

ANEJO 8. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 3

2. CÁLCULO DIQUE EXENTO 3

2.1 Cálculo de la altura de ola (H_{cal}) 3

2.1.1 Altura de ola significativa en aguas profundas (H_{so})..... 3

2.1.2 Altura de ola en condiciones de rotura (H_b)..... 5

2.1.3 Altura de ola de cálculo (H_{cal}) 6

2.2 Parámetros básicos del dique 6

2.2.1 Orientación respecto a la orilla 6

2.2.2 Separación de la costa 7

2.2.3 Longitud y ubicación..... 7

2.2.4 Cota de coronación..... 7

3. MATERIALES CONSTITUYENTES Y SECCIÓN TRANSVERSAL 7

4. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y CÁLCULO DE DIQUE EN TALUD 8

4.1 Estabilidad del dique..... 8

4.2 Criterios de avería..... 8

4.3 Cálculos de peso de las piezas y espesores de capa 8

4.3.1 Manto principal 9

4.3.2 Manto secundario 10

4.3.3 Núcleo interior..... 10

4.4 Ancho mínimo de coronación..... 11

4.4.1 Justificación de los anchos..... 11

4.5 Bermas de refuerzo..... 11

5. CÁLCULO DEL ESPIGON DE ENCAUZAMIENTO..... 12

5.1 Introducción 12

5.2 Diseño del espigón 12

5.2.1 Longitud 12

5.2.2 Dirección y altura..... 12

5.3 Materiales y geometría de la sección transversal 13

5.4 Cálculo del espigón 13

5.4.1 Altura de la ola de cálculo (H_{cal}) 13

5.4.2	Peso de las piezas de escollera y espesor de las capas	13
6.	PERFIL DE PLAYA GENERADO	15
6.1.	Zonificación de la playa.....	15
6.2.	Cálculo de run-up.....	16
6.3.	Determinación del ancho mínimo de la playa seca	17
6.3.1.	Zona activa y zona de reposo	17
6.3.2.	Cordón dunar	17
7.	FORMA EN PLANTA DE LA PLAYA.....	18
8.	GRANULOMETRÍA DE LA ARENA DE LA PLAYA DE LA GOLETA	18
8.1	D ₅₀ de la arena nativa	18
9.	PERFIL DE LA PLAYA.....	20
9.1	Variaciones estacionales del perfil	20
9.2	Zonificación del perfil de la playa sumergida	20
9.3	Diseño del perfil de equilibrio de la playa sumergida	21
10.	CORDÓN DUNAR. FORMACIÓN Y APOORTE DE ARENAS.....	22
10.1	Introducción	22
10.2	Creación del cordón dunar	22
10.3	Fijación del cordón dunar	22
10.4	Método de aporte y procedencia de la arena	23
10.5	Cálculo del volumen de arenas de aportación	23
11.	BIBLIOGRAFÍA	24

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este anejo es el desarrollo de los cálculos necesarios para llevar a cabo la solución propuesta en el anejo *‘Estudio de Soluciones’*.

Primero se procederá a realizar el dimensionamiento del dique exento y a continuación el dimensionamiento del espigón.. Para ello, se estudiará la altura de ola de cálculo, la disposición de los mismos en planta y los materiales a utilizar.

A continuación, se tratará la ejecución de la alimentación artificial y el cordón dunar.

2. CÁLCULO DIQUE EXENTO

2.1 Cálculo de la altura de ola (H_{cal})

El objetivo de este apartado es la determinación de la altura de ola de cálculo para el dimensionamiento del dique exento sumergido.

La altura de ola de cálculo, en el caso de obras de defensa, viene condicionada en muchos casos por la profundidad. Dependiendo de ella, las olas que afecten a las obras de regeneración de la playa de La Goleta, serán las correspondientes al régimen de oleaje en su forma original o en rotura. Para conocer el régimen de oleaje de este proyecto, se va a proceder al cálculo de la altura de ola significativa en aguas profundas (H_{so}) y la altura de ola en condiciones de rotura (H_b).

2.1.1 Altura de ola significativa en aguas profundas (H_{so})

Como se ha comentado en el anejo *‘Clima marítimo’*, la playa de Tavernes de la Valldigna pertenece al área VII, según la ROM 0.3-91 *‘Recomendación para Oleaje y Atlas de Clima Marítimo en Litoral español’*. De toda la información disponible para dicho área, en este punto se va a utilizar la que ofrecen los cuadros D (Registros Instrumentales: Regímenes Extremales Escalares) y E (Registros Instrumentales: Correlaciones, Altura de ola / Período en Temporales).

Para la completa caracterización del oleaje en aguas profundas a partir de la información disponible en el litoral español, es necesario transferir a dichas aguas los resultados obtenidos en base a datos instrumentales, ya que estos han sido registrados generalmente en puntos de medida situados en profundidades reducidas o intermedias y por tanto afectados por diversos procesos de atenuación, transformación y deformación causados fundamentalmente por la batimetría o topografía marina.

La altura de ola significativa asociada a un período de retorno en aguas profundas en una dirección determinada, puede obtenerse a partir de los resultados instrumentales disponibles en el cuadro D, por medio del coeficiente K_R , a través de la siguiente ecuación:

$$H_{SO} = K_{\alpha}/K_R \cdot H_{SR}$$

Siendo:

- H_{SO} : altura de ola significativa en aguas profundas asociada a un período de retorno, para una dirección determinada.
- H_{SR} : altura de ola significativa asociada a un periodo de retorno obtenida del régimen extremal escalar instrumental.
- K_{α} : coeficiente de reparto direccional para la dirección considerada.
- K_r : coeficiente de refracción-shoaling en el punto de medida para la dirección considerada, y el periodo establecido asociado a dicha altura de ola.

Las siguientes tablas representan los valores de los coeficientes K_α y K_R para Valencia:

K α						
NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
1	1	0,9	0,8	0,7	-	-

K r						
Dirección	7	9	11	13	15	17
NE	0,94	0,88	0,87	0,83	0,87	-
ENE	0,94	0,9	0,79	0,75	0,8	-
E	0,94	0,94	0,93	0,95	0,98	-
ESE	0,94	0,91	0,93	0,95	0,96	-
SE	0,94	0,89	0,89	0,89	0,89	-

Así, una vez aplicada la formulación anterior, obtenemos los siguientes resultados:

$H_{SO} = K_{\alpha}/K_R \cdot H_{SR}$								
T		2	5	10	20	50	100	200
H _{SR}		3,1	3,5	3,8	4,1	4,5	4,8	5,2
T _{p,min}		8,8	9,35	9,75	10,12	10,61	10,95	11,4
T _{p,max}		11,09	11,79	12,28	12,76	13,36	13,8	14,37
T _p		9	11	11	11	11	13	13
H _{SO} (m)	NE	3,52	4,02	4,37	4,71	5,17	5,78	6,27
	ENE	3,44	4,43	4,81	5,19	5,70	6,40	6,93
	E	2,97	3,39	3,68	3,97	4,35	4,55	4,93
	ESE	2,73	3,01	3,27	3,53	3,87	4,04	4,38
	SE	2,44	2,75	2,99	3,22	3,54	3,78	4,09

A continuación, nos apoyaremos en la ROM 0.2-90 ‘Acciones al proyectar Obra Marítima y Portuaria’. En ella se establecen las vidas útiles mínimas para obras e instalaciones de carácter definitivo, como las que se van a ejecutar para regenerar la playa de La Goleta.

El nivel de seguridad requerido en este tipo de obras es el NIVEL 1, donde se incluyen las obras de defensa y regeneración de costas. Además, la infraestructura se considera de carácter general. Por lo expuesto anteriormente, y atendiendo a la tabla que se presenta a continuación, se obtiene una vida útil mínima (L) para estas construcciones de 25 años.

TABLA 2.2.1.1. VIDAS ÚTILES MÍNIMAS PARA OBRAS O INSTALACIONES DE CARÁCTER DEFINITIVO (en años)			
TIPO DE OBRA O INSTALACIÓN	NIVEL DE SEGURIDAD REQUERIDO		
	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL	25	50	100
DE CARÁCTER INDUSTRIAL ESPECÍFICO	15	25	50

LEYENDA:

INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL:
Obras de carácter general; no ligadas a la explotación de una instalación industrial o de un yacimiento concreto.

DE CARÁCTER INDUSTRIAL ESPECÍFICO:
Obras al servicio de una instalación industrial concreta o ligadas a la explotación de recursos o yacimientos de naturaleza transitoria (por ejemplo, puerto de servicio de una industria, cargadero de mineral afecto a un yacimiento concreto, plataforma de extracción de petróleo,...).

NIVEL 1:
Obras e instalaciones de interés local o auxiliares.
Pequeño riesgo de pérdidas de vidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura.

En el epígrafe "Riesgos máximos admisibles para la determinación, a partir de los datos estadísticos, de los valores característicos de cargas variables para fase de servicio y condiciones extremas" de la ROM 0.2-90, se exponen las consideraciones que hay que tener en cuenta a la hora de calcular el riesgo admisible de averías.

Se adoptará como riesgo máximo admisible el de iniciación de averías o el de destrucción total según las características de deformabilidad y de posibilidad o facilidad de reparación de la estructura resistente. Para obras rígidas o de rotura frágil, sin posibilidad de reparación, se adoptará el riesgo de destrucción total. Para obras flexibles, semirrígidas o de rotura en general reparable (daños menores que un nivel prefijado función del tipo estructural), se adoptará el riesgo de iniciación de averías, como se da en este proyecto.

TABLA 3.2.3.1.2. RIESGOS MÁXIMOS ADMISIBLES PARA LA DETERMINACIÓN, A PARTIR DE DATOS ESTADÍSTICOS, DE VALORES CARACTERÍSTICOS DE CARGAS VARIABLES PARA FASE DE SERVICIO Y CONDICIONES EXTREMAS

a) RIESGO DE INICIACIÓN DE AVERÍAS		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA. Índice : $\frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$	BAJA	0,50	0,30
	MEDIA	0,30	0,20
	ALTA	0,25	0,15
b) RIESGO DE DESTRUCCIÓN TOTAL		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA. Índice r : $\frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$	BAJA	0,20	0,15
	MEDIA	0,15	0,10
	ALTA	0,10	0,05

En este caso, para las obras de la playa de La Goleta, hay que considerar una posibilidad de pérdidas humanas reducida y una repercusión económica de inutilización de la obra media. Por ello, el valor del riesgo admisible (E) asciende a 0,3.

A partir de los parámetros obtenidos, se puede calcular el periodo de retorno (T) a considerar para las obras de regeneración de la playa de La Goleta,

$$E = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^L$$

Despejando, obtenemos un período de retorno (T) aproximado de 71 años.

