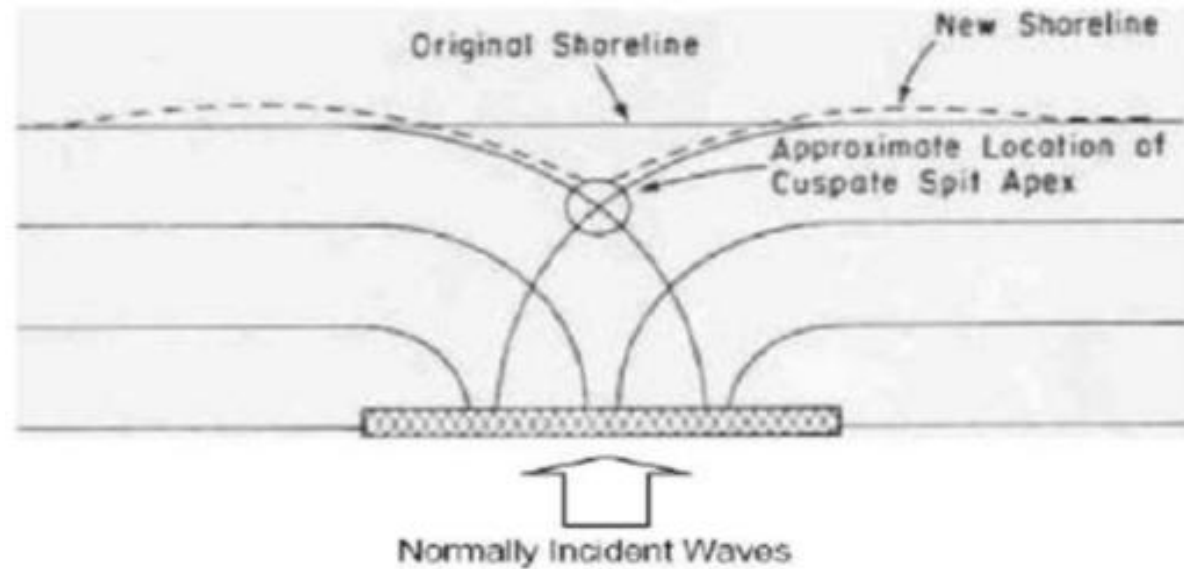
En resumen, tendremos una zona activa de 21 metros de ancho y un 7% de pendiente, y una zona de reposo de 34 metros y 1,5% de pendiente. Así, el ancho mínimo de la playa seca asciende a 55 metros.



4. Forma en planta de la playa

Se va a hacer una predicción de la forma en planta de la playa. Buscando la forma final de equilibrio a la que se llegará con la construcción del dique exento sumergido.

Como se puede ver en la imagen siguiente, si las olas inciden perpendicularmente a la alineación del dique, se forma un hemitómbolo justo en la zona central, tras las construcciones. A esta zona se le conoce con el nombre de zona de sombra.



En las zonas de sombra se manifestarán los efectos de la difracción del oleaje. Además, aparece la componente del transporte longitudinal. Debido a estos dos efectos la playa adquiere una forma curva en planta, que se ha intentado caracterizar mediante expresiones analítica.

De las múltiples fórmulas analíticas existentes, para el caso de la playa de Les Palmeres se utilizará el denominado 'compás de playa' o 'espiral logarítmica de ángulo constante' de Carlos Garau.

$$R(\theta) = R \cdot e^{\theta \cdot \cot \alpha}$$

El cálculo de esta formulación se lleva a cabo mediante el empleo de la propia plantilla del compás. Basta trazar el tramo recto y la solución gráfica se obtiene simplemente colocando el centro del compás en el extremo del dique y haciéndolo girar hasta que se ponga tangente a la recta.

5. Granulometría de la arena de la playa de les palmeres

5.1 D50 de la arena nativa

Debido a la acción clasificadora del oleaje, sería necesario analizar un gran número de muestras de arena, tanto originales como de préstamos para llegar a establecer la curva granulométrica de las arenas que forman parte de la playa de Les Palmeres.

