

## **ANEJO Nº7 CÁLCULO DE ESCOLLERAS**



## ÍNDICE

### **1.- RAMPA DE ESCOLLERA PARA LOS AZUDES Nº 3 Y Nº 5**

- 1.1.- CÁLCULO DE LA ESCOLLERA QUE CONFIGURA LA RAMPA
- 1.2.- CÁLCULO DE LAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE LA ESCOLLERA
- 1.3.- CÁLCULO DE LAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE LA CAPA FILTRO
- 1.4.- CÁLCULO DEL GEOTEXTIL DE FILTRO

### **2.- CALCULO DE LA REPOSICION DE ESCOLLERAS EN LAS MARGENES DE LA ZONA DE RAMPA**



## 1.- RAMPA DE ESCOLLERA PARA LOS AZUDES N° 3 Y N° 5

En este apartado se desarrolla el cálculo estructural de la escollera de las rampas de escollera propuestas en el encauzamiento n° 3 y n° 5 del río Salubita en Tolosa. La rampa del encauzamiento n°3 de 11,30 m de longitud al 12% de pendiente longitudinal encajada aguas abajo y la rampa del encauzamiento n°5 de 11,40 m de longitud con también una pendiente del 12%.

El tamaño de la piedra y la granulometría de la escollera se determinan a partir de los datos del anejo hidráulico expuesto en el anejo n°6 de este Proyecto.

### 1.1.- CÁLCULO DE LA ESCOLLERA QUE CONFIGURA LA RAMPA

La experiencia en la construcción de escolleras y rampas en la provincia de Gipuzkoa en ríos de características similares, aun con pendientes similares a esta del 12%, nos dice que el tamaño de piedra que mejor se comporta es el que tiene un tamaño medio en torno a los 90 cm o 1 m. El espesor debe ser tal que permita la colocación de una piedra de ese tamaño medio en todo punto de la sección. Además, para favorecer la rugosidad, se precisa que los bloques de escollera sobresalgan claramente del lecho de la rampa, que irá recebada y sellada con lechada en su totalidad. Se ha estimado adecuado que los bloques sobresalgan del perfil teórico del orden de 20 cm.

Para la definición de la granulometría de la escollera, asimilamos la piedra a una esfera por lo que el tamaño medio en kilos de dicha piedra de escollera, considerando una densidad de la piedra de 2,6 Tn/m<sup>3</sup>, se encuentra de entre 300 y 700 kgs.

### 1.2.- CÁLCULO DE LAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE LA ESCOLLERA

Conocido el tamaño medio de la piedra es necesario fijar su curva granulométrica, y su espesor.

Porcentaje que pasa (%)	Peso (kg)		Tamaño (m)	
	Mínimo	Maximo	Mínimo	Maximo
100	1387	3466	1.01	1.37
50	693	1026	0.80	0.91
15	217	513	0.54	0.73

En principio se adopta el criterio expuesto en la tabla de granulometrias de FWHA señalado en su publicación "Design of Riprap Revetment" (HEC-11).

El espesor de la escollera deberá ser el mayor de los siguientes valores:

$$D_{100}$$

$$1,5 \times D_{50}$$

De acuerdo con este criterio para el presente proyecto se establece el siguiente espesor:

$$E = 1,37 \text{ mts}$$

Que es mayor que los dos valores anteriores y que cumple con la condición ratificada por la experiencia (se podrá colocar una piedra por sección).

Si se establece que las piedras deben sobresalir 20 cm, el espesor de la capa que forma la rampa deberá ser de 1,20 m.

### 1.3.- CÁLCULO DE LAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE LA CAPA FILTRO

Se va a calcular la capa de filtro de la citada escollera. Para ello se han aplicado los métodos de diseño propuestos en el libro "River and channel revetments A design manual" (1998) Manuela Escarameia. En este libro se propone en el apartado 5.3.1 pg. 130, las siguientes condiciones de filtro

$$D_{85f} \geq 0,25 D_{15c}$$

$$D_{50f} \geq 0,14 D_{50c}$$

$$D_{15f} \geq 0,14 D_{15c}$$

Donde f hace referencia al filtro y c a la escollera en este caso.

