

ANEXO 8: JUSTIFICACIÓN DE CÁLCULOS

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.	75
2.	DIMENSIONAMIENTO DEL DIQUE EXENTO	75
2.1.	CÁLCULO DE LA ALTURA DE OLA (H_{CAL})	75
2.1.1.	ALURA DE OLA SIGNIFICANTE EN AGUAS PROFUNDAS (H_{50})	75
2.1.2.	ALTURA DE OLA EN CONDICIONES DE ROTURA (H_b)	76
2.1.3.	ALTURA DE OLA DE CÁLCULO (H_{CAL})	77
2.2.	DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	77
2.2.1.	ORIENTACIÓN DEL DIQUE	77
2.2.2.	DISTANCIA A LA COSTA Y CALADO DE LA ESTRUCTURA.....	78
2.2.3.	NÚMERO, LONGITUD Y SEPARACIÓN DE DIQUES.	78
2.2.4.	TRANSMISIÓN DEL OLAJE	78
2.2.5.	CORONACIÓN DEL DIQUE.....	79
2.2.6.	COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE ALTURA DE OLA.	79
3.	DISEÑO DE LOS DIQUES EXENTOS.	79
3.1.	MATERIALES Y GEOMETRÍA.....	79
3.2.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD. CALCULO DEL PESO DE LAS ESCOLLERAS.	79
3.2.1.	ESTABILIDAD DEL DIQUE	80
3.2.2.	CRITERIOS DE AVERÍA.	80
3.2.3.	PESOS DE PIEZAS Y ESPESOR DE CADA CAPA.	80
3.2.3.1.	MANTO PRINCIPAL.	81
3.2.3.2.	MANTO SECUNDARIO.	81
3.2.3.3.	NÚCLEO.....	82
3.2.3.4.	BERMA DE PIE.	82
3.2.3.5.	RESULTADOS.....	82
3.2.4.	ANCHURA MÍNIMA DE CORONACIÓN.....	82



ANEXO Nº8: JUSTIFICACIÓN DE CÁLCULOS

3.2.5. BERMA DE REFUERZO83

4. PERFIL DE PLAYA GENERADO.....83

4.1. REFRACCIÓN DEL OLEAJE.....83

4.2. PREDICCIÓN DELA FORMA EN PLANTA DE LA PLAYA.84

5. PERFIL DE PLAYA GENERADO.....84

5.1. PLAYA SUMERGIDA Y ESTRÁN.85

5.1.1. CÁLCULO DE RUN-UP.....85

5.2. ANCHO MÍNIMO DE LA PLAYA SECA.....85

6. GRANULOMETRÍA DE LA CALA.86

6.1. D50 DE LA ARENA PRESENTE Y FUTURA.....86

6.2. APORTE DE ARENAS.....86

6.2.1. METODOLOGÍA.86

6.2.2. CORDÓN DUNAR.....86

6.3. CÁLCULO DE VOLÚMENES.87

7. BIBLIOGRAFÍA87



ANEXO Nº8: JUSTIFICACIÓN DE CÁLCULOS

1. INTRODUCCIÓN.

En este nuevo anexo, vamos a calcular todo lo necesario para poder hacer la alternativa de dique exento con alimentación artificial y regeneración de las dunas.

Dichos cálculos consistirán en un dimensionamiento del dique exento sumergido para ello, es necesario conocer la altura de ola de cálculo y estudiar la disposición de estos en planta. Por último, elegir los materiales para su construcción.

2. DIMENSIONAMIENTO DEL DIQUE EXENTO

2.1. CÁLCULO DE LA ALTURA DE OLA (H_{CAL})

Para el dimensionamiento del dique es necesario conocer cuál es la altura de ola de cálculo.

Dicha altura para nuestro caso de una obra dura de defensa y protección viene condicionada por la profundidad. Tiene lógica debido que son estas olas las que van a llegar hasta nuestra cala de estudio. Para poder estudiarlo, hay que calcular en una primera instancia la altura de ola significativa en aguas profundas (H_{so}) y altura de ola de rotura (H_b).

2.1.1. ALURA DE OLA SIGNIFICANTE EN AGUAS PROFUNDAS (H_{so})

Como se han mencionado en anexos anteriores y según la ROM 0.3-91, la cala de Pope entra dentro de área VII. Para analizar la altura de ola significativa en agua profundas nos vamos a basar en datos obtenido de los Registros instrumentales: Regímenes extrémosos escalares y Correlaciones, Altura de ola/Período en temporales.

Para obtener los resultados adecuados y más precisos hay que extrapolar los datos de los cuales disponemos a aquellos que obtuvimos a partir de datos instrumentales, debido a que estos fueren hallados en circunstancias poco óptimas donde la profundidad es menor y ha podido sin influenciada por obstáculos que lo atenúen, o lo cambien o se halla deformado debido a la batimetría o topografía del lugar.

Dicha altura a calcular está asociada a un periodo de retorno la cual tiene ya una dirección determinada, se conoce a partir de los datos que encontramos en los registros instrumentales: Regímenes extrémosos escalares (cuadro D). Lo observamos en la siguiente ecuación:

H_{SO} = \frac{K_{\alpha}}{K_R} * H_{SR}

Donde,

- H_{so}: altura de ola significativa en aguas profundas, con un período de retorno y una dirección.
- K_α: coeficiente de reparto direccional para dicha dirección.
- K_R: coeficiente de refracción shoaling en el punto de media para la misma dirección y período.
- H_{SR}: altura de ola significativa con un período de retorno hallada gracias al régimen extremal escalar.

Dirección	E	EES	SE	SSE	S
ka	0,9	0,9	0,8	-	-

Tabla 1:Coeficiente Ka.

Dirección	7	9	11	13	15
E	0,94	0,9	0,79	0,75	0,8
EES	0,94	0,94	0,93	0,95	0,98
SE	0,94	0,91	0,93	0,95	0,96
SSE	0,94	0,89	0,89	0,89	0,89

Tabla 2: coeficiente K_R.

T		2	5	10	20	50	100	200
HSR		3,1	3,5	3,8	4,1	4,5	4,8	5,2
TP,min		8,8	9,35	9,75	101,12	10,61	10,95	11,4
TP,max		11,09	11,79	12,28	12,76	13,36	13,8	14,37
TP		9	11	11	11	11	13	13
Hso(m)	E	2,97	3,39	3,68	3,97	4,35	4,55	4,93
	EES	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

Tabla 3: reslutados H_{so}.

Una vez obtenido dicha altura de ola nos basamos en la ROM 0.2-90: *Acciones al proyectar Obra Marítima y Portuaria*. En esta Rom encontramos las vidas útiles mínimas para el tipo de obras que vamos a realizar. Para ello, el nivel de seguridad en estos casos es el nivel 1, en el cual están incluidos las obras para proteger y regenerar las playas.

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

Tabla 4: Vidas útiles para obras o instalaciones de carácter definitivo.

Como en nuestro caso se trata de una infraestructura de carácter general, nuestra vida útil es de 25 años.

Hay que tener siempre en cuenta la posibilidad de una avería y sus consecuencias es por ello que según la ROM 0.2-90:

ANEXO Nº8: JUSTIFICACIÓN DE CÁLCULOS

a) RIESGO DE INICIACIÓN DE AVERÍAS			
		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA. Indice : $\frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$	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. Indice r : $\frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$	BAJA	0,20	0,15
	MEDIA	0,15	0,10
	ALTA	0,10	0,05
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. En este tipo de obras podrá adoptarse también el riesgo de destrucción total, definiendo para cada tipo estructural el nivel de daños aceptado como de destrucción total. La acción resultante se considerará como accidental.			

Tabla 5: Riesgo de avería según ROM 2-90.

Para nuestro caso, la posibilidad de que haya pérdidas humanas es mínima, sin embargo, en caso de inutilización de la obra optaremos por media, siendo el riesgo máximo admisible (E) de 0,3.

Conociendo el riesgo admisible y la vida útil (L), podemos obtener el periodo de retorno (T) de tal manera que:

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

Tenemos pues un periodo de retorno de 70,59 años es decir de 71 años. A continuación, extrapolamos los resultados anteriores para este periodo de retorno:

T		71
HSR		4,7
TP,min		10,8
TP,max		13,7
TP		11
	E	4,55
Hso(m)	EES	4,04
	SE	3,7

Tabla 6: Resultado H₅₀ para 71 años de periodo de retorno.

Para nuestro caso se optará por la ola proveniente del Este debido a que es la más alta con 4,55 metros.