En este apartado se va a analizar el tamaño medio de la arena nativa de la playa seca para así poder decidir la granulometría más adecuada a utilizar en la regeneración de la playa.

En ingeniería de costas, cuando se trabaja con playas de arena, se suele trabajar con un tamaño medio de las partículas al que se denomina D50, y no con curvas granulométricas. Es necesario conocer el tamaño original de la arena de nuestra playa para poder decidir el D50 a considerar. Hay que tener en cuenta que el tamaño a utilizar debe ser mayor o igual al original.

Además de esto, se dispone de datos de campo de la playa de Les Palmeres. Estos datos, que proceden del 'Estudio ecocartográfico del litoral de las provincias de Valencia y Alicante', se pueden observar en la página siguiente.

Por tanto, vemos que el D50 de la playa de Les Palmeres es de 0,24 milímetros.

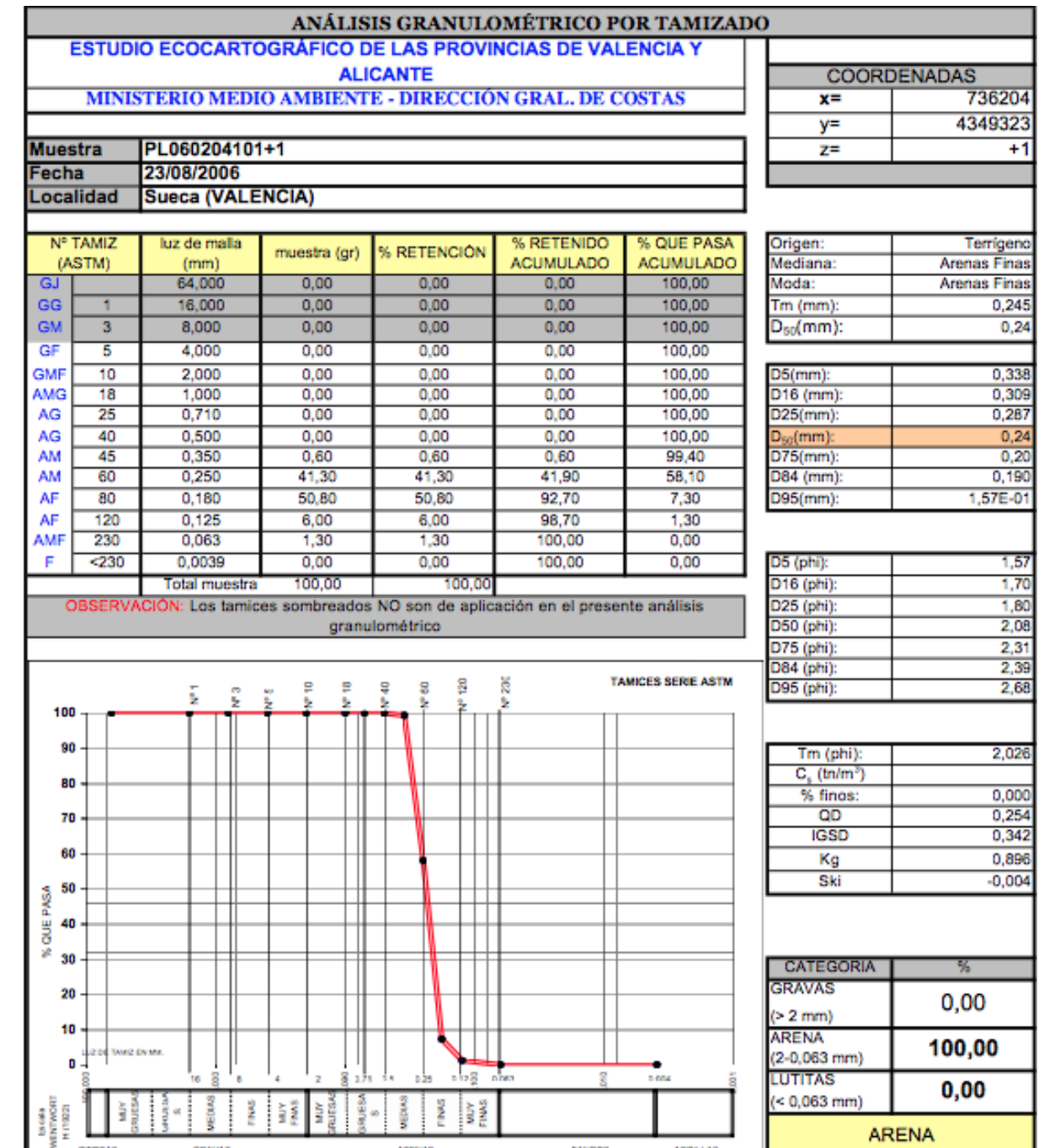
Generalmente las arenas de préstamo son distintas a las existentes en la playa, por lo que el comportamiento del nuevo perfil generado también será distinto. A partir de una serie de ensayos, el profesor Pier Vellinga obtuvo en 1982 una relación de escala con la que se puede predecir el efecto de un cambio en la granulometría del sedimento en la forma del perfil de la playa.