La condición de estabilidad interna del filtro es

$$D_{10f} > 0,10 D_{60f}$$

El espesor de la capa de filtro cumplirá las siguientes condiciones:

$$E_f \geq 150 \text{ mm}$$

$$E_f > 1,50 D_{50f}$$

$$E_f > 1,00 D_{100f}$$

Aplicando estas condiciones obtenemos la siguiente granulometría de las capas de filtro:

Filter filtro 1	Porcentaje que pasa (%)	Peso (kg)		Tamaño (m)	
		Mínimo	Maximo	Mínimo	Maximo
	100				
	85			<b>0.1362</b>	<b>0.1814</b>

50	<b>0.1123</b>	<b>0.1280</b>
15	<b>0.0763</b>	<b>0.1016</b>

Ef = 192 mm

<b>Filter</b> <i>filtro 2</i>	Porcentaje que pasa (%)	Peso (kg)		Tamaño (m)	
		Mínimo	Maximo	Mínimo	Maximo
	100				
	85			<b>0.0191</b>	<b>0.0254</b>
	50			<b>0.0157</b>	<b>0.0179</b>
	15			<b>0.0107</b>	<b>0.0142</b>

Ef = 150 mm

#### 1.4.- CÁLCULO DEL GEOTEXTIL DE FILTRO

Se ha dimensionado un geotextil que haga de filtro entre el terreno natural y la escollera como medida adicional de seguridad o por si se quiere simplificar el diseño, en sustitución de las dos capas de filtro.

Para ello se han aplicado los métodos de diseño propuestos en el libro "River and channel revetments A design manual" (1998) Manuela Escaramela.

Se colocará un geotextil no tejido ya que esta tipología funciona mejor como elemento filtro por disponer o cubrir una mayor gama de aperturas de poro, favoreciendo el hacer frente a ligeras variaciones locales en la granulometría del suelo.

Para la definición de la permeabilidad del geotextil la citada publicación en el apartado 5.3.2. pg. 131, propone las siguientes condiciones:

$$kg \geq M ks$$

$$ks = 0,01 (D10)^2$$

Donde ks es la permeabilidad y se obtiene en m/s y D10 se introduce en m, y M es 50 para geotextiles no tejidos.

Para el dimensionamiento del tamaño del poro, usaremos las fórmulas propuestas en la pg. 132:

$$O90 \leq 2 D90$$

Se han estimado los datos del tamaño del suelo:

$$D90 = 0,4 \text{ mm}$$

$$D10 = 0,01 \text{ mm}$$

Por tanto:

$$K_g = 5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$O_{90} \leq 0,8 \text{ mm}$$

## **2.- CALCULO DE LA REPOSICION DE ESCOLLERAS EN LAS MARGENES DE LA ZONA DE RAMPA**

En los márgenes de la rampa diseñada, la cota de excavación de su cimentación impone el desmontaje de las escolleras actuales, y por lo tanto, se proyecta la reposición de las escolleras de margen como una prolongación de la propia escollera hormigonada de la rampa.

### **PARA EL AZUD N°3**

Estas márgenes se han dimensionado como muros de escollera hormigonada, con puntera (la rampa), y con alturas establecidas según la cota actual. En consecuencia resultan muros de escollera con intradós o cara vista con un talud 1H:3V para la MI, y 1H:1.8V para la MD, y alturas máximas de 3,00 m para la MI y de 2,00 m para la MD. Las anchuras en coronación resultantes del cálculo adjunto para estas alturas oscilan entre 1,50 m y 1,70 m en función de la inclinación del paramento y altura. La cimentación de los muros, incluso la parte de rampa correspondiente a esta cimentación, irá totalmente hormigonada (30% estimado por m<sup>3</sup> de sección).