Adoptando este período de retorno, se puede interpolar en la tabla ' $H_{SO} = K_a/K_R \cdot H_{SR}$ ' para obtener la altura de ola significativa en profundidades indefinidas:

T		71
H _{s,R}		4,7
T _{p,min}		10,84
T _{p,max}		13,66
T _p		11
H _{SO} (m)	NE	5,40
	ENE	5,95
	E	4,55
	ESE	4,04
	SE	3,70

Se tomará como altura de ola significativa en aguas profundas el valor H_{SO} = 5,95 metros. Como se ha podido ver en la tabla, las olas más altas tienen dirección NE y ENE.

A continuación se definen la longitud y el período de dicha ola de cálculo. Para ello, se utiliza la ROM 0.3-91, en el área de Valencia:

$$T_p = (5 \sim 6,3) \sqrt{H_s}$$

Así, obtenemos dos valores:

$$T = 12,2 \text{ segundos}$$

$$T = 15,4 \text{ segundos}$$

escogiendo la media de ambos

$$T = 13,78 \text{ segundos}$$

Y con la ayuda de la formulación siguiente obtenemos la longitud de ola:

$$L_o = g \cdot T^2 / 2 \cdot \pi$$

Obteniendo un resultado de 297 metros aproximadamente.

2.1.2 Altura de ola en condiciones de rotura (H_b)

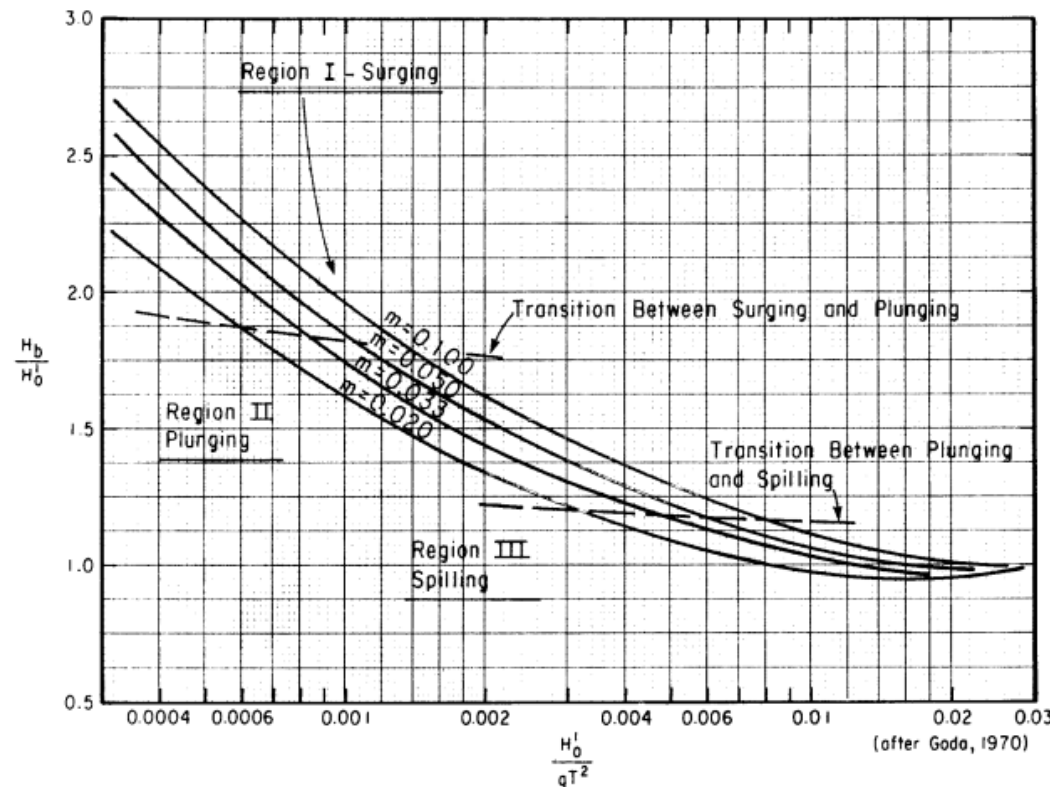
Normalmente, la altura de ola determinante para las obras costeras es la mayor ola rompiente que pueda llegar a la obra. En el caso de las obras de regeneración de la playa de La Goleta, habrá que considerar la máxima altura de ola que pueda llegar a la obra sin romper antes. En el momento en que la ola rompe, la teoría de la onda solitaria afirma que:

$$\frac{H_b}{d_b} = 0,78$$

siendo H_b la altura de ola en condiciones de rotura y d_b la profundidad de cálculo al pie de las estructuras, obtenida como suma de la profundidad real de éstas (d_s) y la sobreelevación considerada (s).

Este valor suele coincidir con lo observado en la naturaleza, aunque pueden aparecer importantes diferencias con los resultados de esta fórmula general, debido a una serie de factores, como son la pendiente del fondo, la profundidad frente a la obra, la altura y el período de las olas incidentes. Además, hay que tener en cuenta que los oleajes son irregulares y no olas esquemáticas como las ondas solitarias.

A continuación, nos apoyamos en las curvas Weggel. Estas curvas indican la rompiente máxima que puede llegar a una obra con una cierta profundidad al pie de las estructuras (Z_s = d_b), según la profundidad relativa Z_s/g·T² y la pendiente del fondo 'm'.



Teniendo en cuenta que la playa de La Goleta tiene una pendiente aproximada del fondo, por delante de las estructuras, entorno al 1-2% y considerando un periodo de oleaje en torno a los 9 - 12 segundos, se obtiene la siguiente relación:

$$H_b/d_b=1$$

Calculando la altura máxima de rotura de este modo, no tenemos en cuenta el entorno, que puede hacer que dicha de altura no acabe alcanzando.

La altura de ola en rotura para el diseño de las obras de regeneración en la playa de La Goleta se calcula a partir de las curvas de Weggel. Sabiendo que los diques se van a colocar a una profundidad aproximada de 4,5 metros, se obtiene:

$$H_b = 1 \cdot d_b$$

$$H_b = 1 \cdot 4,5 = 4,5 \text{ metros}$$

Según la teoría de onda solitaria, $H_b/d_b = 0.78 \approx 0.8$, por lo que para el pie del dique exento situado a una profundidad de 4,5 metros, como ocurre en nuestro caso, más una sobreelevación debida a la variación del nivel del mar de $\pm 1,0$ metro, el valor de la altura de ola en rotura sería:

$$H_b = 0.8 \cdot (1 + 4,5) = 4,4 \text{ metros}$$

Como podemos observar, la primera altura de ola en rotura obtenida es más restrictiva que esta última, por lo que nos quedamos con ella ($H_b = 4,5$ metros).

2.1.3 Altura de ola de cálculo (H_{cal})

Se ha de tener en cuenta que al haber obtenido una altura de ola en rotura (H_b) de 4,5 metros, todas las olas mayores a ese valor romperán antes de alcanzar las obras de regeneración.

Por otro lado, se sabe que durante la presentación de un temporal existen alturas de ola individuales que, en algunos casos, pueden llegar a ser del orden de $2 \cdot H_{1/3}$. Según los cálculos realizados, $H_{50} = H_{1/3} = 5,95$ metros.

Según el Shore Protection Manual (SPM, 1984), para elegir el valor de la altura de ola de diseño se recomienda tomar $H_{1/10}$ en espigones y diques, siendo $H_{1/10} = 1,27 \cdot H_{1/3}$. Entonces, $H_{1/10} = 7,56$ metros, para $T = 71$ años.

Como $H_b < H_{1/10}$, se tiene que las obras de regeneración de la playa de La Goleta se encuentran en condiciones de rotura de ola al pie de las mismas, por lo que:

$$H_{cal} = H_b = 4,5 \text{ metros}$$

2.2 Parámetros básicos del dique

La caracterización del dique exento viene determinada por la apariencia que se quiere que adopte la playa.

Según sus parámetros constituyentes el dique podrá generar tómbolos o hemitómbolos. Como ya se ha comentado en el '*Estudio de soluciones*', la intención es crear hemitómbolos. Por tanto, los parámetros que los definen son:

- la orientación respecto a la orilla
- la separación de la costa
- la longitud del dique
- la cota de coronación

Con este proyecto de regeneración se quiere alcanzar un ancho de playa de 45 metros (+ 10 metros de cordón dunar). Para alcanzar este objetivo, es necesario proteger la playa con dique exento, por lo que es necesario definir los parámetros anteriores.

2.2.1 Orientación respecto a la orilla

El dique exento debería orientarse de modo que se reduzca, en la medida de lo posible, la energía del oleaje que alcanza la orilla, y que se altere la dirección de propagación del oleaje de tal forma que los efectos en la costa del oleaje difractado sean los deseados.

Normalmente, los diques exentos suelen disponerse paralelamente a la línea de costa aunque la dirección del oleaje predominante presente cierta oblicuidad respecto a la normal de la misma. En la costa de Tavernes de la Valldigna predominan los temporales con olas procedentes del NE y del ENE, pero la refracción hace que el frente de olas reduzca su oblicuidad respecto a la línea de costa.

Por todo lo anterior, se decide colocar el dique exento sumergido en paralelo a la línea de costa.

2.2.2 Separación de la costa

Una vez realizada la regeneración de la playa de La Goleta, se espera que la separación entre el dique y la orilla sea aproximadamente de 230 metros.

El dique se colocará a una profundidad aproximada de 4,5 m. Esto se debe a que la batimetría disponible es un tanto imprecisa.

2.2.3 Longitud y ubicación

La longitud del dique influye en la creación de tómbolos o hemitómbolos. Como se ha planteado en este proyecto, se busca la creación de estos últimos. Según el Shore Protection Manual y diversos ensayos con modelo reducido llevados a cabo, para conseguir la creación de hemitómbolos, se aconseja que la relación entre la longitud del dique y la distancia a la costa sea menor que 1. Por ello, se decide que la longitud del dique exento sea de 100 metros.

Asimismo, teniendo en cuenta que esta playa consta de aproximadamente 770 metros de longitud, el morro norte del dique estará a 150 metros de la línea de prolongación de la acequia de La Ratlla.

2.2.4 Cota de coronación

Como ya se determinó en el anejo '*Estudio de soluciones*' el dique será sumergido debido a las ventajas estéticas que conlleva. Por tanto, la cota de coronación estará al NMM. Cabe destacar que el nivel del mar no es constante, por lo que podrán darse situaciones en las que la coronación sea visible, pero en ningún caso supondrá una barrera visual.

3. MATERIALES CONSTITUYENTES Y SECCIÓN TRANSVERSAL

El dique estará formado por bloques de escollera en los mantos y todouno de cantera en el núcleo. Los pesos de los bloques se estudiarán posteriormente en este anejo.