Esta relación viene dada por:

$$\frac{l_n}{l_p} = \left(\frac{w_n}{w_p} \right)^{-0,56}$$

Siendo:

- l la distancia horizontal entre dos cotas dadas
- w es la velocidad de caída del sedimento
- n indica características de la playa antes de la regeneración
- p indica características de la playa alimentada



Mediante la formulación anterior, puede demostrarse que la utilización de un material más grueso hace que la pendiente de la playa regenerada sea mayor que la original, mientras que si se usa material más fino, la pendiente de equilibrio disminuiría.

Hay que considerar el empleo de arenas con un tamaño medio igual o superior al nativo. En la alimentación artificial se busca el empleo de material del mismo tamaño medio para que sea lo más parecido al material original de la playa. Si esto no es posible, se utiliza un tamaño mayor para conseguir reducir la erosión de la costa.

Además, hay que tener en cuenta la acción del oleaje conlleva un lavado de los finos de la arena, por lo que el tamaño medio puede aumentar con el tiempo.

En conclusión sabiendo que la arena de la playa de Les Palmeres tiene un $D_{50} = 0,24$ milímetros, se empleará en este proyecto una arena de aportación con un diámetro medio $D_{50} = 0,30$ milímetros.

6. Perfil de la playa

En este epígrafe se estimará el perfil que alcanzará la playa de Les Palmeres tras las obras de defensa y regeneración propuestas. El perfil dependerá especialmente de las características del oleaje y el tamaño de los sedimentos que formen la playa.

6.1 Variaciones estacionales del perfil

Los cambios en el perfil de la playa se producen en la dirección normal a la costa, debidos generalmente al transporte transversal de sedimentos. Se suelen considerar cíclicos, ya que fundamentalmente dependen de la energía del oleaje, la cual suele tener un marcado carácter estacional. Se pueden definir dos tipos de perfiles: el perfil de temporales y el perfil de calmas.

El perfil de temporales se produce durante la acción de tormentas, en las que el oleaje que actúa sobre la playa es de gran contenido energético, por lo que la arena de la superficie de la playa se satura aumentándose así las velocidades de retorno. El agua de retroceso cargada de sedimentos en suspensión, cuando a cierta profundidad pierde velocidad, origina un depósito, por lo que surge una barra de arena a cierta distancia de la línea de costa. Esta barra tiene un efecto de defensa ya que disipa energía y evita la erosión completa de la playa.

El perfil de calmas se produce durante la acción de un oleaje de baja energía. Bajo estas condiciones, el sedimento erosionado y depositado como barra, comienza a ser transportado hacia la orilla, produciendo un avance de la misma.