Vamos a definir el periodo y la longitud para esta ola. Por lo tanto, volvemos a la ROM 0.3-91:

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

Obtenemos así dos valores:

- T= 10,67 segundos.
- T= 13,44 segundos.

Optaremos por escoger el valor medio entre los dos:

T=12,06 segundos.

Para obtener la longitud de ola, nos basamos en la fórmula:

$$L_o = g \cdot \frac{T^2}{2\pi}$$

Tenemos una longitud de ola de 228 metros.

2.1.2. ALTURA DE OLA EN CONDICIONES DE ROTURA (H_b)

Lo más usual es dimensionar la altura de la obra según cual sea la altura de la ola de rompiente. Para zonas donde la profundidad no es muy grande la altura de la ola se determina por el peralte (relación entre la altura de la onda y su longitud). Es necesario hallar la máxima altura sin que llegue a romper la ola para ello nos basamos en la teoría de la onda solitaria donde:

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

Tenemos que:

- H_b la altura de la ola en condición de rotura.
- D_b la profundidad donde se sitúa el pie de nuestra estructura. Se calcula como suma de la profundidad real (ds) y la sobreelevación considerada (s).

Este valor suele ser el mismo que en la naturaleza, pero pueden existir unas diferencias en los resultados que dependen de la pendiente del fondo, la altura la profundidad de la obra o el periodo de la ola incidente. Por no decir que en la naturaleza no hay dos olas iguales, se trata de un oleaje irregular, más aún si hablamos de mar de viento.

Nos basaremos en la curva Weggel ya que podemos conseguir la relación H_b/d_b en función de la pendiente de la playa y el periodo del oleaje. La cala de Pope presenta una pendiente de entre 6% y un 8%. Consideramos también un periodo de oleaje de unos 9-12 segundos, observamos en la siguiente gráfica:

ANEXO Nº8: JUSTIFICACIÓN DE CÁLCULOS

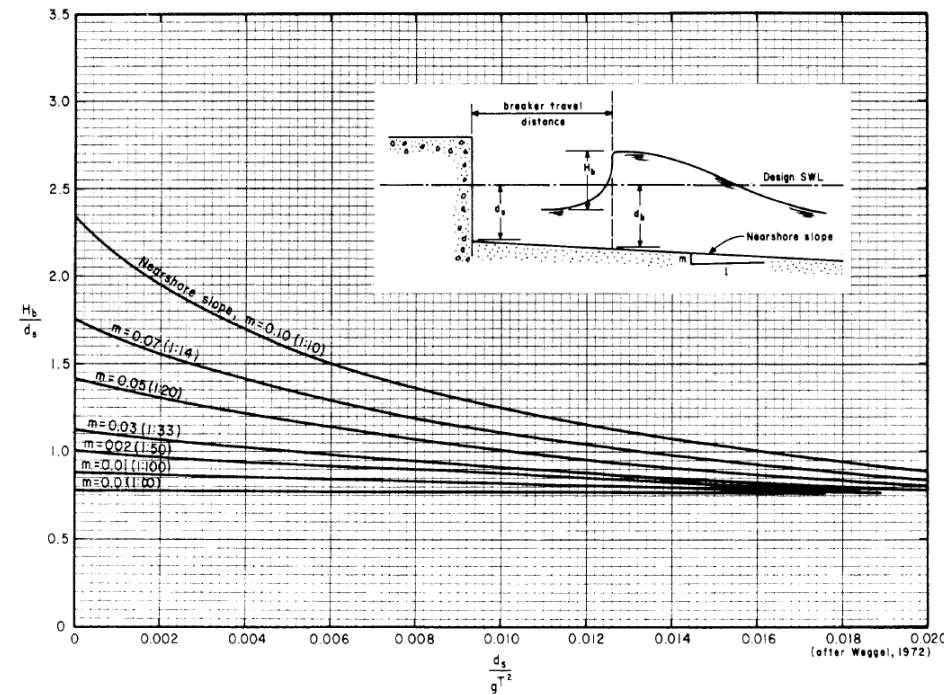


Figura 1: Gráfica de Weggel.

Estas curvas indican la rompiente máxima que puede alcanzar con una profundidad dada de agua delante de una estructura es Z_s (la cual es $d_b = 6$ el cual es la profundidad del que se está tratando aquí), según la profundidad relativa $\frac{Z_s}{gT^2}$ y la pendiente del fondo m (0,07). Consideraremos que Z_s , la profundidad en frente de la obra, es siempre menos a la profundidad donde la ola empieza a romperse, z_b .

Introducimos los valores dentro de la gráfica y obtenemos:

$$\frac{H_b}{d_s} = 1,4 \text{ metros.}$$

Sin embargo, esta altura de rompiente no tiene en cuenta ciertos parámetros como son las condiciones de donde nos encontramos, la cual puede provocar que la ola real y la teórica no sea la misma y esta rompa a menor altura. Otro de los parámetros que hay que tener en cuenta son posibles obstáculos que nos podemos encontrar o diferentes modificaciones que pueda tener el agua.

Para calcular finalmente la altura de ola correspondiente para obtener un buen diseño para el dimensionamiento de la estructura. A estos valores llegamos a la relación:

$$H_b = 1 * d_s$$

$$H_b = 1 * 6 = 6 \text{ metros.}$$

H_b si seguimos con la teoría de onda solitaria y contando con una sobreelevación sobre el nivel del mar de más o menos un metro tenemos:

$$H_b = 0.8 * (1 + 6) = 5,6 \text{ metros.}$$

Al ser este valor más pequeño y por lo tanto más restrictivo, tomaremos este valor a partir de ahora.

2.1.3. ALTURA DE OLA DE CÁLCULO (H_{CAL})

Una vez obtenida la altura máxima de rotura, todas aquellas olas de altura superior romperán antes de encontrarse con nuestra estructura.

Sin embargo, como hemos calculado anteriormente existen alturas de ola significativa $H_{1/3}$ obtenidas gracias a la ROM 0.3-91 del sector VII para el régimen de oleaje de Valencia donde, $H_{1/3} = H_{SO} = 4,55$ metros. Por otro lado, sabemos que durante un temporal podemos encontrar olas que dupliquen este valor. Para resolver este problema seguimos las indicaciones del Shore Protection Manual (SPM, 1984), el cual aconseja tomar como valor de ola de diseño el $H_{1/10}$. Siendo esta altura 1,27 $H_{1/3}$ para un periodo de vida útil de 71 años. Por lo tanto:

$$\frac{H_1}{10} = 1,27 \frac{H_1}{3} = 1,27 * 4,55 = 5,78 \text{ metros.}$$

Al ser $H_b < H_{1/10}$ nos encontramos ante condiciones de rotura de la ola a pie de nuestra estructura. Es decir que tomamos $H_{cálculo} = H_b = 5,78$ metros.

2.2. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

Lo más importante del diseño de una serie de diques exentos sumergidos es como va a ser nuestra línea de costa finalmente. Cuando se construye este tipo de obras se suelen crear tómbolos es decir se va creando poco a poco una línea de sedimentos que une la costa con el dique provocando finalmente la unión de la playa con la estructura. Este hecho provoca que exista una barrera que impida el desplazamiento longitudinal provocando erosión aguas abajo y un estancamiento del agua entre tómbolos. Por lo tanto, teniendo en cuenta esta posibilidad hay que diseñar estas estructuras de tal manera que se formen hemitómbolos que si dejarían paso a las corrientes longitudinales.

El resultado que buscamos con este trabajo es alcanzar regenerar y proteger la cala de Pope, consiguiendo una playa seca de anchura de unos 10 metros más la creación de un cordón dunar de unos 3 metros para conseguir la anchura media que tenía la playa antiguamente. Añadiendo la creación de los hemitómbolos que se formaran debido a la colocación de los diques exentos sumergidos.

Para lograr nuestro objetivo es necesario manejar estos parámetros:

- Orientación de los diques con respecto a la línea de costa.
- Distancia de la estructura a la costa y calado de esta.
- El número de diques, la separación entre ellos y sus longitudes.

2.2.1. ORIENTACIÓN DEL DIQUE

Como hemos visto en anexos anteriores, nos encontramos ante una zona bastante protegida donde no existen muchas direcciones de oleaje y donde la más importante es la que proviene en la dirección SSE y luego ya la E y S.