La sección transversal del dique será la misma y de geometría trapezoidal.

A continuación se concretan los parámetros necesarios para definir geométricamente la sección transversal:

- el ancho de coronación del núcleo del cuerpo será de 5 metros
- los taludes tendrán valor de H2:V1
- se colocará una berma a ambos lados de 1,5 metros de longitud y 0,5 metros de altura
- la cota de coronación se mantendrá constante a lo largo del dique y al nivel medio del mar
- el calado o profundidad de colocación será de -4,5 metros

Como podemos observar, algunos de los parámetros anteriores, como son la cota de coronación y la profundidad de colocación ya se han definido anteriormente. El resto de parámetros, se irán definiendo con posterioridad.

4. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y CÁLCULO DE DIQUE EN TALUD

En este epígrafe se analizará la estabilidad y el cálculo del dique. Para ello, se hará uso de la formulación recomendada en el Shore Protection Manual (SPM, 1984).

Los diques en talud son las obras más utilizadas para llevar a cabo la protección de las costas o el abrigo de los puertos. Estas estructuras disipan la energía del oleaje mediante los procesos de rotura, fricción y transmisión del oleaje a la parte abrigada.

Los diques disponen de distintas capas: el núcleo, las capas intermedias y el manto principal, que es el encargado de desempeñar la función resistente.

El núcleo del dique en talud es la parte más interior de la obra y generalmente se compone de material todouno de cantera. Su misión es servir de soporte al resto de capas constituyentes y se le exige impermeabilidad para evitar transmisiones de oleaje. Además se puede emplear como plataforma para la construcción del propio dique. Por último comentar que esta capa tiene un menor coste unitario del material y que sobre ella se asientan las capas intermedias.

Las capas intermedias deben cumplir la doble misión de servir de apoyo al manto principal, así como impedir que los materiales del núcleo escapen por la acción del oleaje, tanto en construcción como en servicio.

Como se ha comentado anteriormente, el manto principal es el encargado de desempeñar la función resistente. La estabilidad de los bloques del manto principal depende del peso propio de los bloques y del engarce y trabazón con los elementos adyacentes y del conjunto.

Para asegurar la estabilidad y la forma del talud es necesario construir una berma de pie que proteja adecuadamente el terreno, la cimentación y, además, proporcione apoyo al manto principal.

4.1 Estabilidad del dique

El estudio de la estabilidad de los diques requiere un análisis de la estabilidad de todo el conjunto y de la estabilidad bloque a bloque.

Bruun realizó una síntesis de las causas de fallo de un dique, agrupándolas en once causas principales, que comprenden la estabilidad hidrodinámica de las piezas, la estabilidad mecánica de las mismas, la estabilidad geotécnica de todo el conjunto granular y errores constructivos.

En lo sucesivo, se analizará la estabilidad del dique ateniéndose a las causas de avería debidas a falta de estabilidad hidrodinámica, es decir:

- Extracción de las piezas del manto principal a causa del oleaje.
- Movimientos continuos de los cantos del manto principal sin grandes desplazamientos instantáneos, pero capaces de deteriorar en el tiempo la conformación del manto. Se puede considerar como una rotura por fatiga.

Los movimientos de una pieza integrada en el manto de un dique puede ser de dos tipos: cabeceos sobre sus apoyos en el manto y desplazamientos de su posición en el manto.

Cuando al dique llega oleaje regular de pequeña altura, este permanece inalterado, a excepción de la extracción de algunas piezas no integradas en el conjunto. Si la altura de ola que llega al dique aumenta suficientemente, comienza la extracción de piezas, que acaba cesando a partir de un número de olas determinado. Durante estos estados, que podríamos calificar de 'estabilidad parcial', el dique alcanza una situación de estabilidad tras un número determinado de olas.

Finalmente, cuando las acciones debidas al flujo superan un determinado valor, las piezas del manto secundario se ven afectadas antes de que el manto principal pudiera alcanzar la situación de estabilidad. Cuando el manto secundario empieza a verse afectado, la progresión del daño aumenta, alcanzándose rápidamente niveles de deformación incompatibles con la función de la estructura. Cuando el espesor del manto principal es muy elevado la deformación admisible es muy superior, por lo que la limitación a la deformación vendrá impuesta, o por el inicio de la erosión del manto secundario o por los efectos que la deformación produce en la funcionalidad del dique.

4.2 Criterios de avería

Se entiende por inicio de averías a aquella altura de ola que provoca el inicio de la extracción de algunos elementos del manto principal. Después de esta situación, el dique alcanza una nueva situación de estabilidad, denominándose 'estabilidad parcial'.

Para relacionar el estado de avería de un dique con los valores de los parámetros de daño, es necesario definir algunos criterios globales de avería, asociados a variaciones geométricas apreciables en el manto, proporcionando así información cualitativa del estado del dique.

A lo largo del tiempo se han ido cambiando los distintos criterios de avería, tanto cuantitativos como cualitativos. Es por ello que, según atendamos a unos criterios u otros, pueden modificarse las valoraciones en cuanto a qué entendemos nosotros por la avería de nuestra construcción.

Recientemente se han definido 4 niveles de daño diferentes reconocibles mediante la inspección visual del dique: Iniciación de Avería (IA), Avería de Iribarren (AI), Inicio de Destrucción (ID) y Destrucción (D).

No obstante, en los cálculos de este proyecto se va a seguir el criterio del SPM (1984) que proporciona una tabla para relacionar la altura de ola de iniciación de averías o daño cero, con la altura de ola de cálculo que realmente ataca el dique.

En esta tabla, se define "daño" como el porcentaje de escollera que se mueve en una banda activa. En este criterio, la destrucción del dique se da para un daño del 50%.

4.3 Cálculos de peso de las piezas y espesores de capa

En este epígrafe se va a proceder a dimensionar cada capa y las piezas que las componen.

Las piezas a colocar se determinarán a partir del cálculo de su peso. Además del peso propio de los bloques, la estabilidad de los mismos depende del engarce y trabazón con los elementos adyacentes y del conjunto. Así, las piezas han de ser capaces de resistir la energía de rotura del oleaje.

Para calcular el peso unitario mínimo de los elementos del manto principal se empleará la fórmula de Iribarren, modificada por Hudson:

$$w = \frac{1}{k_d \cdot \cot \alpha} \cdot \frac{H^3 \cdot \rho_s}{\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right)^3}$$

Siendo:

- w es el peso de la escollera del manto
- ρ_s es el peso específico de la escollera, de valor 2,7 T/m3
- ρ_s/ρ_w es el peso específico relativo del material respecto del agua marina, cuyo valor es de 2,634 T/m3
- H es la altura de ola a considerar
- $\cot \alpha$ es la inclinación de los taludes. En nuestro caso se dijo que era 2 para ambos lados
- K_d es el coeficiente de estabilidad

La altura de ola (H) a introducir en esta ecuación está en función del nivel de daño (D) que se acepte para la estructura. El Shore Protection Manual define este nivel como el porcentaje de escollera que se mueve dentro de una banda activa, y para cada valor de daño, proporciona una relación entre la altura de ola (H) a introducir en la ecuación de Hudson, y la altura de ola de cálculo (H_{cal}).

Unit		Damage (D) in Percent						
		0 to 5	5 to 10	10 to 15	15 to 20	20 to 30	30 to 40	40 to 50
Quarrystone (smooth)	$H/H_{D=0}$	1.00	1.08	1.14	1.20	1.29	1.41	1.54
Quarrystone (rough)	$H/H_{D=0}$	1.00	1.08	1.19	1.27	1.37	1.47	1.56 ²
Tetrapods & Quadripods	$H/H_{D=0}$	1.00	1.09	1.17 ³	1.24 ³	1.32 ³	1.41 ³	1.50 ³
Tribar	$H/H_{D=0}$	1.00	1.11	1.25 ³	1.36 ³	1.50 ³	1.59 ³	1.64 ³
Dolos	$H/H_{D=0}$	1.00	1.10	1.14 ³	1.17 ³	1.20 ³	1.24 ³	1.27 ³

Eligiendo el uso de escollera rugosa y aceptando un nivel de daños del 20 al 30%, tenemos que:

$$H_{cal} = 4,5/1,37 = 3,28 \text{ metros}$$

Por otro lado, K_d es un coeficiente de estabilidad que varía principalmente con la forma de las piezas, la rugosidad en la superficie, la angulosidad de las aristas y el grado de entrelazado obtenido en la colocación. También depende del número de capas que se vayan a utilizar, de cómo se coloquen las piezas, de las condiciones de oleaje (rotura o no rotura) y de si estamos en la sección del morro o no.

Para el dique exento de este proyecto, se tendrán en cuenta dos capas, por lo que $n=2$. Además, consideramos que la escollera que se va a utilizar será rugosa, así como su colocación aleatoria.

Por todo lo anterior y utilizando la tabla siguiente, el valor de K_d para el cuerpo del dique es 2, mientras que para los morros K_d es 1,6.

No-Damage Criteria and Minor Overtopping						
Armor Units	n ³	Placement	Structure Trunk		Structure Head	
			K _D ²		K _D	
			Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Breaking Wave	Nonbreaking Wave
Quarrystone Smooth rounded Smooth rounded Rough angular	2 >3 1	Random Random Random ⁴	1.2 1.6 ₄	2.4 3.2 2.9	1.1 1.4 ₄	1.9 2.3 2.3
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	1.9 1.6 1.3	3.2 2.8 2.3
Rough angular Rough angular Parallelepiped ⁷	>3 2 2	Random Special ⁶ Special ¹	2.2 5.8 7.0 - 20.0	4.5 7.0 8.5 - 24.0	2.1 5.3 --	4.2 6.4 --
Tetrapod and Quadripod	2	Random	7.0	8.0	5.0 4.5 3.5	6.0 5.5 4.0
Tribar	2	Random	9.0	10.0	8.3 7.8 6.0	9.0 8.5 6.5
Dolos	2	Random	15.8 ⁸	31.8 ⁸	8.0 7.0	16.0 14.0
Modified cube	2	Random	6.5	7.5	----	5.0
Hexapod	2	Random	8.0	9.5	5.0	7.0
Toskane	2	Random	11.0	22.0	---	---
Tribar	1	Uniform	12.0	15.0	7.5	9.5
Quarrystone (K _{RR}) Graded angular	-	Random	2.2	2.5	---	---

4.3.1 Manto principal

A continuación se va a calcular el peso de la escollera y el espesor de las capas, a partir de la fórmula de Hudson y los parámetros necesarios. Este valor variará para el morro y el cuerpo.