Asimismo, hay que tener en cuenta que las escalas de tiempo a las que se producen ambos perfiles son bastante diferentes. Así, mientras que el perfil de temporales puede tardar del orden de horas en formarse, el perfil de calmas puede durar incluso meses en llegar a su desarrollo completo.

6.2 Zonificación del perfil de la playa sumergida

En este proyecto lo que se busca es determinar el perfil de equilibrio, que es aquel que disipa la mayor parte de la energía del oleaje que actúa sobre la playa.

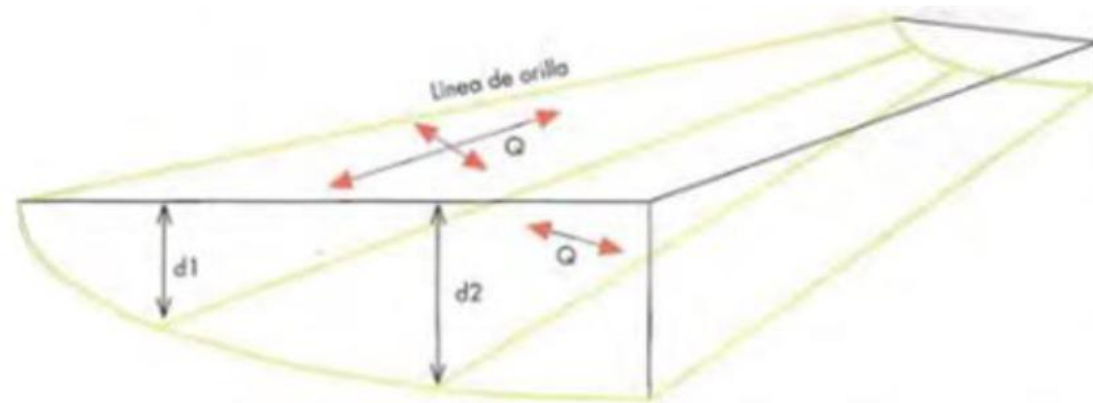
Para poder obtener este perfil de equilibrio, primero se han de analizar las distintas partes en las que se puede dividir el perfil de una playa sumergida.

El transporte sólido se produce únicamente en ciertas zonas del perfil de la playa. Estas zonas están delimitadas por dos líneas (d_1 y d_2) definidas por sus profundidades:

- La zona litoral, o zona onshore, por encima de la profundidad activa (d_1), donde coexisten las corrientes de transporte sólido normal, responsable de los cambios del perfil a corto plazo, y la longitudinal, que induce movimientos a medio plazo.
- La zona intermedia, por debajo de la profundidad activa y por encima de la profundidad límite (d_2), donde únicamente tiene lugar el transporte normal, siendo despreciable o nulo el transporte longitudinal.
- La zona offshore, por debajo de la profundidad límite, donde el transporte sólido es prácticamente nulo.

A efectos de los cálculos para los trabajos de ampliación de la playa seca, se puede tener una aproximación respecto a la profundidad hasta la que se desarrolla el perfil.

Se recomienda asumir que el perfil activo se desarrolle hasta la profundidad d_1 , mientras que el límite inferior de la zona de transición se encuentre a una profundidad d_2 , por lo que el contorno de la transición coincide con el de la zona intermedia definida anteriormente.



La teoría de Hallermeier, reformada por Birkemeier en 1985, proporciona las siguientes expresiones de las profundidades d_1 y d_2 :

$$d_1 = 1,75 \cdot H_{s,0,137} - 57,9 \cdot \left(\frac{H_{s,0,137}^2}{g \cdot T^2} \right)$$

Siendo $H_{s,0,137}$ la altura de ola superada 12 horas al año y T_s su período asociado. Por otro lado, la profundidad límite (d_2) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{2 \cdot \pi \cdot d_2}{L} = \operatorname{arcsenh} \left(\frac{\pi \cdot H_{s,50}}{T_{50} \cdot \sqrt{8 \cdot \Delta \cdot D_{50}}} \right)$$

Siendo L la longitud de onda asociada a la profundidad d_2 , $H_{s,50}$ la altura de ola significativa que presenta una probabilidad de ser superada del 50%, T_{50} su período asociado, la densidad relativa de la arena respecto del agua del mar que se toma igual a 1,6 y D_{50} el tamaño medio de la arena de origen.