ANEXO Nº8: JUSTIFICACIÓN DE CÁLCULOS

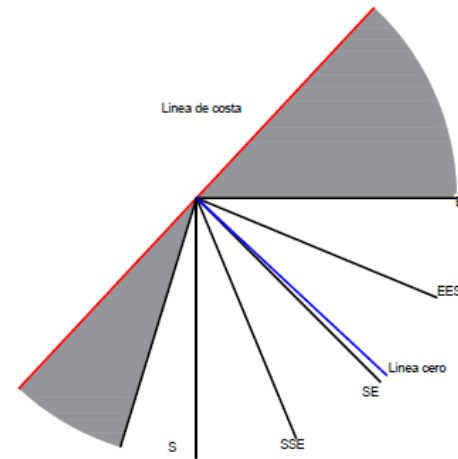


Figura 2: Orientación de la costa

Según las recomendaciones para este tipo de estructuras, estas, deben construirse perpendiculares a la resultante del oleaje. Si tomamos como esta premisa la estructura se encontraría a unos 25° de la línea de la playa, bastante inclinado en comparación con la supuesta posición paralela a la costa que debería ser. Cabe destacar también que para las profundidades en la que nos encontramos el oleaje no viene en estas direcciones justas, sino que exista cierta refracción que origina un cambio en la dirección del oleaje. En un apartado posterior de este anexo veremos la propagación de oleaje donde se estudia el ángulo β . Este ángulo representa el ángulo que se forma entre la alineación del dique y la línea de cresta de la ola. Dicho ángulo tiene el valor de 4° por lo que la oblicuidad es menor.

Nos encontramos ante una situación idónea para colocar los diques de manera paralela ya que al ser una cala abierta y como hemos visto la oblicuidad no es tanta debido a la refracción que existe cuando la profundidad no es tanta.

2.2.2. DISTANCIA A LA COSTA Y CALADO DE LA ESTRUCTURA.

La distancia que hay entre la línea de costa y la profundidad de 6 metros donde se va a construir nuestro dique es de 60 metros debido a que ya contamos con la ampliación de la playa seca de hasta 18 metros. Este valor medio se ha fijado siguiendo unos criterios. Debido a la pendiente hay una bajada brusca en la profundidad en muy poca distancia por lo que se ha hecho un estudio para ver cuanta es la máxima distancia posible sin llegar a una profundidad tal que haga la construcción del dique inviable. Es necesario separar la construcción de la costa lo máximo posible para evitar la sobreelevación que se crea cuando el oleaje pasa por encima de la estructura afecte lo menos posible a la zona de la costa evitando así el riesgo a rip current. También hay que intentar que la zona no se accesible para los posibles bañistas y permitiendo el paso a pequeñas embarcaciones.

La línea que vamos a intentar seguir es la línea batimétrica de -6 metros teniendo en cuenta que en ocasiones podemos llegar a -6,5 metros.

2.2.3. NÚMERO, LONGITUD Y SEPARACIÓN DE DIQUES.

Como se ha mencionado anteriormente la creación de tómbolo o de hemitómbolo está directamente relacionado con la longitud del dique exento. Si esta longitud es mayor a la distancia que hay de la obra a la playa se formara el primero si por lo contrario la longitud es menor nos encontramos ante el segundo caso.

A la anchura de playa seca regenerada hay que sumarle la curva espiral logarítmica teniendo en cuenta la distancia entre la costa y el dique, el ángulo de incidencia de las olas con respecto a la obra. Para llegar a la forma que hemos analizado en planta, hay que disponer los diques de tal manera que cumpla con nuestro objetivo de playa. Se ha decidido colocar dos diques de 40 metros con una separación de 60 metros entre ellos, lo que conllevaría la construcción de dos de estos diques exentos sumergidos. Los 40 metros es una longitud menos a la distancia a costa como indica las recomendaciones de SPM, mientras que los 60 metros son necesarios para que haya una mejor circulación de las aguas y las embarcaciones puedan pasar mejor que por encima de las obras. Y por último, es una longitud adecuada para que se generen unas corrientes de retorno que ayuden a que se desagüe sin que altere el proceso hidrodinámico que se ha generado.

Todos los cálculos, datos y la decisión adoptada se verán explicados y razonados a lo largo de este mismo anexo, y se verá la curva espiral logarítmica de la regeneración de la cala.

2.2.4. TRANSMISIÓN DEL OLAJE

Este tipo de estructuras son un obstáculo para el oleaje debido a que suponen una reducción de la profundidad por lo que provoca que el tamaño de la onda sea mayor a este y por lo tanto la ola rompe y se refleja a menor medida lo que conlleva a que de toda la energía del oleaje solo pase una parte.

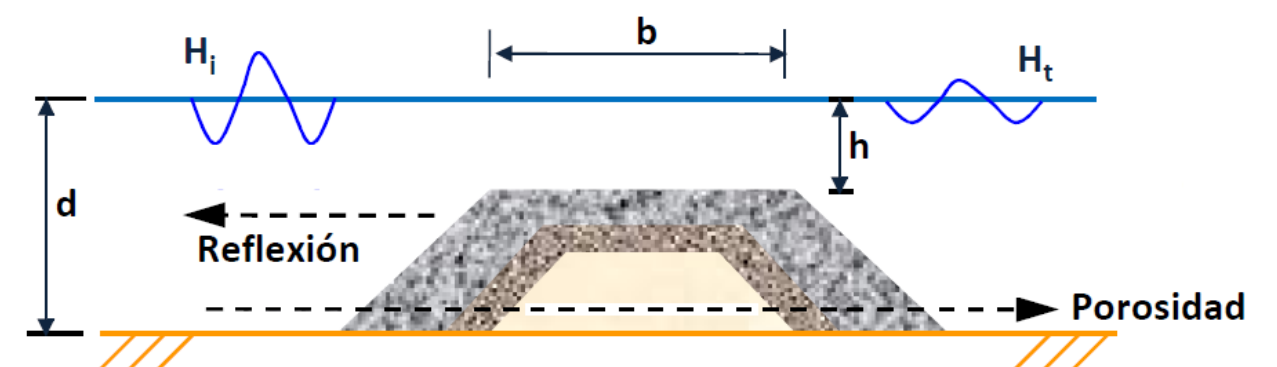


Figura 3: Transmisión del oleaje al sobrepasar un obstáculo.

Como hemos mencionado antes, vemos en la figura como hay una parte de la ola que se refleja y otra que pasa con una pérdida de energía importante. También observamos que existen tres tipos diferentes de alturas de las olas:

- Ola incidente (H_i)
- Ola transmitida (H_t)
- Ola reflejada (H_r)

A continuación, vamos a estudiar la magnitud del cociente de transmisión de la altura es decir K_t el cual:

$$K_t = \frac{\text{Altura de ola transmitida}}{\text{Altura de ola incidente}} = \frac{H_t}{H_i}$$

La ola se transmite de dos maneras, a través de la obra y por encima de esta (rebase). Por lo que, hay que considerar dos coeficientes, el coeficiente de permeabilidad de la estructura (k_{tt}) y coeficiente por rebase (k_{t0}).

ANEXO Nº8: JUSTIFICACIÓN DE CÁLCULOS

Tenemos,

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} = \sqrt{(K_{t0})^2 + (K_{tt})^2}$$

2.2.5. CORONACIÓN DEL DIQUE.

Nuestro dique se va a construir a una profundidad de alrededor de los -6 metros, y la cota de coronación se puede situar a distintas alturas, incluso a la altura del nivel medio del mar (NMM). Sin embargo, ya que el nivel del mar no es constante, para que la coronación no sea visible y puedan pasar pequeñas embarcaciones se va a situar a una altura de -0,5 metros. Por lo tanto, nuestra estructura tendrá una altura de 5,5 metros.

2.2.6. COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE ALTURA DE OLA.

Hemos hablado de dos coeficientes de transmisión de ola (k_t), el de permeabilidad (K_{tt}) y de rebase (K_{t0}). El primero se puede obtener a partir del modelo de Seeling mientras que el otro en base al modelo analítico de Hadsen-White. Sin embargo, en este trabajo no se usarán estos métodos sino nos basaremos en los resultados obtenidos en diferentes ensayos que nos proporcionan el resultado de K_t .

- Ensayo de Seeling (CERC, 1980):

En este ensayo, se presentan los coeficientes de transmisión de ola frente a $\frac{H_i}{g.T^2}$ donde hay una banda de transmisión de valor próximo a K_t igual a 0,6.

Se considera como válido a pesar de que el ensayo no es exactamente concordante con nuestro ejemplo debido a que son considerados solo diques impermeables y la curva es válida solo para valores B/h_c y d_s/h_c distintos a los que estamos diseñando en este proyecto.

Por tanto, una vez obtenido el coeficiente de transmisión de la ola el cual considerando los diferentes datos optamos por un valor de 0,55 y conocida la altura de ola incidente tenemos:

$$K_t = \frac{H_t}{H_i}$$

$$H_t = K_t \cdot H_i = 0.55 \cdot 5.78 = 3.18 \text{ metros}$$

Cabe destacar que la altura incidente se encuentra en situación de “Breaking”, de rotura, por lo que la ola se rompería antes de haber la difracción, pero hay que indicar la influencia de esta a la altura de ola después de pasar por el obstáculo.