Cuerpo:

$$W = \frac{3,28^3 * 2,7}{\left[2 * 2 * \left(\frac{2,7}{1,025} - 1\right)^3\right]} = 5,46 \text{ T}$$

Morro:

$$W = \frac{3,28^3 * 2,7}{\left[1,6 * 2 * \left(\frac{2,7}{1,025} - 1\right)^3\right]} = 6,82 \text{ T}$$

Para conocer el espesor del manto principal, se ha de obtener el tamaño de cubo equivalente a una pieza de escollera:

$$r = n \cdot k_{\Delta} \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3}$$

Siendo:

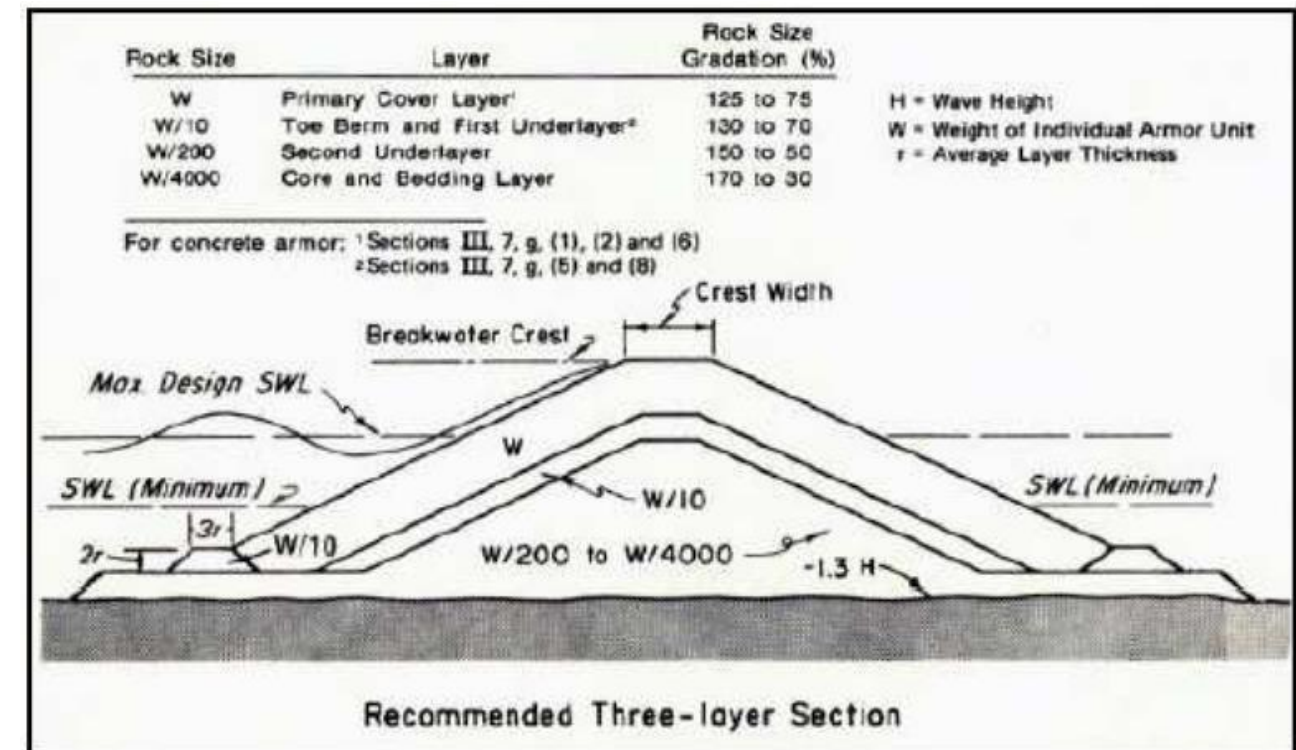
- n el número de capas
- K_{Δ} el coeficiente de capa, cuyo valor es de 1 para roca angulosa y colocación aleatoria
- w el peso calculado anteriormente
- γ_r el peso específico de las piezas

Dado que el peso específico de las piezas es 2,7 T/m³ y sabiendo que tenemos dos capas, los espesores serán:

Cuerpo: $r = 2,53$ metros

Morro: $r = 2,72$ metros

Hasta aquí se ha calculado la composición del manto principal. A partir de este, y con las recomendaciones del Shore Protection Manual podremos calcular el resto de componentes del dique. Para ello, disponemos de la sección tipo para diques de escollera en condiciones de rotura de ola. Esta se compone de manto principal, manto secundario y núcleo:



4.3.2 Manto secundario

El manto secundario es una capa intermedia que actúa como filtro y que protegerá al núcleo frente al oleaje. Como se observa en la figura anterior, el peso de las piezas para esta capa es el 10% del peso del manto principal. Además, únicamente se colocará una capa ($n=1$).

Entonces:

Cuerpo: $w = 546$ Kg

Morro: $w = 682$ Kg

Cuerpo: $r = 0,587$ metros

Morro: $r = 0,632$ metros

4.3.3 Núcleo interior

La misión del núcleo es impedir la propagación de la energía del oleaje a través del dique. Estará compuesto por todouno de cantera con pesos variables dentro de un rango. Para determinar el rango nos apoyamos en la figura anterior obtenida del SPM, que dice que el intervalo de peso en el que se mueven los materiales del núcleo es $w/200 - w/4000$.

Por tanto,

Núcleo: $w \in \{2 - 27\}$ kg

Por último, se adjuntan dos tablas con todos los valores obtenidos anteriormente. Se incluyen los resultados obtenidos para el cálculo de los pesos y los espesores de cada capa, así como las variaciones de peso permitidas por la SPM,

Capa	Manto Principal		Manto Secundario		Núcleo
	Cuerpo	Morro	Cuerpo	Morro	
Peso pieza (kg)	5458	6822	546	682	2-27
Espesor (m)	2,53	2,72	0,587	0,632	-

Capa	Manto Principal		Manto Secundario		Núcleo
	Cuerpo	Morro	Cuerpo	Morro	
Variación %	75-125	75-125	70-130	70-130	30-170
Peso min (kg)	4094	5117	382	477	1
Peso max (kg)	6823	8528	710	887	46

4.4 Ancho mínimo de coronación

Cuando se ha definido geométricamente la sección transversal del dique exento, se ha dado una anchura en coronación (B) de 5 metros. A continuación se va a calcular el ancho mínimo recomendado por el SPM, para ver si nuestro ancho definido cumple con lo establecido. La formulación a emplear es la siguiente,

Armor Unit	n	Placement	Layer Coefficient k_{Δ}	Porosity (P) %
Quarrrystone (smooth) ¹	2	Random	1.02	38
Quarrrystone (rough) ²	2	Random	1.00	37
Quarrrystone (rough) ²	>3	Random	1.00	40
Quarrrystone (parallepiped) ⁶	2	Special	--	27
Cube (modified) ¹	2	Random	1.10	47
Tetrapod ¹	2	Random	1.04	50
Quadripod ¹	2	Random	0.95	49
Hexipod ¹	2	Random	1.15	47
Tribar ¹	2	Random	1.02	54
Dolos ⁴	2	Random	0.94	56
Toskane ⁵	2	Random	1.03	52
Tribar ¹	1	Uniform	1.13	47
Quarrrystone ⁷	Graded	Random	--	37

$$B = n \cdot k_{\Delta} \cdot \left(\frac{W}{w_{\gamma}}\right)^{1/3}$$

Siendo:

- n el número de capas
- K_{Δ} el coeficiente de capa (su valor se obtiene a partir de la tabla siguiente)
- w el peso de las piezas del manto principal
- w_{γ} la densidad de las piezas

De este modo, el mínimo es:

Cuerpo: $B \geq 1,4$ metros

Morro: $B \geq 1,7$ metros

Como podemos observar, el ancho definido anteriormente cumple con los mínimos recomendados por el SPM.

4.4.1 Justificación de los anchos

Según el Shore Protection Manual, la anchura de coronación debe ser la suficiente como para acomodar cualquier operación de construcción o mantenimiento que se deba realizar desde la propia estructura.

La elección de una anchura de coronación superior a la mínima se realiza para facilitar la construcción de este tipo de obras.

Como podremos ver en el anejo ‘Proceso constructivo’, el procedimiento de ejecución de las obras previsto es el terrestre. Con este procedimiento es necesario el empleo de maquinaria pesada que se tendrá que desplazar sobre los caminos de acceso y sobre el propio dique.

El dique exento no se construirá sumergido desde el inicio, pues las mismas obras tienen que servir para acceder a la ejecución del dique contiguo. Por tanto, en fase de construcción el dique tendrá una altura de coronación superior al NMM.

Debido a este proceso constructivo, el dique se ha de ejecutar con una anchura tal que, en fase de construcción, puedan permitir la circulación de camiones, grúas, palas, y otras máquinas pesadas necesarias para las obras. Al final de la ejecución, el dique será rebajado, quedando su coronación a nivel del mar.

Por todo lo expuesto anteriormente, la anchura en coronación definida $B = 5$ metros, se considera suficiente para permitir la circulación de maquinaria en la coronación provisional en fase de construcción.

4.5 Bermas de refuerzo

El oleaje actuante puede llegar a provocar erosiones en el fondo y en la propia cimentación de las estructuras, por lo que ésta deberá protegerse a fin de evitar fallos en el pie o asientos excesivos.

En el caso de la playa de La Goleta, como el fondo no es rocoso esta protección está aún más justificada. El fondo marino está compuesto por arena y se necesita colocar una base que funcione como filtro para poder colocar el dique. De este modo se evitará que los granos se puedan desplazar a través de los huecos, provocando erosiones y movimientos de los bloques de escollera que forman el cuerpo.

Por todo ello, se hace necesaria la colocación de unos refuerzos a modo de bermas, a ambos lados del dique para evitar los problemas que puedan aparecer, sobre todo los producidos por la socavación. Estos elementos tendrán una anchura de 1,5 metros, y se colocarán en todo el dique, incluyendo los morros. Su altura será de 50 centímetros, medidos a partir del fondo marino. Estarán compuestas por las mismas piezas de escollera que las del manto secundario.

Realmente, estas bermas son elementos difíciles de construir bajo el agua. No obstante, su presencia es recomendable para evitar problemas cuya solución resultaría más costosa.

5. CÁLCULO DEL ESPIGON DE ENCAUZAMIENTO

5.1 Introducción

En el anejo '*Estudio de soluciones*' se ha tratado la inclusión de un espigón en las obras de regeneración de la playa de La Goleta. El espigón se situaría en la zona norte de la playa, en la margen derecha de la acequia de la Ratlla. Con esta obra dotaríamos a la playa de protección y la resguardaríamos, ayudando así a mantener el ancho de la playa.