Apoyándonos en el cuadro C de regímenes medios escalares de la ROM 0.3-91, se obtiene que para la probabilidad acumulada igual a 0,99863 (1-0,00137), la $H_{s,0,137} = 2,5$ metros. El cálculo del período asociado se recomienda que esté entre:

$$[4\sqrt{H}, 5\sqrt{H}]$$

Realizando el cálculo, obtenemos el rango [6,32;7,91]. Por tanto, se decide escoger el valor medio aproximado, por lo que $T_s = 7$ segundos.

Con los valores de $H_{s,0,137}$ y T_s a partir de la ecuación de la profundidad activa se obtiene que $d_1 = 3,62$ metros.

Para estimar la profundidad límite se acude al cuadro C de la ROM 0.3-91 nuevamente, y se obtiene que $H_{s,50} = 0,45$ metros y que su periodo asociado es $T_{50} = 3$ segundos.

Por otro lado, el tamaño medio vimos que era $D_{50} = 0,30$ milímetros.

Ante la dificultad de conseguir simultáneamente el valor de d_2 y el de L , se opta por una sugerencia realizada por varios autores, que estiman que $d_2 = 2d_1$.

Por lo tanto, se llega a la conclusión de que $d_2 = 7,24$ metros.

6.3 Diseño del perfil de equilibrio de la playa sumergida

Se podría definir como perfil de equilibrio de una playa a aquel que es capaz de disipar la totalidad de la energía incidente, de tal manera que, aunque el oleaje siga actuando sobre él, no experimentara ningún cambio en su morfología.

Una de las aplicaciones más habituales en ingeniería de costas del perfil de equilibrio, es para el diseño del perfil de la playa regenerada.

Sin embargo, hay que señalar que debido a la acción clasificadora del oleaje, el lavado de los finos, etc., es muy difícil predecir de manera exacta el comportamiento del nuevo perfil alimentado.

El perfil de equilibrio sería equivalente al perfil medio durante el año, sobre el que se producirían oscilaciones positivas en caso de acumulación de material y negativas en el caso de erosión, pero que de alguna manera se mantendría constante a largo plazo.

Bruun (1954) fue uno de los primeros en proponer una expresión genérica para el perfil de equilibrio. En su estudio, encontró que los perfiles podían representarse a través de la siguiente relación:

$$y = A \cdot x^{2/3}$$

Siendo A un coeficiente que depende del tamaño medio de los sedimentos y x la distancia a la costa.

Bruun aplicó este modelo para la zona del perfil entre aguas profundas y rotura, basándose en la hipótesis de que la forma del perfil es tal que la tensión en el fondo ejercida por las olas es constante a lo largo de todo él.

Un acercamiento más sencillo al perfil de equilibrio es aquel en el que se predice una pendiente de equilibrio en función del diámetro del sedimento y del grado de exposición de la playa. De esta forma se estima el perfil de manera más próxima a la naturaleza.

Esta aproximación se hace, en general, a partir de diagramas empíricos como el de Wiegel, donde se da la pendiente esperada en función del diámetro medio utilizado en la aportación artificial de arena a playas expuestas, parcialmente protegidas y protegidas de la acción del oleaje.