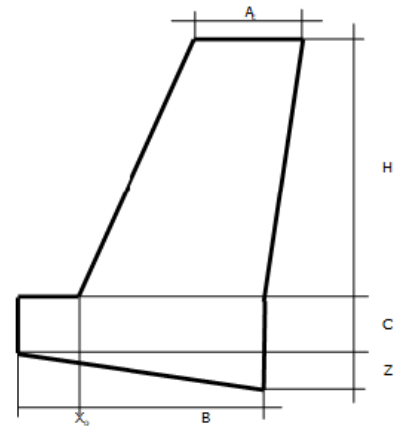


MUROS DE ESCOLLERA DE CONTENCIÓN MARGENES EN RAMPA EN AZUD 3 CON PUNTERA MI

MUROS DE ESCOLLERA MARGEN IZQUIERDA

DATOS DEL TERRENO

Densidad de la piedra de escollera	2.50 T/m <sup>3</sup>	% piedra alzado	75%
Densidad del hormigón	2.40 T/m <sup>3</sup>	% hormig. alzado	10%
Densidad del alzado	2.12 T/m <sup>3</sup>	% piedra ciment.	60%
Densidad de la cimentación	2.22 T/m <sup>3</sup>	% hormig. ciment.	30%
Densidad del muro de escollera	0.00 T/m <sup>3</sup>		
Ángulo de roz interno terreno	25.00 °	$\phi$	
Ángulo de roz terreno-trasdós	16.67 °	$\delta$	
Ángulo talud terreno sobre muro	0.00 °	$\beta$	
Ángulo trasdós del muro	14.04 °	$\alpha$	75.96
Ángulo intradós del muro	18.43		
Ángulo roz terreno cimentación	20.00 °	$\phi_{12}$	
Densidad del terreno	2.10 T/m <sup>3</sup>		
Sobrecarga en el terreno	0.00 t/m		



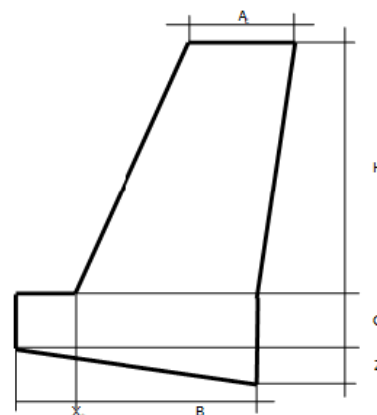
H	2.00	2.50	3.00	3.50
A	1.50	1.50	1.70	1.70
Talud trasdós	4.00	4.00	4.00	4.00
	1.00	1.00	1.00	1.00
Talud intradós	3.00	3.00	3.00	3.00
	1.00	1.00	1.00	1.00
X <sub>0</sub>	1.00	1.00	1.00	1.00
C	1.00	1.00	1.00	1.00
Talud contacto terreno-zapata	1.00	1.00	1.00	1.00
	25.00	25.00	25.00	25.00
B	1.67	1.71	1.95	1.99
Z	0.11	0.11	0.12	0.12
Peso total (W)	12.95	14.83	18.52	20.70
Componente normal (W <sub>n</sub> )	12.94	14.82	18.51	20.68
Componente tangencial (W <sub>t</sub> )	0.52	0.59	0.74	0.83
E <sub>n</sub>	2.75	3.71	4.83	6.08
E <sub>t</sub>	2.74	3.70	4.81	6.06
E <sub>h</sub>	0.24	0.32	0.41	0.52
Fuerza que prod. deslizamiento	2.22	3.11	4.07	5.23
Fuerza que resiste deslizamiento	4.80	5.51	6.89	7.72
F <sub>d</sub>	2.16	1.77	1.69	1.48 >1,5
Momento volcador (M <sub>v</sub> )	1.07	1.93	2.95	4.62
Momento estabilizador (M <sub>e</sub> )	22.73	27.51	38.30	44.87
F <sub>s</sub>	21.24	14.25	12.98	9.71 >1,8
$\sigma$ max (t/m <sup>2</sup> )	18.47	20.28	23.04	24.55 25
M <sup>3</sup> /ml. escollera en alzados	3.17	4.01	5.48	6.46
M <sup>3</sup> /ml. escollera en cimentaciones	2.82	2.86	3.13	3.17
TOTAL ESCOLLERA (m <sup>3</sup> /ml)	5.99	6.87	8.61	9.63