5.2 Diseño del espigón

A continuación se van a ir razonando las decisiones que se toman sobre el diseño del nuevo espigón de la playa de La Goleta. Se van a tratar parámetros del espigón como su longitud, dirección, cota de coronación y disposición.

5.2.1 Longitud

La longitud del espigón debe ser suficiente para detener la cantidad de material necesario para formar la playa deseada. Según Ippen y Djounkowski, la distribución transversal del transporte longitudinal de sedimentos se produce al menos en un 60% del total, entre la cota 0 y las profundidades cercanas a los 4 metros.

El espigón debe tener una longitud tal que pueda retener suficiente material como para obtener la estabilización deseada de la línea de costa, o el crecimiento de nuevas zonas de playa. Los daños a las costas situadas a sotamar deben ser tomados en consideración al determinar la longitud del espigón.

Así, se va a establecer que la longitud del espigón, medida desde la desembocadura al mar de la acequia de la Ratlla, será aproximadamente de 80 metros y alcanzará una profundidad cercana a los 2,2 metros.

5.2.2 Dirección y altura

La dirección más favorable es la normal a la costa y la altura de coronación se establece que sea la misma que la del espigón existente, alcanzando este una cota de de 2,25 metros sobre el NMM.

Además, se tendrá en cuenta la conveniencia de que la coronación del núcleo esté a una cota mínima de 0,40 metros sobre el NMM, con el objetivo de proporcionar una superficie de rodadura a los camiones o grúas durante la fase de construcción.

Las dimensiones de un espigón dependen del oleaje que tenga que soportar, del tipo de obra y de los materiales de construcción utilizados. Para los fines del diseño funcional, pueden considerarse tres secciones de un espigón: el tramo horizontal, en tierra, el tramo inclinado intermedio y el tramo exterior.

5.3 Materiales y geometría de la sección transversal

El material a emplear en la construcción del nuevo espigón son bloques de escollera y todouno de cantera para la formación de los núcleos.

La sección transversal será trapezoidal. Se exponen, a continuación, los parámetros para definir completamente esta sección. Algunos valores ya han sido fijados en el punto anterior de diseño de los espigones, y otros se determinarán posteriormente.

- El ancho en coronación del núcleo será de 5 metros en toda su longitud
- Se adopta un talud 2H:1V (cotgα= 2)
- La escollera tendrá un peso específico de 2,7 T/m³. Se incluye un núcleo de todouno, con una gradación de tamaño, para disminuir la permeabilidad.
- La cota de coronación será de 2,25 metros sobre el NMM.

5.4 Cálculo del espigón

El objetivo principal de este punto es calcular, por condiciones de estabilidad, los pesos de las piezas de escollera que forman los espigones.

5.4.1 Altura de la ola de cálculo (Hcal)

La altura determinante para las obras costeras es, muy frecuentemente, la mayor ola rompiente que pueda llegar a la obra. En el caso de las obras de regeneración de la playa de La Goleta, las construcciones se van a ubicar en profundidades reducidas y, por tanto, habrá que considerar la máxima altura de ola que pueda abordar la obra sin romper antes.

Por el mismo proceso utilizado en el cálculo del dique, utilizando los valores recomendados para rotura y con los valores señalados se obtiene:

H_b / d_b = 0,78

siendo H_b la altura de ola en condiciones de rotura y d_b la profundidad de cálculo al pie de las estructuras, obtenida como suma de la profundidad real de éstas (d_s) y la sobreelevación considerada (s).

La altura de ola de cálculo para el diseño del espigón se realiza teniendo en cuenta que éstos alcanzan una profundidad aproximada de 2,2 metros, situación de profundidades reducidas y con el oleaje limitado por el fondo, y considerando una sobreelevación debida a la variación del nivel del mar de ± 1,0 metro. Por tanto, el valor en rotura de la altura de ola sería:

H_b = 0,80 · (2,2 + 1) = 2,6 metros

5.4.2 Peso de las piezas de escollera y espesor de las capas

En este epígrafe se va a proceder a dimensionar cada capa y las piezas que las componen.

Las piezas a colocar se determinarán a partir del cálculo de su peso. Además del peso propio de los bloques, la estabilidad de los mismos depende del engarce y trabazón con los elementos adyacentes y del conjunto. Así, las piezas han de ser capaces de resistir la energía de rotura del oleaje.

Para calcular el peso unitario mínimo de los elementos del manto principal se empleará la fórmula de Iribarren, modificada por Hudson:

w = 1 / (k_d · cot α) · (H^3 · ρ_s / (ρ_w - 1))^3

Siendo:

- w es el peso de la escollera del manto
- ρ_s es el peso específico de la escollera, de valor 2,7 T/m³
- ρ_s/ρ_w es el peso específico relativo del material respecto del agua marina, cuyo valor es de 2,634 T/m³
- H es la altura de ola a considerar
- cotα es la inclinación de los taludes. En nuestro caso se dijo que era 2 para ambos lados
- K_d es el coeficiente de estabilidad

La altura de ola (H) a introducir en esta ecuación está en función del nivel de daño (D) que se acepte para la estructura. El Shore Protection Manual define este nivel como el porcentaje de escollera que se mueve dentro de una banda activa, y para cada valor de daño, proporciona una relación entre la altura de ola (H) a introducir en la ecuación de Hudson, y la altura de ola de cálculo (H_{cal}).

Unit		Damage (D) in Percent						
		0 to 5	5 to 10	10 to 15	15 to 20	20 to 30	30 to 40	40 to 50
Quarrrystone (smooth)	H/H _{D=0}	1.00	1.08	1.14	1.20	1.29	1.41	1.54
Quarrrystone (rough)	H/H _{D=0}	1.00	1.08	1.19	1.27	1.37	1.47	1.58 ²
Tetrapods & Quadripods	H/H _{D=0}	1.00	1.09	1.17 ³	1.24 ³	1.32 ³	1.41 ³	1.50 ³
Tribar	H/H _{D=0}	1.00	1.11	1.25 ³	1.36 ³	1.50 ³	1.59 ³	1.64 ³
Dolos	H/H _{D=0}	1.00	1.10	1.14 ³	1.17 ³	1.20 ³	1.24 ³	1.27 ³

Eligiendo el uso de escollera rugosa y aceptando un nivel de daños del 20 al 30%, tenemos que:

$$H_{cdl} = 2,6/1,37 = 1,9 \text{ metros}$$

Por otro lado, K_d es un coeficiente de estabilidad que varía principalmente con la forma de las piezas, la rugosidad en la superficie, la angulosidad de las aristas y el grado de entrelazado obtenido en la colocación. También depende del número de capas que se vayan a utilizar, de cómo se coloquen las piezas, de las condiciones de oleaje (rotura o no rotura) y de si estamos en la sección del morro o no.

Para el espigón de este proyecto, se tendrán en cuenta dos capas, por lo que $n=2$. Además, consideramos que la escollera que se va a utilizar será rugosa, así como su colocación aleatoria.

Por todo lo anterior y utilizando la tabla siguiente, el valor de K_d para el cuerpo espigón es 2, mientras que para los morros K_d es 1,6.

A continuación se va a calcular el peso de la escollera y el espesor de las capas, a partir de la fórmula de Hudson y los parámetros necesarios. Este valor variará para el morro y el cuerpo.

Cuerpo:

$$w = \frac{1,9^3 \cdot 2,7}{\left[2 \cdot 2 \cdot \left(\frac{2,7}{1,025} - 1\right)^3\right]} = 1,06 \text{ T}$$

Morro:

$$w = \frac{1,9^3 \cdot 2,7}{\left[1,6 \cdot 2 \cdot \left(\frac{2,7}{1,025} - 1\right)^3\right]} = 1,33 \text{ T}$$

Para conocer el espesor del manto principal, se ha de obtener el tamaño de cubo equivalente a una pieza de escollera:

$$r = n \cdot k_{\Delta} \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3}$$

Siendo:

- n el número de capas
- K_{Δ} el coeficiente de capa, cuyo valor es de 1 para roca angulosa y colocación aleatoria
- w el peso calculado anteriormente
- γ_r el peso específico de las piezas

Dado que el peso específico de las piezas es 2,7 T/m³ y sabiendo que tenemos dos capas, los espesores serán:

Cuerpo: $r = 1,46$ metros

Morro: $r = 1,58$ metros

El manto secundario es una capa intermedia que actúa como filtro y que protegerá al núcleo frente al oleaje. El peso de las piezas para esta capa es el 10% del peso del manto principal. Además, únicamente se colocará una capa ($n=1$).

Entonces:

Cuerpo: $w = 106$ Kg

Morro: $w = 133$ Kg

Cuerpo: $r = 0,34$ metros

Morro: $r = 0,37$ metros

La misión del núcleo es impedir la propagación de la energía del oleaje a través del dique. Estará compuesto por todouno de cantera con pesos variables dentro de un rango. Para determinar el rango nos apoyamos en la figura anterior obtenida del SPM, que dice que el intervalo de peso en el que se mueven los materiales del núcleo es $w/200 - w/4000$.

Por tanto,

Núcleo: $w \in \{0,5 - 5,5\}$ kg

Por último, se adjuntan dos tablas con todos los valores obtenidos anteriormente. Se incluyen los resultados obtenidos para el cálculo de los pesos y los espesores de cada capa, así como las variaciones de peso permitidas por la SPM,

Capa	Manto Principal		Manto Secundario		Núcleo
	Cuerpo	Morro	Cuerpo	Morro	
Peso pieza (kg)	1060	1330	106	133	0,5-5,5
Espesor (m)	1,46	1,58	0,34	0,37	-

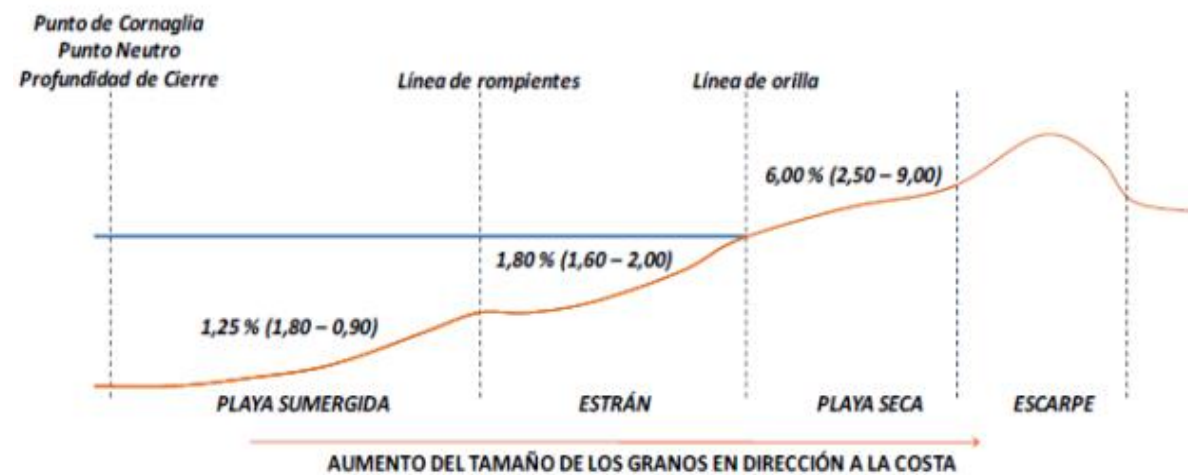
Capa	Manto Principal		Manto Secundario		Núcleo
	Cuerpo	Morro	Cuerpo	Morro	
Variación %	75-125	75-125	70-130	70-130	30-170
Peso min (kg)	795	998	74	93	0,15
Peso max (kg)	1325	1663	138	173	9

6. PERFIL DE PLAYA GENERADO

Con la regeneración de la playa de La Goleta, se desea recuperar un ancho de playa de aproximadamente 45 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.

