



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



Regeneración del Litoral del municipio de Sueca (Valencia)

Estudios de detalle y cálculos para la regeneración del litoral del municipio de Sueca (Valencia).

Trabajo final de grado

Amina Laalam

1. Anejos Detalle

1. Cálculo de las obras de abrigo

ÍNDICE

1. Introducción.....	133
2. Cálculo de los diques exentos.....	133
2.1.3 Altura de ola de cálculo (Hcal).....	137
2.2 Parámetros básicos del dique.....	137
3. Materiales constituyentes y sección transversal.....	139
4. Análisis de estabilidad y cálculo de dique en talud.....	139
4.1 Estabilidad del dique.....	139
4.2 Criterios de avería.....	140
4.3 Cálculos de peso de las piezas y espesores de capa...141	
4.4 Ancho mínimo de coronación.....	144
4.5 Base y bermas de refuerzo.....	145
5. Bibliografía.....	145

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 de los tres diques exentos, la disposición de los mismos en planta y los materiales a utilizar. Para ello, dimensionaremos un primer dique y análogamente, realizaremos los dos siguientes.

A continuación, se tratará la ejecución de la alimentación artificial

2. Cálculo de los diques exentos

2.1 Cálculo de la altura de ola (HCal)

El objetivo de este apartado es la determinación de la altura de ola de cálculo para el dimensionamiento de los diques exento sumergidos.

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 Les Palmeres 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 (Hso) y la altura de ola en condiciones de rotura (Hb).

2.1.1 Altura de ola significativa en aguas profundas (Hso)

Como se ha comentado en el anejo 'Clima marítimo', la playa de Les Palmeres 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 dicha 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 Kr, a través de la siguiente ecuación:

$$H_{so} = K_{\alpha}/K_r \cdot H_{sr}$$

Siendo:

- Hso: altura de ola significativa en aguas profundas asociada a un período de retorno, para una dirección determinada.
- Hsr: 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}	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 Les palmeres.

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

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

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

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

Adoptando este período de retorno, se puede interpolar en la tabla 'Hso=K α /K r ·Hsr' para obtener la altura de ola significativa en profundidades indefinidas:

T		71
Hsr		4,1
Tp min		10,84
Tp max		13,66
Tp		11
Hso (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 Hso = 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 segundos

T=15,4 segundos escogiendo la media de ambos: T=13,78 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 (Hb)

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 Les Palmeres, 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:

$$H_b / d_b = 0,78$$

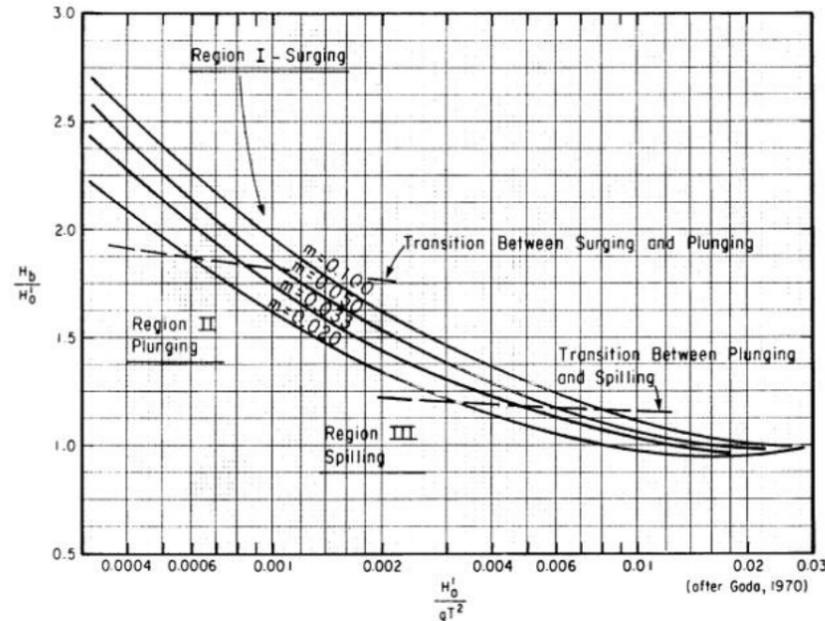
siendo Hb la altura de ola en condiciones de rotura y db la profundidad de cálculo al pie de las estructuras, obtenida como suma de la profundidad real de éstas (ds) y la sobreelevación considerada (s).

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 (Zs = db), según la profundidad relativa Zs/g·T² y la pendiente del fondo 'm'.

Así, obtenemos dos valores:

T = 13,78 segundos



Teniendo en cuenta que la playa de Les Palmeres 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:

$$H_b/db=1$$

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 Les Palmeres 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:

$$H_b= 1 \cdot db$$

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

Según la teoría de onda solitaria, $H_b/db= 0.78 \cdot 0.8$, por lo que para el pie de un 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 (Hcal)

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, $H_{so} = H_{1/3} = 5,95$ 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 $H_{\frac{1}{10}}=1,27 \cdot H_{1/3}$. Entonces, $H_{\frac{1}{10}}= 7,56$ metros, para $T = 71$ años.

Como $H_b < H_{\frac{1}{10}}$, se tiene que las obras de regeneración de la playa de Les Palmeres 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 los diques podrán 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 55 metros, según las condiciones mínimas establecidas por la Dirección General de Puertos y Costas, en el caso de playa seca con obra rígida.

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 del municipio de Sueca 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 Les Palmeres se espera que la separación entre el dique y la orilla sea aproximadamente de 250 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 de los diques exentos sea de 150 metros.

Asimismo, teniendo en cuenta que esta playa consta de aproximadamente de 1350 metros de longitud, el morro norte del primer dique en dirección de norte a sur se ubicara a la altura de la calle Riu Segarra del municipio de Sueca, y el morro sur del tercer dique en dirección de norte a sur se ubicara a 300m de La Gola del Mareny, con una separación de 300m entre los tres diques.

2.2.4 Cota de coronación

Como ya se determinó en el anejo 'Estudio de soluciones' los diques serán sumergidos debido a las ventajas estéticas que conllevan. 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 supondrán una barrera visual.

3. Materiales constituyentes y sección transversal

Los diques estarán formados por bloques de escollera en los mantos y todo-uno 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 geoméricamente la sección transversal:

- el ancho de coronación del núcleo del cuerpo será de 5 metros
- los taludes tendrán valor de H2:V1
 - se colocara una base sobre el fondo marino de aproximadamente 30 centímetros de espesor
 - 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 propios 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 banqueta que hará de base para los diques, para conseguir una superficie de trabajo plana y 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
- Kd 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 (Hcal).

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
Quarystone (smooth)	H/H _{D=0}	1.00	1.08	1.14	1.20	1.29	1.41	1.54
Quarystone (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	1.69 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 los diques exentos 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	Placement	Structure Trunk		Structure Head		
			K_D^2		K_D		Slope Cot θ
			Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Breaking Wave	Nonbreaking Wave	
Quarystone Smooth rounded	2	Random	1.2	2.4	1.7	1.9	1.5 to 3.0 5 5
Smooth rounded	>3	Random	1.6	3.2	1.4	2.3	
Rough angular	1	Random		2.9		2.3	
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	1.9 1.3	3.2 2.3	1.5 2.0 3.0
Rough angular	>3	Random	2.2	4.5	2.1	4.2	5
Rough angular	2	Special	5.8	7.0	8.3	6.4	5
Parallelepiped	2	Special	7.0 - 20.0	8.5 - 24.0	--	--	
Tetrapod and Quadripod	2	Random	7.0	8.0	5.0 4.5 3.5	6.0 5.5 4.0	1.5 2.0 3.0
Tribar	2	Random	9.0	10.0	8.3 7.8 6.0	9.0 8.5 6.5	1.5 2.0 3.0
Dolos	2	Random	15.8 ⁸	31.8 ⁸	8.0 7.0	16.0 14.0	2.0 ⁹ 3.0
Modified cube	2	Random	6.5	7.5	----	5.0	5
Hexapod	2	Random	8.0	9.5	5.0	7.0	5
Toskane	2	Random	11.0	22.0	--	--	5
Tribar	1	Uniform	12.0	15.0	7.5	9.6	5
Quarystone (K_{DR}) 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:

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

Morro:

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

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:

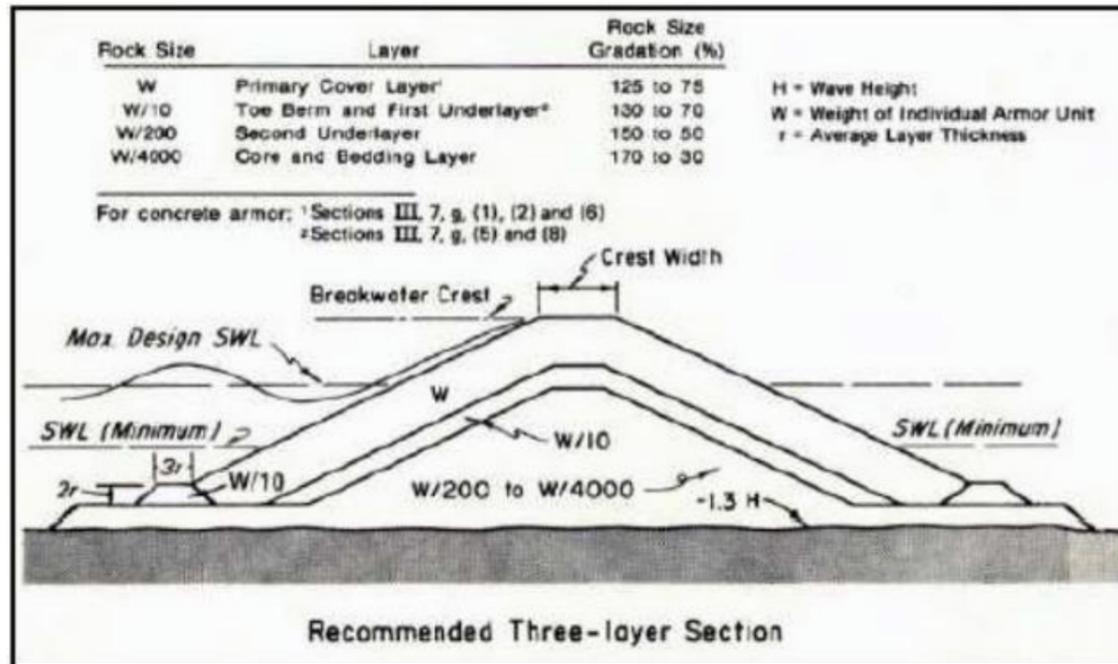
- n el número de capas - K_{Δ} el coeficiente de capa, cuyo valor es de 1 para roca angulara y colocación aleatoria - w el peso calculado anteriormente - γ_r el peso específico de las piezas

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

Cuerpo: r = 0,587 metros

Morro: w = 682 Kg

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 todo uno 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 ∈ {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	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 geoméricamente 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)
Quarystone (smooth) ¹	2	Random	1.02	38
Quarystone (rough) ²	2	Random	1.00	37
Quarystone (rough) ²	>3	Random	1.00	40
Quarystone (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
Quarystone ⁷	Graded	Random	--	37

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

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_y 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.

Los diques exentos no se construirán sumergidos desde el inicio, pues las mismas obras tienen que servir para acceder a las secciones más extremas. Por tanto, en fase de construcción los diques tendrán una altura de coronación superior al NMM.

Debido a este proceso constructivo, los diques se han 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, los diques serán rebajados, 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 Base y 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 Les Palmeres 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 de altura 0,3m que funcione como superficie firme y 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.

La Base y las bermas 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. Bibliografía

- ROMS 0.2-90 y 0.3-91
- Shore Protection Manual
- Obras marítimas –Vicent Esteban Chapapría