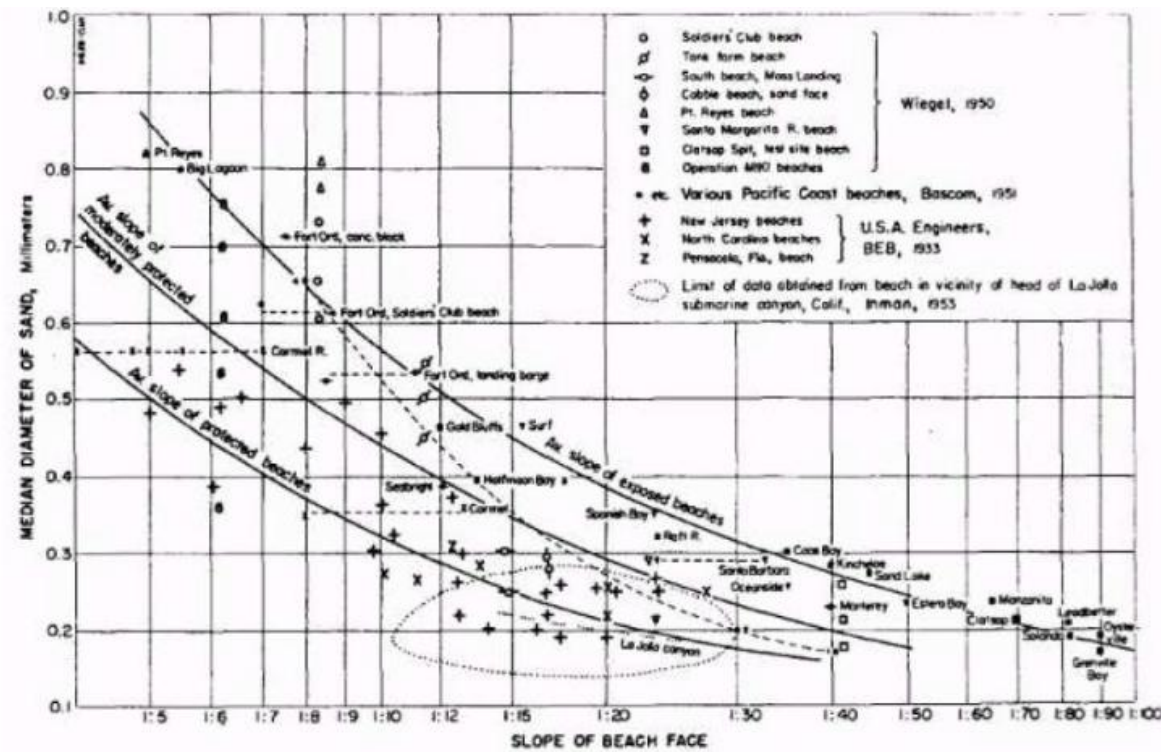
Se obtiene así un perfil uniforme, caracterizado por un talud.

Para interpretar correctamente el diagrama de Wiegel hay que pensar en los dos efectos que la regeneración causa en la playa de Les Palmeres.

Por un lado, el material de aportación que se va a emplear tendrá un tamaño medio de $D_{50} = 0,30$ milímetros.

Además, la construcción del dique exento sumergido supondrá una protección de la playa, que dejará de estar totalmente expuesta a la acción del oleaje.

Para estar del lado de la seguridad, en la gráfica de Wiegel se considerará una situación intermedia entre moderadamente protegida y expuesta al oleaje.



Se suele considerar que la pendiente del 7 % se extenderá en la playa sumergida desde la línea de costa resultante tras la regeneración hasta alcanzar el mínimo de los dos valores siguientes. Por un lado, la profundidad activa de la zona litoral, o por otro lado, la cota del fondo marino existente en la actualidad.

Normalmente, se va a producir la segunda de las dos circunstancias. No obstante, en el caso de que se dé la primera, a partir de la profundidad activa (d1), el perfil de la playa adoptaría otra pendiente, que sería variable, en función de las condiciones del fondo, de forma que el nuevo perfil tras la regeneración y el actual se intersectarían en la profundidad límite (d2).

En el caso de la playa de Les Palmeres, se considera una pendiente del 2% desde la línea de costa extendida en la playa sumergida hasta la línea batimétrica de cota -5m, a partir de ahí la pendiente cambia a ser del 8%.

7. Alimentación artificial

7.1 Método de aporte y procedencia de la arena

En la ejecución de las obras de regeneración de este proyecto, se va a una colocación directa de la arena en la alimentación de la playa.