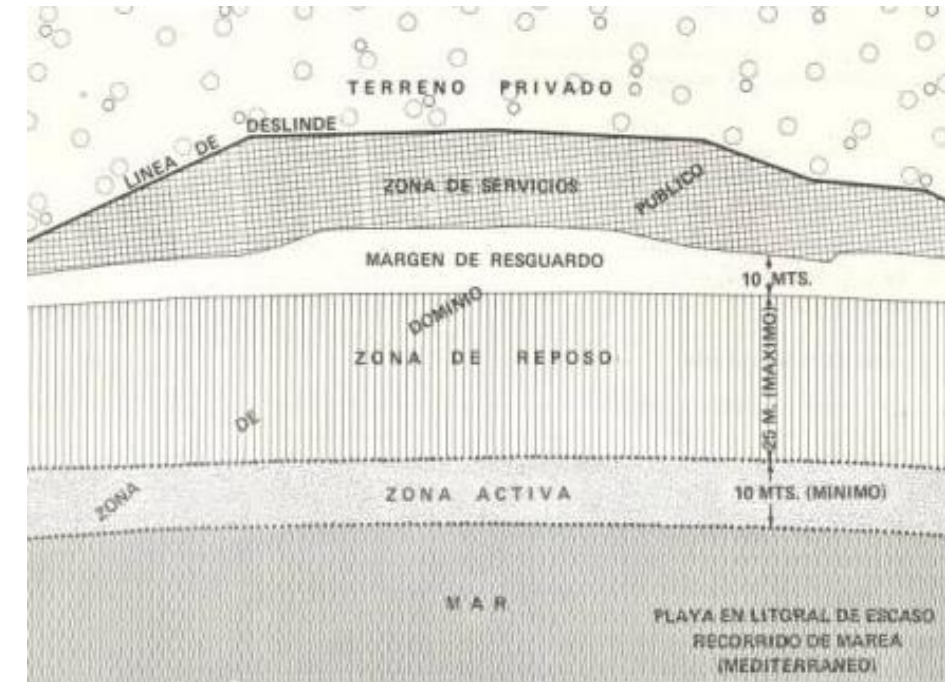
El perfil de la playa se divide en cuatro zonas:

- playa sumergida
- estrán
- playa seca
- escarpe



6.1. 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:



- **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 innecesariedad, 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.

Como se ha comentado, existen otras zonas complementarias a las anteriores, que son: 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)

Asimismo, habrá que dejar una zona de resguardo de 10 metros para prevenir posibles retrocesos en época de temporales.

Como se puede observar, la anchura de playa elegida de 45 metros cumpliría con las condiciones mínimas establecidas por la Dirección General de Puertos y Costas.

6.2. 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 altura 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 H_b^* . 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_0).

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

- Le Méhautéy Koh (1967):

$$H_b^* = 0,76 \cdot m^{\frac{1}{7}} \cdot H_{SO} \cdot \left(\frac{H_{SO}}{L_0} \right)^{-\frac{1}{4}}$$

- Komar y Gaughan (1972):

$$H_b^* = \frac{0,56 \cdot H_{SO}}{\left(\frac{H_{SO}}{L_0} \right)^{\frac{1}{5}}}$$

- Sunamura y Horikawa (1974):

$$H_b^* = m^{0,2} \cdot H_{SO} \cdot \left(\frac{H_{SO}}{L_0} \right)^{-\frac{1}{4}}$$

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

H_b^*			
Criterio 1	6,87	H_{SO} (m)	5,95
Criterio 2	7,28	L_0 (m)	297
Criterio 3	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 epígrafe ‘2. Cálculo de dique exento’, 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.

6.3. Determinación del ancho mínimo de la playa seca

6.3.1. Zona activa y zona de reposo

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 24 metros. La pendiente recomendada en esta zona es del 1,5%, lo que significa que en esos 24 metros de anchura se aumentan 36 centímetros de cota.

En resumen, tendremos una zona activa de 21 metros de ancho y un 7% de pendiente, y una zona de reposo de 24 metros y 1,5% de pendiente. Así, el ancho mínimo de la playa seca asciende a 45 metros.

Dados los anchos y las pendientes para cada una de las dos zonas definidas, se tiene que la cota mínima del borde interior de la playa seca, justo donde empieza el cordón dunar, se sitúa aproximadamente a 2 metros sobre el nivel medio del mar.

6.3.2. Cordón dunar

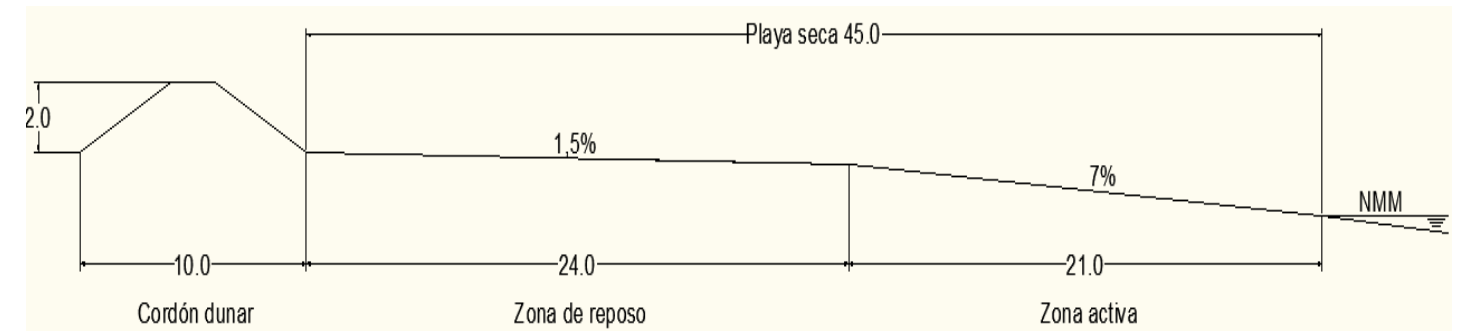
Desde el punto de vista funcional, las dunas son reservas de arena de la playa, es decir, las zonas de donde el mar toma la arena y los materiales que necesita para que el perfil transversal de la playa se acomode a las condiciones más duras de la energía incidente del oleaje, durante los episodios extremos, como pueden ser los grandes temporales. De este modo, el cordón dunar no está destinado al uso público, aunque como determina la Ley de Costas, se considera continuación de la playa tierra adentro.

Las dimensiones del cordón dunar serán de 10 metros de base por 2 metros de alto, alcanzando una cota de coronación de 4 metros sobre el nivel del mar, y su forma será trapezoidal.

Por tanto, teniendo en cuenta la zona activa, la zona de reposo y el cordón dunar, el ancho de la playa de La Goleta ascendería a 55 metros.

La base del cordón dunar se situará a una cota de 2 metros sobre el nivel del mar, cota que es superior a la mayor registrada por el mareógrafo de Gandía (1,73 metros).

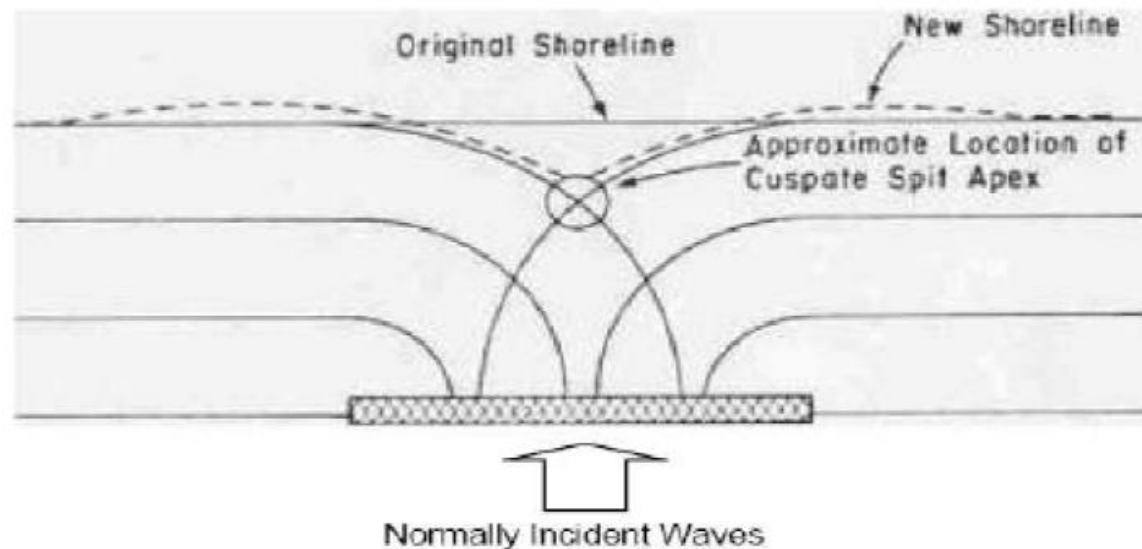
Desde el punto de vista económico esta altura puede parecer excesiva, pero hay que tener en cuenta que una vez construido el cordón, el viento, la compactación debida a la lluvia y los asientos producidos por la consolidación de las arenas, reducen dicha altura.



7. 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 La Goleta 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.

8. GRANULOMETRÍA DE LA ARENA DE LA PLAYA DE LA GOLETA

8.1 D_{50} 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 La Goleta. 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 D_{50} , y no con curvas granulométricas. Es necesario conocer el tamaño original de la arena de nuestra playa para poder decidir el D_{50} 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 La Goleta. 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 D_{50} de la playa de La Goleta es de 0,37 milímetros.