3. DISEÑO DE LOS DIQUES EXENTOS.

3.1. MATERIALES Y GEOMETRÍA.

El material que vamos a emplear en la construcción de los diques exentos sumergidos son bloques de escollera y el relleno para el núcleo será un todouno de cantera.

Los diques que vamos a construir se van a dimensionar a partir de un diseño de sección transversal en forma trapezoidal. Este tipo de dique son los mejores para terrenos donde la pendiente no es muy pronunciada y funcionan mejor frente a la acción del oleaje.

Para dimensionar la estructura es necesario conocer los distintos parámetros por los cuales se define la sección transversal:

- Cota de coronación, constante a lo largo de todo el dique, a una altura de -0,5 metros respecto al nivel medio del mar.
- Los dos taludes tendrán la misma pendiente $m=1$ es decir para cada metro en horizontal uno en vertical (1/1).
- El ancho de la coronación será de 3 metros.
- Colocar una berma a cada lado de 0,5 metros de altura y 1,5 de longitud.
- Los extremos se finalizarán por una sección circular con el mismo diámetro que ancho es decir 3 metros.

Por tanto, si la altura del dique será aproximadamente de 5,5 metros, la anchura en la base será de:

$$5,5 + 5,5 + 3 + 1,5 + 1,5 = 17 \text{ metros.}$$

Este perfil se puede ver en el apartado de planos para una mejor visión del mismo.

3.2. ANALISIS DE ESTABILIDAD. CALCULO DEL PESO DE LAS ESCOLLERAS.

Los diques se suelen construir con materiales de diferente tamaño, de forma creciente es decir el núcleo tiene materiales mucho más pequeños que en la parte más externa de la estructura. Nos podemos encontrar ante una estructura multicapa donde cada una de las capas (filtro, manto principal secundario...) tienen una función distinta. Pero también se puede construir una monocapa, en estos casos suele ser de menores dimensiones o en circunstancias de poca transmisión, estos, son mucho más económicos.

En nuestro caso vamos a optar por el primer caso, es decir nuestro dique constará de núcleo, capas intermedias y manto principal.

El núcleo, es la parte interior del dique y su función es soportar el resto de capas. Se exige que el núcleo sea impermeable para poder evitar la transmisión del oleaje. Esta capa tiene un menor coste unitario en lo referido al material con respecto a las otras capas. Por último, añadir que una vez construido el núcleo este sirve como plataforma para colocar el resto de las capas.

Sobre las capas intermedias, tienen dos fines, el primero es evitar que los materiales del núcleo se disipen por culpa del oleaje y segundo sirve de apoyo para el manto principal.

El manto principal, su objetivo es de trabajar como el elemento resistente. La estabilidad del manto principal depende del peso propio de los bloques que lo conforman, del encaje y unión con los elementos adyacentes.

Por último, para la protección de todo el conjunto es necesario construir una berma de pie. La berma ayuda al manto principal y ayuda a proteger al terreno y la cimentación. Es fundamental para asegurar la estabilidad de todo el dique.

ANEXO Nº8: JUSTIFICACIÓN DE CÁLCULOS

3.2.1. ESTABILIDAD DEL DIQUE

Para estudiar la estabilidad del dique hay que hacer un análisis de la estabilidad de cada elemento y de su conjunto.

Brunn hizo un estudio de las causas que pueden llevar a un dique al fallo. Este estudio contempla once causas principales que comprenden la estabilidad hidrodinámica y mecánica de las partes y la estabilidad geotécnica de todo el conjunto granular y los posibles errores constructivos.

A continuación, vamos a analizar la estabilidad de los diques según las causas de fallo debidas a inestabilidad hidrodinámica.

- Pérdidas de piezas del manto principal debido al oleaje.
- Debido a los pequeños movimientos que se crean en el manto principal que poco a poco van minando la conformación de la capa. Se trata de una rotura por fatiga.

Una pieza del manto de un dique puede tener dos tipos de movimientos: cabeceos sobre sus apoyos y desplazamientos de su posición inicial.

Existe un periodo de tiempo donde el dique se encuentra en estabilidad parcial donde las pequeñas olas no tienen mucha incidencia salvo la extracción de alguna pieza no integrada totalmente con el conjunto. En cuanto a olas de mayor dimensión sí que hay una extracción de piezas. Sin embargo, esto cesa a partir de un número de olas donde el dique ya permanece estable.

Cuando las acciones del flujo superan un cierto valor, el manto superior no es capaz de estabilizarse antes de que se vean afectadas las piezas del manto anterior (filtro). Si este (el filtro) se ve afectado el daño es mucho mayor ya que la deformación alcanza un límite incompatible con la función principal del dique. Si el espesor del manto es muy grande como podría ser en los diques berma o que el supuesto dique este construido con una sola gradación de escolleras, el nivel de deformación admisible es mayor. Por lo tanto, dicho nivel de deformación depende de cuando comienza a erosionarse el manto secundario o si la deformación ha llegado al punto de cuestionarse la funcionalidad del dique.

3.2.2. CRITERIOS DE AVERÍA.

Estos criterios son tanto cualitativos como cuantitativos y han ido variando a través de los años. Hoy en día se han definido 4 tipos de daños que se identifican visualmente al analizar el dique:

- Iniciación de avería: IA
- Avería de Iribarren: AI
- Inicio de destrucción: ID
- Destrucción: D

Sin embargo, para este trabajo, vamos a usar el criterio del SPM (1984) el cual proporciona una tabla que relaciona la altura de ola de iniciación de averías (daño cero) con la altura de ola de cálculo que es capaz de afectar a las condiciones iniciales del dique, es decir el porcentaje de escollera que se desplaza en una banda activa. En este criterio, la destrucción del dique es para un daño del 50%.

3.2.3. PESOS DE PIEZAS Y ESPESOR DE CADA CAPA.

En este apartado, dimensionaremos tanto las piezas como las capas considerando el mecanismo de erosión del manto debido a las olas.

Para determinar la estabilidad de los bloques es necesario conocer su peso. Para ello nos vamos a basar en la fórmula de Iribarren modificada por Hudson y que es la fórmula propuesta por el SPM.

$$w = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{(S_r - 1)^3 \cdot K_d \cdot \cot \alpha}$$

Donde,

- W: peso de la escollera.
- γ_r : peso específico de la escollera (2,7 T/m³).
- H: altura de ola.
- S_r : peso específico relativo del material con respecto al agua, $S_r = \gamma_r / \gamma_w$. Donde es 2,634 T/m³.
- α : ángulo que forma el dique con la horizontal. Para este caso el $\cot \alpha$ es igual a 2 en los dos taludes.
- K_d : coeficiente de estabilidad.

Sobre los parámetros de la fórmula, la altura de ola (H) está en función del nivel de daño que veremos en la siguiente tabla. El SPM, como ya hemos mencionado describe este nivel de daño como el porcentaje de escollera que se mueve dentro de una banda activa. Para cada valor del nivel de daño, nos proporciona una H. La tabla es la siguiente.

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	1.56 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

Tabla 7: Nivel de daño

Para nuestra obra, vamos a optar por una escollera rugosa con un nivel de daños aceptable del 20 al 30%.

$$H = \frac{H_{cal}}{D} = \frac{5.78}{1.37} = 4,22 \text{ metros}$$

ANEXO Nº8: JUSTIFICACIÓN DE CÁLCULOS

Hay que tener en cuenta también el coeficiente K_d de estabilidad que depende de la forma de los bloques y la rugosidad de la superficie, de la forma de las aristas y el grado de unión que se obtiene al colocarlo. Otro parámetro del cual depende es el de número de capas, de su colocación y de las condiciones del oleaje, es decir, si se encuentra en rotura o no. Por ultimo depende del lugar en el dique, si estamos en el morro o no.

En nuestro caso, nos encontramos ante un dique exento sumergido con dos capas, de colocación de bloques aleatoria y rugosos. Observando la siguiente tabla tenemos:

No-Damage Criteria and Minor Overtopping							
Armor Units	n	Placement	Structure Trunk		Structure Head		
			K _D ²		K _D		Slope
			Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Cot θ
Quarystone	2	Random	1.2	2.4	1.1	1.9	1.5 to 3.0
Smooth rounded	>3	Random	1.6 ₄	3.2	1.4 ₄	2.3	
Rough angular	1	Random ⁴		2.9		2.3	
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	1.9 1.6 1.3	3.2 2.8 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 ⁶	5.8	7.0	5.3	6.4	5
Parallelepiped ⁷	2	Special ¹	7.0 - 20.0	8.5 - 24.0	--	--	
Tetrapod and Quadripod	2	Random	7.0	8.0	5.0 4.6 3.6	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
Toakane	2	Random	11.0	22.0	--	--	5
Tribar	1	Uniform	12.0	15.0	7.5	9.5	5
Quarystone (K _{RR})							
Graded angular	-	Random	2.2	2.5	--	--	

Tabla 8: K_d : coeficiente de estabilidad.

Observando la tabla para escollera rugosa, en una condición de rotura y para un valor de $\cot \alpha$ igual a 2 tenemos que para el morro K_d es 1,6 y para el resto 2 en el caso de colocación aleatoria y de 5,3 para el morro y 5,8 para el resto en caso de colocación especial. Haciendo una mezcla tenemos un K_d para el morro de 3,5 y para el resto K_d 4 siendo ambos más cerca de la colocación específica que de la aleatoria

3.2.3.1. MANTO PRINCIPAL.

Disponemos de todos los parámetros para calcular el peso unitario de los bloques que formaran el manto principal del dique.

- Cuerpo:

$$w = \frac{2,7 * 4,22^3}{(2,634 - 1)^3 * 4 * 2} = 5,8 T$$

- Morro:

$$w = \frac{2,7 * 4,22^3}{(2,634 - 1)^3 * 3,5 * 2} = 6,6 T$$

Finalmente colocaremos todos los bloques como los del morro ya que es el de más peso y nos situamos en el lado de la seguridad.

Por otro lado, el espesor del manto es en función del tamaño del bloque siendo este:

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

Donde,

- n : número de capas. Siendo 2.
- K_{Δ} : coeficiente de capa, cuyo valor es 1 para capa rugosa y de colocación aleatoria.
- W : peso de la escollera.
- γ_r : peso específico de la escollera. (2,7 T/m³).

$$r = 2 * 1 * \left(\frac{6,6}{2,7} \right)^{\frac{1}{3}} = 2,7 \text{ metros.}$$

Este espesor es válido tanto para el cuerpo como para el morro.

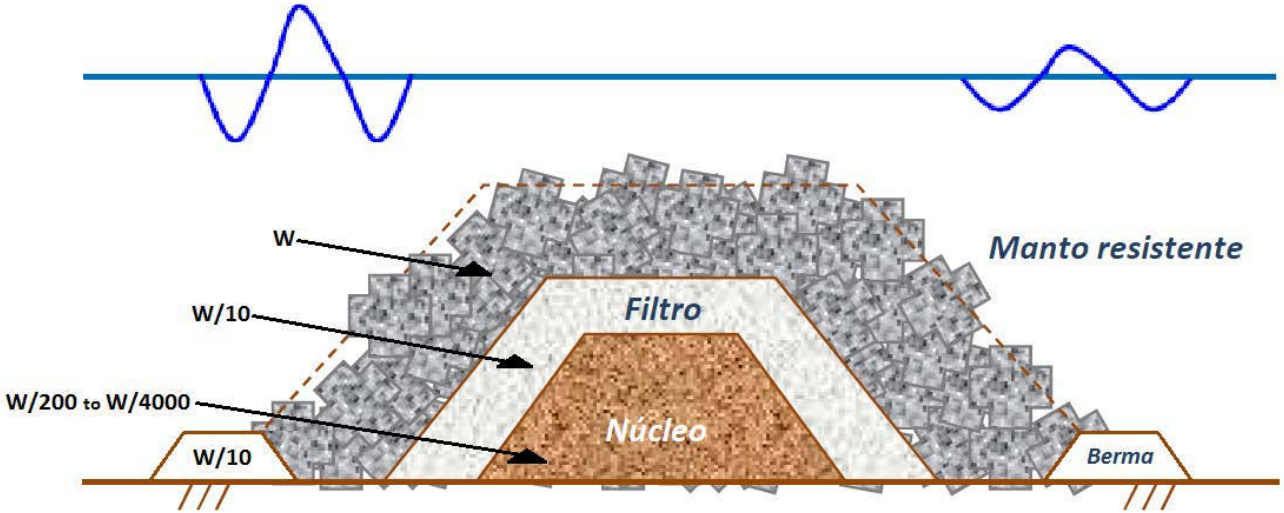


Tabla 9: Sección tipo.

3.2.3.2. MANTO SECUNDARIO.

El manto secundario, en nuestro caso será el filtro que evite que los materiales del núcleo se dispersen. Para calcular su peso vamos a utilizar el peso de la escollera y dividirlo por 10. Una vez calculado el peso, el espesor de la capa se resolverá de la misma manera que anteriormente. En este caso solo dispondremos de una capa y como hemos usado la misma escollera tanto para cuerpo como para morro ya no haremos distinción.



ANEXO Nº8: JUSTIFICACIÓN DE CÁLCULOS

W_{fil} = \frac{W}{10} = 0.66T = 660 Kg

Donde el espesor es:

e = 1 * 1 * \left(\frac{0.66}{2.7}\right)^{\frac{1}{3}} = 0,625 metros

3.2.3.3. NÚCLEO.

Como hemos hecho en el caso anterior nos basaremos en el peso de un bloque del manto principal para definir el núcleo interior. El objetivo de este núcleo es la transmisión de la energía del oleaje para ello necesitamos materiales de baja porosidad. El peso será entre w/200 y W/4000:

W \in (33 - 1,7)Kg

3.2.3.4. BERMA DE PIE.

Para el estudio de la berma de pie, nos basamos en la fórmula de Gerding (1995), la cual vale para diques creados por bloques sueltos de escollera con una densidad de aproximadamente 2,65T/m³ y taludes de cota=1,5.

0,4 < \frac{h_t}{h} < 0,9

3 < \frac{h_t}{D_{n50}} < 25

Donde,

- Ht: calado medio desde la cota de la berma
- H: calado a pie de dique
- Dn50: tamaño medio de la escollera de la berma

Para la estabilidad de la estructura frente a los peligros de socavación y deslizamiento de las piezas, es necesario una o dos capas de escollera de un diámetro equivalente con un ancho suficiente. Según la SPM es necesario adoptar un ancho mínimo de 4 diámetros equivalentes. Vamos a optar por una anchura de 1,7 metros y 0,8 de altura.

3.2.3.5. RESULTADOS.

En la siguiente tabla observamos los resultados de peso y espesor de cada capa.

CAPA		Peso de escollera	Espesor
Manto principal	Cuerpo/morro	6,6T	2,7m
Filtro	Cuerpo/morro	660Kg	0,625m
Núcleo	-	33-1,7 Kg	-

Tabla 10: Peso y espesor por capa.

Según el SPM, cada capa tiene un intervalo de variación del peso como podemos ver en la tabla de continuación.

CAPA		Variación %	peso mín	peso max
Manto principal	Cuerpo/morro	75-125	4,95T	8,25T
Filtro	Cuerpo/morro	70-130	462Kg	858Kg
Núcleo	-	30-170	1,19 Kg	56,1Kg

Tabla 11: Peso máximo y mínimo.

3.2.4. ANCHURA MÍNIMA DE CORONACIÓN.

En un apartado anterior hemos señalado que la anchura de coronación es de 3 metros en el cuerpo y en el morro el diámetro circular es de 3 metros también. En este apartado vamos a calcular los mínimos recomendamos por el SPM para ver si cumplen, gracias a la siguiente formula:

B \geq n * K_{\Delta} * \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{\frac{1}{3}}

Donde,

- N: número de capas,2.
- kΔ: coeficiente de capa, en este caso observando la tabla12 kΔ es igual 1.
- W: peso de la escollera.
- Yr: peso específico de la escollera (2,7T/m³).

Armor Unit	n	Placement	Layer Coefficient k_{\Delta}	Porosity (P) %
Quarrystone (smooth) ¹	2	Random	1.02	38
Quarrystone (rough) ²	2	Random	1.00	37
Quarrystone (rough) ²	>3	Random	1.00	40
Quarrystone (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
Quarrystone ⁷	Graded	Random	--	37

Tabla 12:Coeficiente de capa.

Tenemos,

-Cuerpo y morro:

B \geq 2 * 1 * \sqrt[3]{\frac{6,6}{2,7}} = 2,69 < 3 metros.