En un primer momento, para crear el ancho mínimo de playa especificado, se ubicarán directamente los volúmenes necesarios en cada zona de la playa.

Este primer proceso es muy sencillo, y consiste en verter desde los camiones la arena a la playa seca, y repartirla con maquinaria de movimiento de tierras hasta conseguir la anchura determinada.

Una vez concluida esta fase, la arena necesaria para completar el perfil de equilibrio definido para la playa sumergida se podrá aportar mediante el vertido en puntos separados de la costa o mediante apilado en los primeros metros de la playa sumergida.

El emplazamiento offshore se puede ejecutar con medios terrestres, aprovechando, antes de su retirada, los caminos de acceso provisionales para la construcción de los diques exentos.

El otro método, el apilado de volúmenes de arena para su distribución por la dinámica litoral, se puede realizar en áreas determinadas de la playa sumergida, pero muy próximas a la costa, para evitar así el uso de medios marinos de ejecución.

Resumiendo, la forma de aportar la arena es un tanto variada, pero también muy sencilla en todos los casos, no siendo necesarios medios marinos.

Por otro lado, la arena de aporte va a proceder de plantas de extracción y tratamiento de áridos. Por lo tanto, la fuente es terrestre, y para su utilización en la playa de Les Palmeres, necesitarán un proceso de machaqueo, clasificación, etc...

7.2 Cálculo del volumen de arenas de aportación

En este proyecto se ha cubicado la arena necesaria de aportación utilizando un total de 10 perfiles transversales. A continuación se expone esquemáticamente los pasos seguidos:

- Se trazan 10 perfiles transversales, separados entre sí 125 metros, hasta cubrir los 1250 metros de la playa de Les Palmeres.
- En cada uno de ellos, se dibuja el perfil existente con la ayuda de la información batimétrica de que se dispone.
- Se estima la planta de la playa tras la regeneración de la misma, donde se hayan alcanzado los 45 metros de ancho buscados.
- Se calcula el perfil de la playa, tanto seca como sumergida, y se dibuja en cada uno de los perfiles transversales.
- El perfil de equilibrio de la playa ya regenerada intersectará con el perfil actual de la playa en cada uno de los 10 perfiles transversales. El área encerrada entre los dos perfiles será la superficie de relleno en ese perfil transversal.
- Se aplica la fórmula de cubicación de Puig Adam para obtener el volumen de aportación a partir de las superficies de relleno.

Tal y como se decía en el paso f), la cubicación de los volúmenes de arena se realizará con el método trapezoidal de Puig Adam. Entonces el volumen de arena necesario para las obras de regeneración de la playa de Les Palmeres se calculará con la siguiente fórmula:

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot D_{1-2} + \frac{S_2 + S_3}{2} \cdot D_{2-3} + \dots + \frac{S_{n-1} + S_n}{2} \cdot D_{(n-1)-n}$$

Siendo S_i el área de relleno del perfil transversal i , y D_{i-j} la distancia entre los perfiles i y j .

En la siguiente foto aérea se muestran los 10 perfiles tomados desde la extremidad oeste de la playa seca actual hasta cumplir los 55 metros mínimos recomendados.



A partir de estos perfiles, sacaremos los volúmenes de relleno con arena de aportación.

En la siguiente tabla se especifican, perfil a perfil, las áreas de relleno. En la columna situada a la derecha se determina la superficie calculada para cada perfil.

Se calcula el volumen total con el método de Puig Adam con una separación uniforme entre perfiles de 125m.

Finalmente calculase obtiene el volumen total de arena a aportar entre los 10 perfiles.

8. Bibliografía

- www.ecocartografias.com

- shore protection manual

	Superficie m^2		
Perfil 1	193		
Perfil 2	250		
Perfil 3	270		
Perfil 4	262		
Perfil 5	250		
Perfil 6	262		
Perfil 7	184		
Perfil 8	157		
Perfil 9	184		
Perfil 10	171		
		Volumen	250125 m^3
		Volumen	300150 m^3