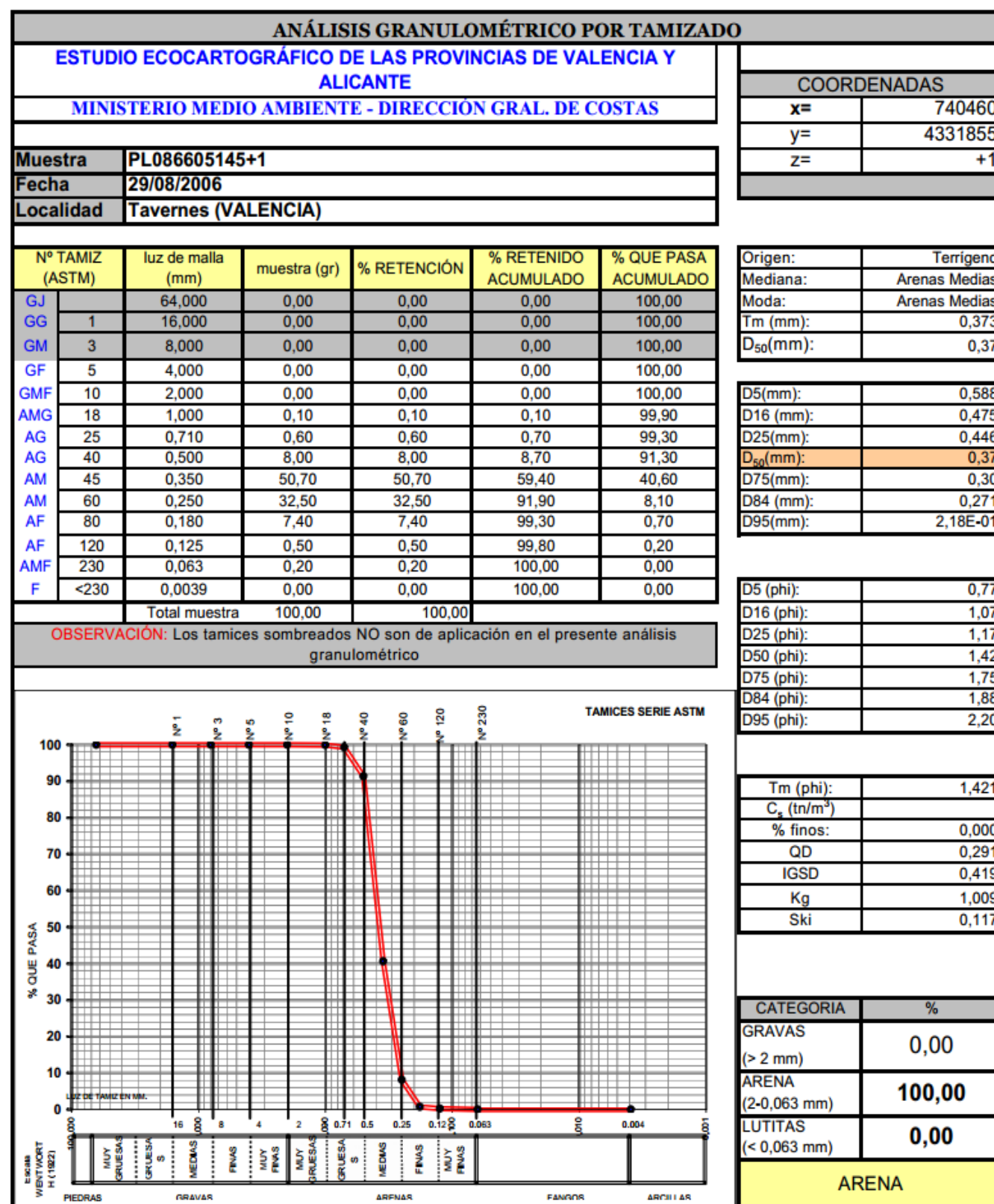
Generalmente las arenas de préstamo son distintas a las existentes en la playa, por lo que el comportamiento del nuevo perfil generado también será distinto. A partir de una serie de ensayos, el profesor Pier Vellinga obtuvo en 1982 una relación de escala con la que se puede predecir el efecto de un 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 La Goleta tiene un $D_{50} = 0,37$ milímetros, se empleará en este proyecto una arena de aportación con un diámetro medio $D_{50} = 0,40$ milímetros.

9. PERFIL DE LA PLAYA

En este epígrafe se estimará el perfil que alcanzará la playa de La Goleta 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.

9.1 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.

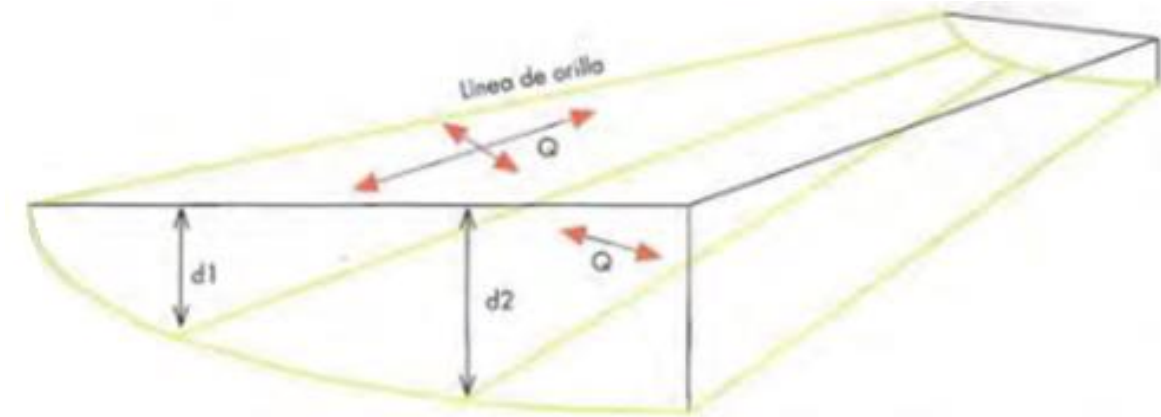
9.2 Zonificación del perfil de la playa sumergida

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 (d1 y d2) definidas por sus profundidades:

- La zona litoral, o zona onshore, por encima de la profundidad activa (d1), 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 (d2), 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 d1, mientras que el límite inferior de la zona de transición se encuentre a una profundidad d2, 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 d1 y d2:

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

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 (d2) 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 d2, $H_{s,50}$ la altura de ola significativa que presenta una probabilidad de ser superada del 50%, T_{50} su período asociado, Δ 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 $D_{50} = 0,40$ 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.

9.3 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.

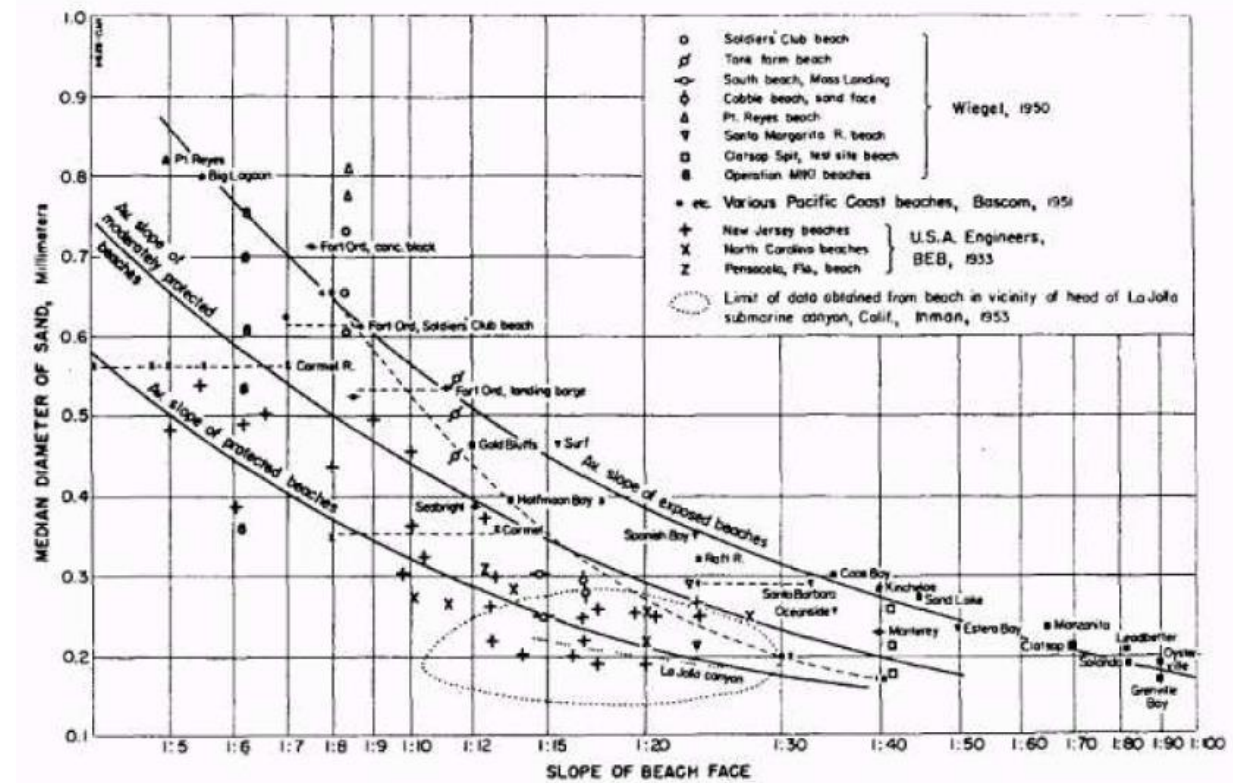
Bruun aplicó este modelo para la zona del perfil entre aguas profundas y rotura, basándose en la hipótesis de que la forma del perfil es tal que la tensión en el fondo ejercida por las olas es constante a lo largo de todo él.

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 La Goleta.

Por un lado, el material de aportación que se va a emplear tendrá un tamaño medio de $D_{50} = 0,40$ 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.



Así, haciendo uso de la gráfica anterior, se obtiene que la pendiente de equilibrio de la playa, una vez terminadas las obras de regeneración, será aproximadamente de 1:15, lo que equivale a una pendiente aproximada del 7 %.

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 (d_1), 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 (d_2).