MUROS DE ESCOLLERA DE CONTENCIÓN MARGENES EN RAMPA EN AZUD 3 CON PUNTERA MI

**ESCOLLERA MARGEN DERECHA**

**DATOS DEL TERRENO**

Densidad de la piedra de escollera	2.50 T/m <sup>3</sup>	% piedra alzado	75%
Densidad del homigón	2.40 T/m <sup>3</sup>	% homig. alzado	10%
Densidad del alzado	2.12 T/m <sup>3</sup>	% piedra ciment.	60%
Densidad de la cimentación	2.22 T/m <sup>3</sup>	% homig. ciment.	30%
Densidad del muro de escollera	0.00 T/m <sup>3</sup>		
Ángulo de roz interno terreno	25.00 °	$\phi$	
Ángulo de roz terreno-trasdós	16.67 °	$\delta$	
Ángulo talud terreno sobre muro	0.00 °	$\beta$	
Ángulo trasdós del muro	19.65 °	$\alpha$	70.35
Ángulo intradós del muro	29.05		
Ángulo roz terreno cimentación	20.00 °	$\phi_{1,2}$	
Densidad del terreno	2.10 T/m <sup>3</sup>		
Sobrecarga en el terreno	0.00 t/m		



H	2.00	2.50	3.00	3.50
A	1.50	1.50	1.70	1.70
Talud trasdós	2.80	2.80	2.80	2.80
	1.00	1.00	1.00	1.00
Talud intradós	1.80	1.80	1.80	1.80
	1.00	1.00	1.00	1.00
X <sub>0</sub>	1.00	1.00	1.00	1.00
C	1.00	1.00	1.00	1.00
Talud contacto terreno-zapata	1.00	1.00	1.00	1.00
	25.00	25.00	25.00	25.00
B	1.90	2.00	2.30	2.39
Z	0.12	0.12	0.13	0.14
Peso total (W)	14.00	16.30	20.49	23.19
Componente normal (W <sub>n</sub> )	13.99	16.29	20.47	23.17
Componente tangencial (W <sub>t</sub> )	0.56	0.65	0.82	0.93
E <sub>n</sub>	2.44	3.29	4.28	5.40
E <sub>t</sub>	2.44	3.29	4.28	5.40
E <sub>z</sub>	-0.03	-0.04	-0.05	-0.07
Fuerza que prod. deslizamiento	1.88	2.64	3.46	4.47
Fuerza que resiste deslizamiento	5.08	5.91	7.43	8.41
F <sub>s</sub>	2.70	2.24	2.15	1.88 >1,5
Momento volcador (M <sub>v</sub> )	1.42	2.43	3.64	5.45
Momento estabilizador (M <sub>e</sub> )	27.20	34.28	48.66	58.65
F <sub>r</sub>	19.15	14.11	13.37	10.76 >1,8
c max (t/m <sup>2</sup> )	18.27	20.08	22.79	24.48 25
M <sup>3</sup> /ml. escollera en alzados	3.40	4.37	6.00	7.16
M <sup>3</sup> /ml. escollera en cimentaciones	3.07	3.18	3.52	3.62
TOTAL ESCOLLERA (m <sup>3</sup> /ml)	6.47	7.55	9.52	10.78

**PARA EL AZUD N°5**

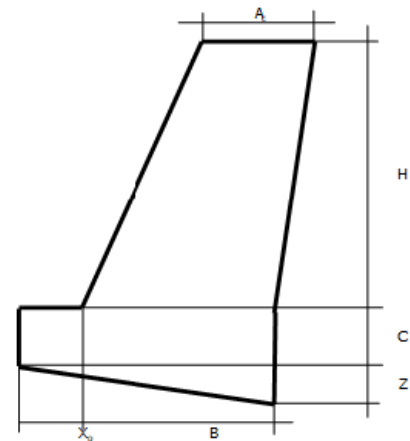
Al igual que para el azud n°3 las márgenes se han dimensionado como muros de escollera hormigonada, con puntera (la rampa), y con alturas establecidas según la cota actual. En consecuencia resultan muros de escollera con intradós o cara vista con un talud 1H:3V para la MI y MD, y también 1H:3V para el trasdós, y alturas máximas de 2,50 m para la MI y de 2,00 m para la MD. Las anchuras en coronación resultantes del cálculo adjunto para estas alturas oscilan entre 1,50 m y 1,70 m en función de la inclinación del paramento y altura. La cimentación de los muros, incluso la parte de rampa correspondiente a esta cimentación, irá totalmente hormigonada (30% estimado por m<sup>3</sup> de sección).

MUROS DE ESCOLLERA DE CONTENCIÓN MARGENES EN RAMPA EN AZUL 5 CON PUNTERA

MUROS DE ESCOLLERA MARGEN IZQUIERDA y DERECHA

DATOS DEL TERRENO

Densidad de la piedra de escollera	2.50 T/m <sup>3</sup>	% piedra alzado	75%
Densidad del homigón	2.40 T/m <sup>3</sup>	% homig. alzado	10%
Densidad del alzado	2.12 T/m <sup>3</sup>	% piedra ciment.	60%
Densidad de la cimentación	2.22 T/m <sup>3</sup>	% homig. ciment.	30%
Densidad del muro de escollera	0.00 T/m <sup>3</sup>		
Ángulo de roz interno terreno	25.00 °	φ	
Ángulo de roz terreno-trasdós	16.67 °	δ	
Ángulo talud terreno sobre muro	0.00 °	β	
Ángulo trasdós del muro	18.43 °	α	71.57
Ángulo intradós del muro	18.43 °		
Ángulo roz terreno cimentación	20.00 °	φ <sub>tz</sub>	
Densidad del terreno	2.10 T/m <sup>3</sup>		
Sobrecarga en el terreno	0.00 t/m		



H	2.00	2.50	3.00	3.50
A	1.50	1.70	1.70	2.00
Talud trasdós	3.00	3.00	3.00	3.00
	1.00	1.00	1.00	1.00
Talud intradós	3.00	3.00	3.00	3.00
	1.00	1.00	1.00	1.00
X <sub>0</sub>	1.00	1.00	1.00	1.00
C	1.00	1.00	1.00	1.00
Talud contacto terreno-zapata	1.00	1.00	1.00	1.00
	25.00	25.00	25.00	25.00
B	1.50	1.70	1.70	2.00
Z	0.10	0.11	0.11	0.12
Peso total (W)	12.18	15.30	17.10	21.87
Componente normal (W <sub>n</sub> )	12.17	15.29	17.09	21.85
Componente tangencial (W <sub>t</sub> )	0.49	0.61	0.68	0.87
E <sub>n</sub>	2.48	3.36	4.36	5.51
E <sub>t</sub>	2.48	3.36	4.36	5.51
E <sub>z</sub>	0.02	0.03	0.04	0.05
Fuerza que prod deslizamiento	1.99	2.75	3.68	4.64
Fuerza que resiste deslizamiento	4.44	5.58	6.23	7.97
F <sub>s</sub>	2.23	2.03	1.69	1.72
Momento volcador (M <sub>v</sub> )	1.31	2.15	3.44	4.74
Momento estabilizador (M <sub>e</sub> )	20.66	29.02	34.03	49.10
F <sub>r</sub>	15.77	13.50	9.89	10.36
e max (ltm <sup>2</sup> )	18.20	20.86	22.47	25.96
				25
M <sup>3</sup> /ml escollera en alzados	3.00	4.25	5.10	7.00
M <sup>3</sup> /ml escollera en cimentaciones	2.63	2.84	2.84	3.18
TOTAL ESCOLLERA (m <sup>3</sup> /ml)	5.63	7.09	7.94	10.18