Según el SPM, el ancho debe ser lo suficiente grande para que se pueda operar tanto para la construcción como para el mantenimiento que se vaya a hacer al dique. Aunque es cierto que se ha optado por un ancho mayo

ANEXO Nº8: JUSTIFICACIÓN DE CÁLCULOS

al mínimo el cual puede ser perjudicial al encarecer la estructura, ese tamaño ayuda a que sea más fácil efectuar las labores de construcción. En un primer momento, el dique no será sumergido debido a que se tiene acceder desde el propio dique, solo en fase de construcción estaría por encima del nivel medio del mar.

Durante este periodo de tiempo, la anchura de la coronación será de 6 metros al igual que el diámetro de los morros. Con esta anchura se espera que no haya problemas a la hora de que circule la maquinaria.

3.2.5. BERMA DE REFUERZO.

Para evitar que el oleaje pueda provocar erosión en el fondo o en la propia cimentación es imprescindible proteger la estructura para así poder evitar asentamientos o posibles fallos en el pie. Esta protección es más necesaria en caso de que la superficie donde se apoye sea arenosa. Este tipo de construcción son costosas y de difícil construcción bajo el agua, pero es necesario para evitar costes mayores en el futuro.

Es por ello que vamos a colocar dos bermas de pie a cada lado de la estructura siendo estas de 0.5 de altura y 1.5 de anchura. Los materiales a utilizar serán del mismo tipo que la escollera del filtro.

4. PERFIL DE PLAYA GENERADO

Para el estudio de la playa generada es necesario tener conocimientos de cómo se propagan las olas. Durante la propagación del oleaje esta sufre cambios debido a la refracción y reflexión con el fondo del mar y difracción y reflexión cuando entra en contacto con un dique exento. Para lo que nos incumbe el estudio de la difracción no tiene mucho sentido, contrario de los otros fenómenos que nos podemos encontrar.

-Difracción:

Se trata de un fenómeno por el cual se produce una desviación del flujo cuando se encuentra con un obstáculo. En este caso cuando la ola se acerca al dique exento esta tiende a rodearlo.

-Refracción:

Cambio de la velocidad y dirección debido al cambio de profundidad y a la disposición de las isobatas. Este fenómeno es el que origina que las olas vayan siendo poco a poco paralelas a la costa.

Los diques exentos se sitúan en zonas donde la superficie no es muy profunda y pueda influenciar en este fenómeno reduciendo así la energía del flujo y provocando cambios considerables en el oleaje.

Hay que estudiar cómo se propaga las olas hasta que se encuentren con los diques y a partir de ahí como se perfila la playa y cómo será la planta de esta. Para ello, se analizará mediante otras herramientas sin contar con la propagación del oleaje.

Por lo tanto, solo se estudiará la refracción hasta la altura de los diques y la refracción no existente después de estos. Lo primero que deberemos calcular es el cálculo de ángulo β que ya se mencionó en un apartado anterior. Este ángulo es el que forma la perpendicular del oleaje incidente con la alineación de los diques sumergidos.

Una vez conocido este parámetro intentaremos predecir como será a curva geométrica de cómo será la cala de Pope en situación de equilibrio y después de un tiempo de evolución.

Posteriormente estimaremos la forma del perfil de la cala después de la construcción de la estructura. Una vez conocidos la planta de la playa y como será esta con una obra de protección se compararán con cómo se

encuentra la playa hoy en día. Se efectuará una estimación del volumen de áridos necesarios para la alimentación artificial y el lugar de vertido.

Por último, se harán unos comentarios sobre la difracción del oleaje al encontrarse con los diques.

4.1. REFRACCIÓN DEL OLAJE.

Para lograr calcular el ángulo β , hay que tomar ciertas hipótesis:

- Las líneas batimétricas se consideran paralelas a la costa.
- Los diques exentos se consideran paralelos a la costa y a una profundidad de -6 metros.
- Solo se analizará la difracción que existe cuando las olas llegan a la profundidad de -6 metros cuando se encuentra con los diques.
- El oleaje que existe en agua profundas es el que hemos obtenido en el apartado 2 de este mismo anexo.
- Las direcciones más habituales que afectan a la cala de Pope son las correspondientes al SSE y ya luego E y S y el resto.

Para conocer el ángulo β nos vamos a basar en un análisis gráfico (un ábaco), recomendado por el SPM el cual está basado en determinaciones prácticas. Este ábaco es solo válido si se cumple que las líneas batimétricas son paralelas a la línea de costa.

Hay que saber que:

- El ángulo que hay entre la orilla y la perpendicular de la dirección dominante es de aproximadamente de 25°.
- La altura de riesgo (H_{so}) y vida útil (T) es de $H_{SO}=5,8$ metros y $T=12$ segundos.
- La profundidad a la que se van a construir los diques es de -6 metros.

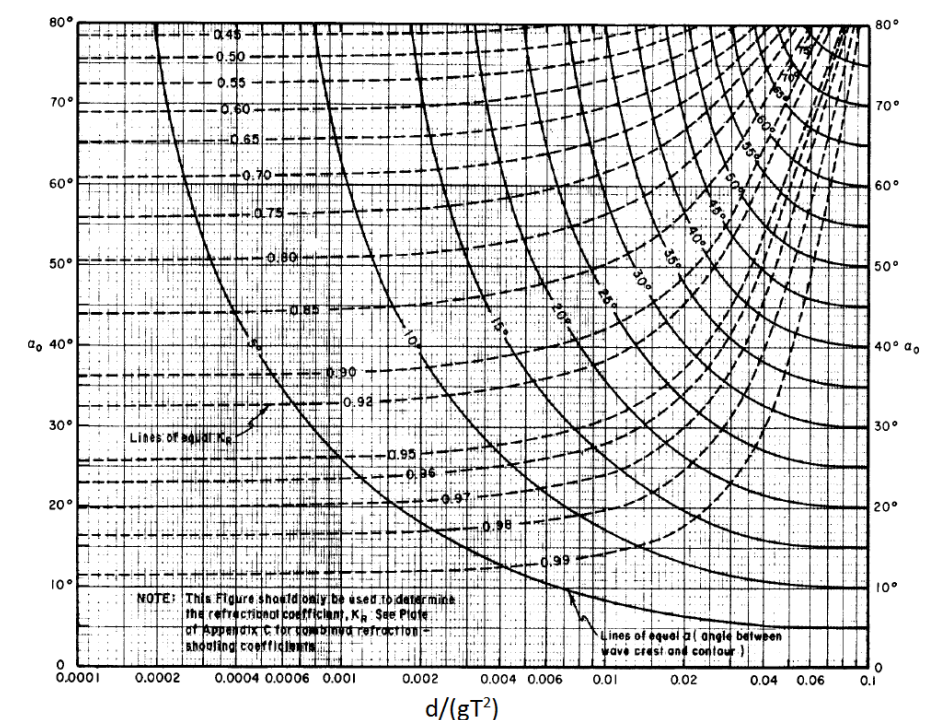


Figura 4: Ábaco refracción del oleaje.

ANEXO Nº8: JUSTIFICACIÓN DE CÁLCULOS

Conocidos los parámetros, lo trasladamos al ábaco y obtenemos un ángulo β igual a 4° .

4.2. PREDICCIÓN DE LA FORMA EN PLANTA DE LA PLAYA.

A continuación, vamos a predecir cómo puede quedar la forma en planta de la cala en equilibrio una vez ya construidas las obras de protección.

Como observamos en la siguiente imagen, si la dirección de las olas fuese normal a la orientación de la obra, se crearía un hemitómbolo justo detrás del dique (zona de sombra).

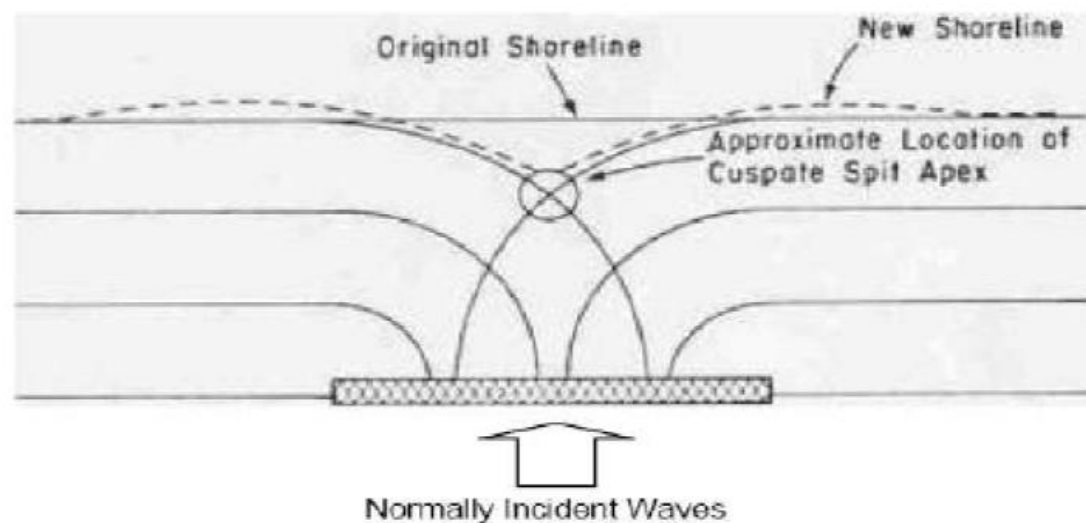


Figura 5: Creación de un hemitómbolo.

Aunque no vamos a tratarlo por su bajo efecto, tras los diques exentos, se observan efectos de la difracción de las olas al entrar en contacto con estos. También, hay que añadir que tras las estructuras parecen las corrientes longitudinales debido al gradiente de la altura de la ola. Estas generan corrientes que van desde la parte más expuesta a la parte protegida. Como podemos observar la planta obtenida siempre tiene una forma curvada, las cuales se han intentado obtener mediante expresiones analíticas.

Para hallar la forma de la Cala de pope vamos a hacer una estimación mediante el “compás de playa”, una espiral logarítmica con un ángulo constante formulada por C. Garau. La formulación es:

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

Dicha curva posee tres grados de libertad, correspondientes al ángulo α y a las dos coordenadas de polo. Los dos polos corresponden a los dos extremos de un dique exento, mientras que el ángulo depende de la playa, pero se suele usar 30° . Como se demostrará, la curva es muy flexible, los parámetros que necesitamos para ajustar la curva a la cala son los siguientes:

- Conocer el ángulo entre la línea de los diques y la cresta de las olas: $\beta=4^\circ$.
- Distancia entre los diques y la orilla de la playa para el ancho mínimo que se ha optado 50 metros.

Según un estudio efectuado por R.Silvester revela que el ángulo β es el mismo que hay entre la zona tangencial de la playa y la misma alineación. Si tenemos en cuenta esto, tomaremos como polos los extremos de los diques y conseguiremos encajar las espirales logarítmicas de 30° . De este modo se puede alcanzar el ancho que se desea. Este encaje se obtiene con diques de 40 metros y 60 metros de separación.

5. PERFIL DE PLAYA GENERADO

El objetivo de este trabajo es de recuperar la cala de Pope, y para ello necesitamos regenerar la anchura de su playa, de manera que se pueda volver a utilizar por los usuarios. El ancho que se desea llegar es de unos 18-20 metros contando playa seca y una pequeña zona de cordón dunar. Para la alimentación artificial hay que recordar que el diámetro medio debe ser de un tamaño menor o mayor del que ya existe.

Vamos a definir las partes de una playa y explicar sus diferentes zonas. Dentro de una playa nos encontramos las siguientes partes de dentro a fuera:

- Playa sumergida
- Estrán
- Playa seca
- Escarpe

En la siguiente imagen podemos distinguir estas partes.



Figura 6: Perfil de una playa.

Si nos centramos en la playa esta puede volver a dividirse en diferentes tramos:

- Zona activa o de inmersión:

“La franja de arena más próxima a la orilla, que debe permanecer libre para favorecer la cómoda inmersión y tránsito de las personas que acuden a bañarse”. Según las recomendaciones tiene que tener una pendiente de 8% y una anchura de 10 metros.

- Zona de reposo o inactiva:

“La franja inmediata y paralela a la anterior en la que es posible el uso de sombrillas, hamacas, toldos y otros elementos portátiles, particulares o de uso público, con destino a hacer cómoda la permanencia en la playa, facilitando el descanso de los usuarios”. Como nos encontramos en una cala donde las dimensiones no son muy amplias esta zona solo cuenta con una anchura de unos 5-7 metros.

- Zona de servicios:

“Está constituida por el conjunto de terrenos inmediatos a la zona de reposo o inactiva por el lado de tierra. Esta zona debe servir como elemento de separación entre la zona de reposo de la playa y las zonas urbanas

ANEXO Nº8: JUSTIFICACIÓN DE CÁLCULOS

colindantes”. En nuestro caso hay un acantilado con unas sendas de acceso, solo habrá una zona de unos 2-3 metros de anchura donde se colocará un cordón dunar.

5.1. PLAYA SUMERGIDA Y ESTRÁN.

5.1.1. CÁLCULO DE RUN-UP.

El run-up es la cota donde una ola en rotura es capaz de alcanzar en la orilla. Nnos basaremos en la formulación de Longuet-Higgins y Stewart:

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

Donde,

- s es el Run-up
- g la aceleración de la gravedad.
- T el periodo de ola de rotura H_b^* .
- H_b^* la ola en condiciones de rotura.

Le hemos añadido un asterisco a la altura de ola en rotura debido a que no tiene que coincidir obligatoriamente con H_b la altura de ola en rotura que se calculó para el dique exento. Por lo tanto, para conocer el perfil de la playa utilizaremos la altura de ola al romper con la línea de costa. Para poder calcular dicha altura nos podemos basar en dos maneras de calcularlo:

- Modo 1: la ola rompe en función de parámetros locas de dicha ola y la pendiente de fondo (batimetría).
- Modo 2: la altura de la ola en rotura está en función de la pendiente de la cala (batimetría) y del peralte de la ola en la zona de offshore (H_{so}/L_o).

Es este último el que vamos a utilizar para hallar dicha altura de ola en rotura. Para ello nos basaremos en la altura de ola significativa que hemos obtenido al inicio del anexo. Por lo que sigue siendo el periodo de vida útil de 25 años y el riesgo de 0,3. La pendiente en la zona de rompientes es de un 7%.

Existen varios criterios para el cálculo de la altura de ola en rompientes:

- A) Le Méhautéy Koh (1967):

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

- B) Komar y Gaughan (1972):

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

- C) Sanurama y Horikawa (1974):

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

- RESULTADOS:

Para los parámetros:

- H_{so} = 4,55 metros
- L= 228 metros
- m=7%

A	6,29
B	5,57
C	7,11

Tabla 13: Resultados de altura de ola en rotura.

Optaremos por la solución C al ser la más desfavorable, la que corresponde a Sanurama y Horikawa. Una vez obtenida la alura y para un periodo de 12 segundos tenemos que:

$$s = 0,19 \left(1 - 2,82 * \sqrt{\frac{H_b^*}{g \cdot T^2}} \right) \cdot H_b^* = 0,19 \left(1 - 2,82 \cdot \sqrt{\frac{7,11}{9,81 \cdot 12^2}} \right) \cdot 7,11 = 1,08 \text{ metros.}$$

Cabe destacar que este punto se obtiene sin la inclusión de las obras de protección, es decir con toda la energía del oleaje, por el medio entre los diques exentos. En la zona de diques el run-up será inferior debido a que la altura de rompientes es menor a la obtenida por Sanurama y Horikawa. Sin embargo, para ponernos en el caso más desfavorable, tomamos como válido el run-up para toda la cala. Por último, si tenemos en cuenta que la sobreelevación media en todo el mar mediterráneo es de 0,4 metros obtenemos un run-up de 1,48 metros.

5.2. ANCHO MÍNIMO DE LA PLAYA SECA.

En la siguiente imagen veremos cómo queda el perfil de la Cala de pope, debido a la característica de cala y a su situación geografía ciertas zonas típicas de playa no existen.

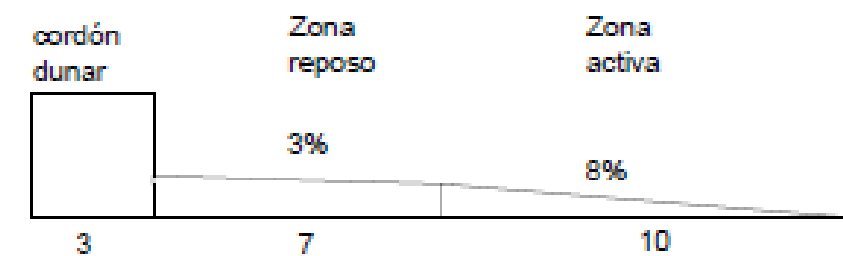


Figura 7: Perfil de playa.

ANEXO Nº8: JUSTIFICACIÓN DE CÁLCULOS

En lo que se refiere al cordón dunar su perfil ha sido simplificado donde su altura es de 1 metros y su ancho en la base de 3 metros. Al haber un acantilado justo después, no importa que la altura sea de 1 metros.

6. GRANULOMETRÍA DE LA CALA.

6.1. D50 DE LA ARENA PRESENTE Y FUTURA.

Para el estudio de la granulometría en costas no se suele usar curvas granulométricas, sino que hablamos del parámetro D_{50} . Para ello, es importante conocer cuál es el tamaño actual y original de la playa para poder seleccionar el D_{50} adecuado teniendo que ser este siempre igual o superior.

Según un estudio reciente sobre las playas de la provincia de Alicante se determina que el D_{50} en el año 2012 era de casi 55 mm mientras que en el año 2014 es de 35mm. Por lo tanto, observamos un retroceso en el tamaño de la arena.

Debido a que es imposible que la arena que se pretende a añadir sea la misma que la que se encuentra actualmente en la playa, el profesor Pier Vellinga halló en 1982 una relación de escala. Con esta relación se puede determinar cuál va a ser el efecto de un cambio en el tamaño de la arena en el perfil de una playa.

La expresión es:

$$\frac{l_n}{l_p} = \left(\frac{w_n}{w_p} \right)^{-0.56}$$

Donde,

- L : distancia horizontal entre dos puntos conocidos.
- W : velocidad de caída del sedimento.
- n : correspondiente a la playa antes de la alimentación artificial.
- p : correspondiente a la playa después de la alimentación artificial.

Analizando la fórmula anterior, observamos como si la granulometría es mayor que la original hay un incremento de la pendiente de la playa con respecto a la que hay actualmente. Normalmente se suele buscar un material del mismo tamaño que el original sin embargo en nuestro caso en el que nuestra playa como mencionamos en otros anexos es prácticamente de grava y como sabemos que en solo dos años ha habido una disminución del tamaño medio de la arena. Y aunque existe un lavado de los finos por influencia del oleaje, llegamos a la conclusión de que hay que añadir arena a la playa de Pope de un material con un $D_{50}=40\text{mm}$.

6.2. APOORTE DE ARENAS.

6.2.1. METODOLOGÍA.

En el caso de la alimentación, se ha decidido que consistirá en una colocación directa de los materiales en la playa. Al igual que la colocación en áreas determinadas “offshore” para que se distribuya por la dinámica litoral tanto en playa seca como sumergida.

Empezaremos colocando el volumen necesario de materiales en el lugar que le corresponde a cada tramo de la playa. Simplemente hay que verter los materiales directamente desde los caminos a la playa y ya repartirla en la forma deseada. Lo más complicado es el acceso habría que crear un acceso temporal que una la playa con el puerto. Más adelante se coloca lo que falte para completar la playa en puntos cercanos a la costa para evitar el uso de maquinaria marina o en puntos offshore utilizando los caminos creados para hacer el dique exento antes de retirarlos.

Sobre donde obtener los materiales necesarios, estos proceden de plantas de extracción y de tratamientos de áridos. Posteriormente habría que machacarlo, clasificarlo para obtener el diámetro necesario para su vertido en la playa. Teniendo en cuenta también, que los materiales tienen que tener unas propiedades similares a los que ya se encuentran actualmente. Todos estos procedimientos se ejecutan por medios terrestres.

6.2.2. CORDÓN DUNAR.

El último punto de nuestro estudio es el cordón dunar, una obra blanda que ayuda a la protección y regeneración de la playa.

El objetivo de dicho cordón dunar es de trabajar como almacén o reserva de sedimentos en momentos de temporal.

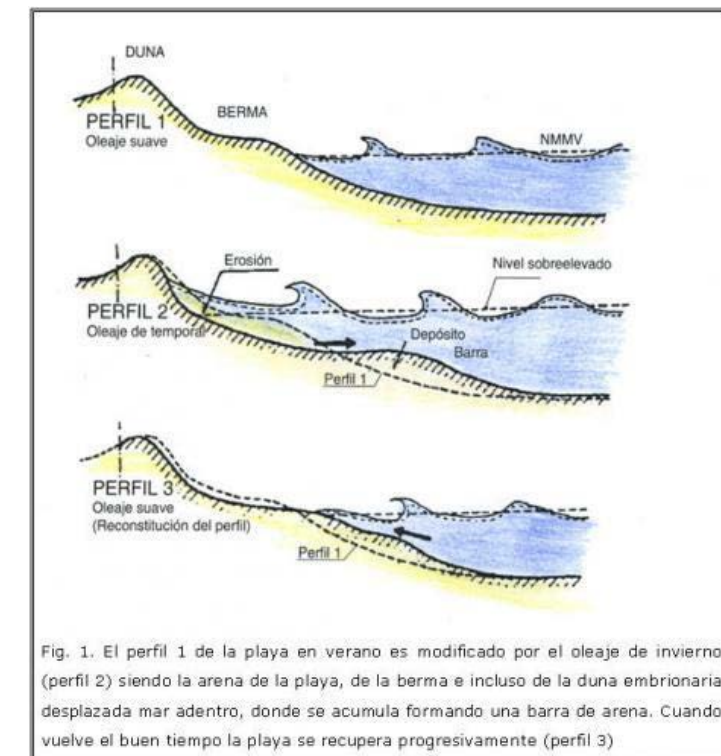


Figura 8: Funcionamiento cordón dunar.

En el caso de un temporal, los sedimentos que son arrastrados por la corriente son sustituidos por los de la duna. Durante momentos de calma, la corriente transporta sedimentos hasta la playa que gracias al viento transporta estos hasta las dunas y la playa va volviendo a su punto inicial. El problema viene cuando hay varios temporales seguidos ya que el proceso de recuperación es mucho más largo. En el caso de que no hubiese duna, en el momento de un temporal la arena sería arrastrada por la corriente y no habría depósito que la rellenase pudiendo llegar el caso de la desaparición de la playa.

ANEXO Nº8: JUSTIFICACIÓN DE CÁLCULOS

Por lo tanto, con la ayuda del dique exento sumergido que ayuda a la disminución de la energía de la dinámica litoral y el cordón dunar se espera que la playa se mantenga en equilibrio.

La duna será una acumulación de gravas formando una montaña de un metro de altura y 3 metros de anchura en su base formando una línea en el fondo de la playa seca.

6.3. CÁLCULO DE VOLÚMENES.

Ya que no tenemos a nuestra disposición valores reales, no podemos indicar cuales son los índices del material a añadir. Sin embargo, conociendo que la grava no tiene mucha variedad utilizaremos un factor de relleno, estable y razonable para un D50 de 40mm de 1,2.

A continuación, vamos a calcular el volumen de arena necesario para la regeneración de la cala de Pope. Para ello vamos a seguir una serie de pasos:

- Se represnetarán 5 perfiles transversales, separados entre sí con una distancia de 35 metros para cubrir los aproximadamente los 140 metros que existe.
- Se plantea el perfil para cada uno de ellos gracias a la ayuda batimétrica.
- Se estima la planta de la cala una vez que se haya efectuado la regeneración y se halla logrado el ancho deseado de 20 metros.
- Se calcula el perfil tanto de la playa seca como de la sumergida, dibujando los perfiles transversales.
- Para ver la diferencia entre el antes y después se dibujará superponiendo el dibujo de la playa actual. El área encerrada entre ambos será la superficie a rellenar.
- Nos basaremos en la formulación de cubicación de Puig Adam para obtener el volumen necesario.

Dicha formulación es la siguiente:

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

Figura 9: Fórmula de Puig Adam.

Donde,

- S_i : es el área de relleno de cada perfil transversal i.
- D_{i-j} : distancia entre perfiles, 35 metros.



Figura 10: Secciones transversales aproximadas.

En la siguiente tabla se muestra la arena necesaria por perfil y multiplicando por la longitud obtenemos el volumen necesario.

Perfil	Superficie m ²	longitud m	Volumen m ³
1	213,806	-	-
2	321,8	35	9373,105
3	224,2	35	9555
4	178,86	35	7053,55
5	171,45	35	6130,425
Volumen total			32112,08
Factor de relleno			1,2
TOTAL			38534,496

7. BIBLIOGRAFÍA

- COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER. (1984). SHORE PROTECTION MANUAL. VICKSBURG, MISSISSIPPI.
- MINISTERIO DE CULTURA, A. Y. (13 de 12 de 2015). WEB MAGRAMA. www.magrama.gob.es
- PUERTOS DEL ESTADO. (1990). ROM 02.90 ACCIONES EN EL PROYECTO DE OBRAS MARÍTIMAS Y PORTUARIAS.
- PUERTOS DEL ESTADO. (1991). ROM 0.3-91 CLIMA MARÍTIMO EN EL LITORAL ESPAÑOL.
- Aragonés, L (2015) Tesis doctoral: Procesos litorales en el área de Alicante y Valencia.