10. CORDÓN DUNAR. FORMACIÓN Y APOORTE DE ARENAS

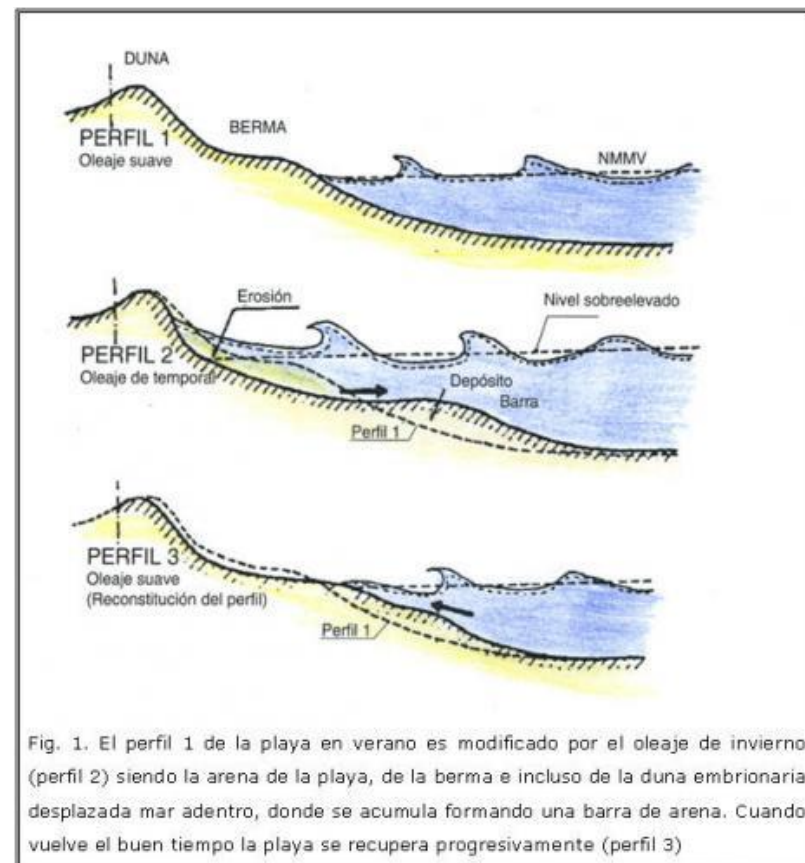
10.1 Introducción

Los cordones dunares son sistemas de protección considerados como obras blandas. Precisamente una de las actuaciones elegidas para regenerar la playa de La Goleta es la creación de un cordón dunar, que se complementará con la construcción de un dique exento sumergido y la aportación de arenas necesaria.

10.2 Creación del cordón dunar

Como se expuso en el '*Estudio de Soluciones*', para llevar a cabo una regeneración efectiva de la playa de La Goleta se propuso la construcción de un dique exento sumergido, un espigón, un cordón dunar a lo largo de toda la playa y una alimentación artificial de la misma.

El objetivo del cordón dunar es actuar como reserva de sedimentos en época de temporales y proteger la playa. En la imagen siguiente se puede observar claramente cómo funciona una duna ante los temporales,



Podemos observar que la recesión sufrida por la duna, es aprovechada por la playa seca y el estrán, que se alimentan de ésta, provocando incluso acreciones de ambos.

Cabe destacar que si no existiera esta reserva de sedimentos que proporciona la duna, podría llegar a desaparecer la playa, siempre dependiendo de la magnitud y duración del temporal, ya que la tormenta arrastraría los sedimentos de ésta, con el consecuente retroceso de la línea de costa y la pérdida de la playa seca.

Además, la barra que se forma en la playa sumergida durante el temporal, sirve al cabo del tiempo como fuente de arenas para la playa y la propia duna, bajo la acción de oleaje tipo swell. Estas olas transportan la arena de la barra sumergida, creada durante la tormenta, a la playa. Gracias a la eólica, la arena es transportada hasta la duna, donde es retenida por la vegetación. De esta manera empieza la playa a recuperarse del temporal llegando a formarse el perfil de calmas.

El proceso de reconstrucción es mucho más largo que el de erosión. Es por ello que una serie de tormentas ocurridas en un breve plazo de tiempo, pueden causar una erosión muy severa, al no dar tiempo a que la playa se recupere de forma natural. Además hay que tener en cuenta que a veces, la reconstrucción total natural no llega a suceder. Esto ocurre porque la arena depositada durante la tormenta queda demasiado lejos de la línea de costa y no todo el material puede volver a ser llevado a la playa seca.

Por lo expuesto anteriormente, además de la creación de un cordón dunar se prevé la construcción de un dique exento y un espigón. Estos harán que el oleaje llegue a la costa con menor energía, causando una menor recesión del cordón dunar, así como la sujeción de los sedimentos en períodos de tormentas, impidiendo que se pierda la arena mar adentro.

10.3 Fijación del cordón dunar

Para el caso de la playa de La Goleta, se va a utilizar la vegetación como método de sujeción debido a su mejor respuesta a largo plazo en comparación con otros métodos físicos.

La vegetación es importante en la formación y estabilización de las dunas, ya que actúa como amortiguador del viento y su poder acarreador permite que los granos de arena que el viento transporta se depositen en el suelo.

La fijación del cordón dunar se realiza mediante plantaciones de especies dunares que, en estado natural, son las responsables de la formación y mantenimiento de las dunas. Esta actuación tiene por objeto devolver al sistema la cubierta vegetal. La pérdida de cobertura vegetal en el cordón dunar es una de las causas de su desestabilización y de las movilizaciones de grandes volúmenes de arena hacia el interior.

La colonización natural del cordón dunar reconstruido artificialmente es un proceso lento. Las dunas restauradas se erosionan antes de que la vegetación se instale y ejerza la función de estabilización, por lo que, la revegetación debe realizarse de forma artificial plantando especies dunares.

Los cordones dunares costeros poseen una biodiversidad relativamente baja. Para conseguir devolver a un ecosistema degradado los elementos necesarios para alcanzar un equilibrio dinámico similar al natural es preciso seleccionar las especies a introducir. Existen muchas especies y todas ejercen su función dentro de este teórico equilibrio dinámico, pero hay especies clave que ejercen un papel fundamental sobre la dinámica eólica de un cordón dunar.

En las dunas costeras activas, las especies de plantas que tienen una función más relevante son aquellas que consiguen una acumulación y estabilización apropiada de los depósitos de arena y que conforman y mantienen las características geomorfológicas del sistema en una situación de equilibrio dinámico. En las costas de la Península Ibérica, aparecen dos especies especialmente interesantes, la grama marina (*Elymus farctus*) y el barrón (*Ammophila arenaria*), también llamadas ‘estructurales’ (García Mora, 2000) o ‘constructoras de dunas’ (Ranwell y Boar, 1986).

La primera se desarrolla especialmente en las dunas embrionarias y la segunda, sobre el primer cordón dunar. Ambas especies son gramíneas perennes, con un sistema radicular muy desarrollado, adaptadas a las condiciones ambientales del litoral, capaces de dispersarse a través del viento y del agua de mar y resistentes al enterramiento en la arena.



10.4 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 tanto en la creación del cordón dunar como 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 del dique exento. 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 La Goleta, necesitarán un proceso de machaqueo, clasificación, etc...

10.5 Cálculo del volumen de arenas de aportación

En primer lugar, hay que tener en cuenta que la altura inicial propuesta para el cordón dunar es la altura de construcción del mismo, y que con el tiempo ésta disminuirá debido a la acción del viento y a la consolidación de la arena.

Se podría realizar un cálculo de la disminución de la altura del cordón dunar, pero al ser un valor puramente teórico, no se va a tener cuenta en el cálculo del volumen de arenas a aportar.

Por otro lado, la altura de la duna también se verá mermada debido al descrestamiento de la misma a causa del viento. Sin embargo, como este valor es difícil de predecir y no existe formulación alguna que nos lleve a obtener su valor, tampoco se tendrá en cuenta a la hora de calcular el volumen de arenas necesario.

Asimismo, la altura del cordón dunar también se vería afectada por la acción de la compresibilidad del agua de lluvia.

Por tanto, tenemos tres valores de descenso de la altura de la duna que no introducimos en el cálculo del volumen de arenas, pero sí introducimos el denominado factor de relleno. Este factor se usa para determinar el exceso necesario de material de préstamo, esto es, para determinar el volumen de arenas necesarias para obtener 1 m³ de duna y que aproximamos a 1,2.

El factor de relleno al que hacíamos mención con anterioridad, puede ser calculado, según propone el SPM, conociendo los parámetros granulométricos de las arenas nativas y las de aportación.

Para la elaboración de este proyecto, el autor no dispone de estos parámetros para las arenas nativas. Entonces, resulta insuficiente proponer unos índices para el material de aportación, pues solamente con ellos no se puede calcular dicho factor. No obstante, se va a adoptar un factor de relleno de 1,2 ya que es un valor habitual para arenas de relleno de D₅₀ = 0,40 milímetros. Este valor corresponde a una situación estable, y, por otro lado, razonable.

Ahora ya nos encontramos en condiciones de realizar el cálculo del volumen de arenas necesario para llevar a cabo la regeneración de la playa de La Goleta.

En este proyecto se ha cubicado la arena necesaria de aportación utilizando un total de 6 perfiles transversales. A continuación se expone esquemáticamente los pasos seguidos:

a) Se trazan 6 perfiles transversales, separados entre sí aproximadamente 127 metros, hasta cubrir los 770 metros de la playa de La Goleta.

b) En cada uno de ellos, se dibuja el perfil existente con la ayuda de la información batimétrica de que se dispone.

c) Se estima la planta de la playa tras la regeneración de la misma, donde se hayan alcanzado los 45 metros de ancho buscados.

d) Se calcula el perfil de la playa, tanto seca como sumergida, y se dibuja en cada uno de los perfiles transversales.

e) El perfil de equilibrio de la playa ya regenerada intersectará con el perfil actual de la playa en cada uno de los 6 perfiles transversales. El área encerrada entre los dos perfiles será la superficie de relleno en ese perfil transversal.

f) 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 La Goleta 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 tabla se especifican, perfil a perfil, las áreas de relleno. En la columna situada a la derecha se determina el volumen entre dos perfiles transversales consecutivos. Finalmente se obtiene el volumen total de arena a aportar entre los 6 perfiles.

	Área (m2)	Longitud (m)	Volumen (m3)
Perfil 1	179,466	-	-
Perfil 2	167,941	127,43	22.135,04
Perfil 3	154,807	127,43	20.563,89
Perfil 4	155,561	127,43	19.775,10
Perfil 5	60,796	127,43	13.785,19
Perfil 6	59,335	127,43	7.654,15
		TOTAL	83.913,36
		x1,2	100.696,03

Así pues, el volumen total de relleno contabilizado es de 83.913,36 m³. A este volumen obtenido del cálculo, debemos aplicarle un factor de relleno de 1,2, por lo que el volumen de aportación total sería de 100.696,03 m³.

11. BIBLIOGRAFÍA

- ROMS 0.2-90 y 0.3-91
- Shore Protection Manual
- <http://hera.ugr.es/tesisugr/17248061.pdf>, Tesis doctoral
- www.magrama.gob.es, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente