
ANEJO Nº II

CÁLCULO HIDROLÓGICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE

1.-INTRODUCCIÓN

Para evitar en lo posible los procesos de erosión causados por la escorrentía superficial sobre las superficies restauradas, así como la inestabilidad que un aumento en el contenido de agua en los materiales produce en los taludes, se proyecta realizar un sistema de drenaje que reconduzca las aguas hacia la red de drenaje natural sin producir encharcamientos ni procesos erosivos.

2.-ELEMENTOS DEL SISTEMA DE DRENAJE

Los elementos del sistema de drenaje previsto se exponen a continuación:

2.1.-Cunetas perimetrales

Cunetas perimetrales: canalizaciones que se situarán perimetralmente al hueco minero que tienen como finalidad la de interceptar las aguas de escorrentía que discurren por los terrenos situados a cotas superiores a la explotación, y reconducirlas hacia los bordes externos de la misma, para evitar su entrada en el ámbito de la restauración, disminuyendo así el riesgo de erosión.

Estas cunetas perimetrales se han localizado en los límites de la explotación en los que, del estudio de la topografía de las cuencas de drenaje, se deduce que son zonas de posible entrada de las aguas desde los terrenos situados a mayor cota. Se construyen excavadas en el terreno en las cabeceras de los taludes superiores, a una distancia mínima entre 1 y 2 metros de la coronación del talud, para evitar la aparición de grietas. Se establecerá así mismo, un pequeño caballón aguas abajo de la cuneta perimetral, que sirva también de barrera natural en momentos puntuales en los que la intensidad de las lluvias pueda sobrepasar la capacidad de desagüe de la cuneta proyectada. Serán dotadas longitudinalmente con pendientes máximas del 40 % acorde con los terrenos, hasta conducir adecuadamente las aguas a las bajantes de talud.

2.2.-Obras de evacuación de las aguas de la zona restaurada

En este apartado se incluyen las estructuras cuya misión principal es interceptar las aguas de escorrentía dentro de la zona restaurada, encauzarlas y conducir las con velocidad no erosiva hasta los puntos de desagüe a los cauces naturales.

- **Cunetas a pie de talud:** el abanalamiento diseñado para la topografía final de restauración permite que las bermas ejerzan de superficies de intercepción del agua precipitada sobre la zona restaurada, por lo que la superficie de dichas bermas será dotada de una contrapendiente del 2 % hacia su parte interior para conducir el agua que escurre por su cuenca hasta una cuneta construida a pie de talud, que también recogerá el agua caída sobre el propio talud. Así mismo, estas bermas tendrán una pendiente lateral del 1% que permita el desagüe de estas cunetas hasta una bajante de talud.
- **Bajantes de talud y dren plaza de cantera:** son canales excavados sobre los taludes que, descendiendo a lo largo del perfil de restauración, van recogiendo el agua de las cuentas perimetrales y cunetas a pie de talud hasta la plaza de cantera, la cual atravesarán hasta desaguar en las balsas de sedimentación.

3.-CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE DRENAJE

3.1.-Excavación de los canales y balsas

Las obras para la intercepción de las aguas de escorrentía y evitar su entrada en el hueco minero, tales como las cuentas perimetrales, se llevarán a cabo previamente a la afección del área por las labores mineras. Las obras para la evacuación de las aguas fuera de la zona restaurada, se irán realizando a medida que se vaya constituyendo el perfil final de restauración.

Todos estos canales serán excavados en el terreno con las secciones y dimensiones justificados en el presente Anejo nº 2 "Cálculo hidrológico de las obras de drenaje", a partir de los datos hidrológicos de la zona, de la fisiografía correspondiente al relieve final de restauración, y de valoración de los sedimentos producidos por la pérdida de suelo por erosión hídrica.

4.-DESARROLLO METODOLÓGICO

4.1.-Calculo hidrológico

La elección del método de estimación de los caudales de avenida asociados a distintos períodos de retorno depende en gran parte del tamaño y la naturaleza de la cuenca receptora.

En el caso que nos ocupa, para el cálculo del caudal punta es de aplicación el método propuesto por la Instrucción 5.2-*IC Drenaje Superficial*, que se basa en la siguiente expresión:

$$Q = \frac{C \cdot I_t \cdot A}{K}$$

donde:

- Q : Caudal máximo previsible en la sección de desagüe (m³/s)
- C : Coeficiente medio de escorrentía de la cuenca
- I_t : Intensidad media de lluvia (mm/h) para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca (T_c) previsible en un periodo de retorno considerado de 50 años.
- A : Superficie del área a desaguar (Has)
- K : Coeficiente que depende de las unidades en que se expresen Q y A, y que incluye un aumento del 20 % en Q para tener en cuenta el efecto de las puntas de precipitación. Su valor está dado por la tabla siguiente:

Q en	A en		
	Km ²	Ha	m ²
m ³ /s	3	300	3.000.000
l/s	0,003	0,3	3.000

Tabla 1: Valores de K

Por tanto, la fórmula final de aplicación es:

$$Q = \frac{C \cdot I_t \cdot A}{300}$$

4.1.1.-Intensidad media de la precipitación

La intensidad media I_t de precipitación a emplear en la estimación de caudales de referencia por métodos hidrometeorológicos se puede obtener mediante la fórmula:

$$\frac{I_t}{I_d} = \left[\frac{I_1}{I_d} \right]^{\frac{28^{0,1} - T_c^{0,1}}{28^{0,1} - 1^{0,1}}}$$

- I_t (mm/h): intensidad media de precipitación, correspondiente al periodo de retorno considerado, en un periodo de tiempo igual al de concentración.
- I_d (mm/h): intensidad media diaria de precipitación, correspondiente al periodo de retorno considerado.
- I_1 (mm/h): intensidad horaria de precipitación correspondiente a dicho período de retorno
- T_c (horas): duración del intervalo al que se refiere I_t (típicamente, el tiempo de concentración)
- I_1/I_d : relación entre la intensidad horaria máxima y la intensidad horaria media para el periodo de retorno considerado.

4.1.1.1.-Tiempo de concentración de la cuenca

Se define así al tiempo que invierte el agua de escorrentía en recorrer el trayecto existente entre el punto hidráulicamente más distante y el punto en estudio, en este caso el punto de salida de la red de drenaje. Este tiempo depende fundamentalmente de la pendiente, siendo prácticamente independiente del volumen, duración e intensidad de las lluvias. El tiempo de concentración se deduce de la siguiente expresión:

$$T_c = 0,3 \cdot \left(\frac{L}{J^{1/4}} \right)^{0,76}$$

siendo:

- L (km): longitud del cauce principal
- J (m/m): pendiente neta
- T_c (h): tiempo de concentración

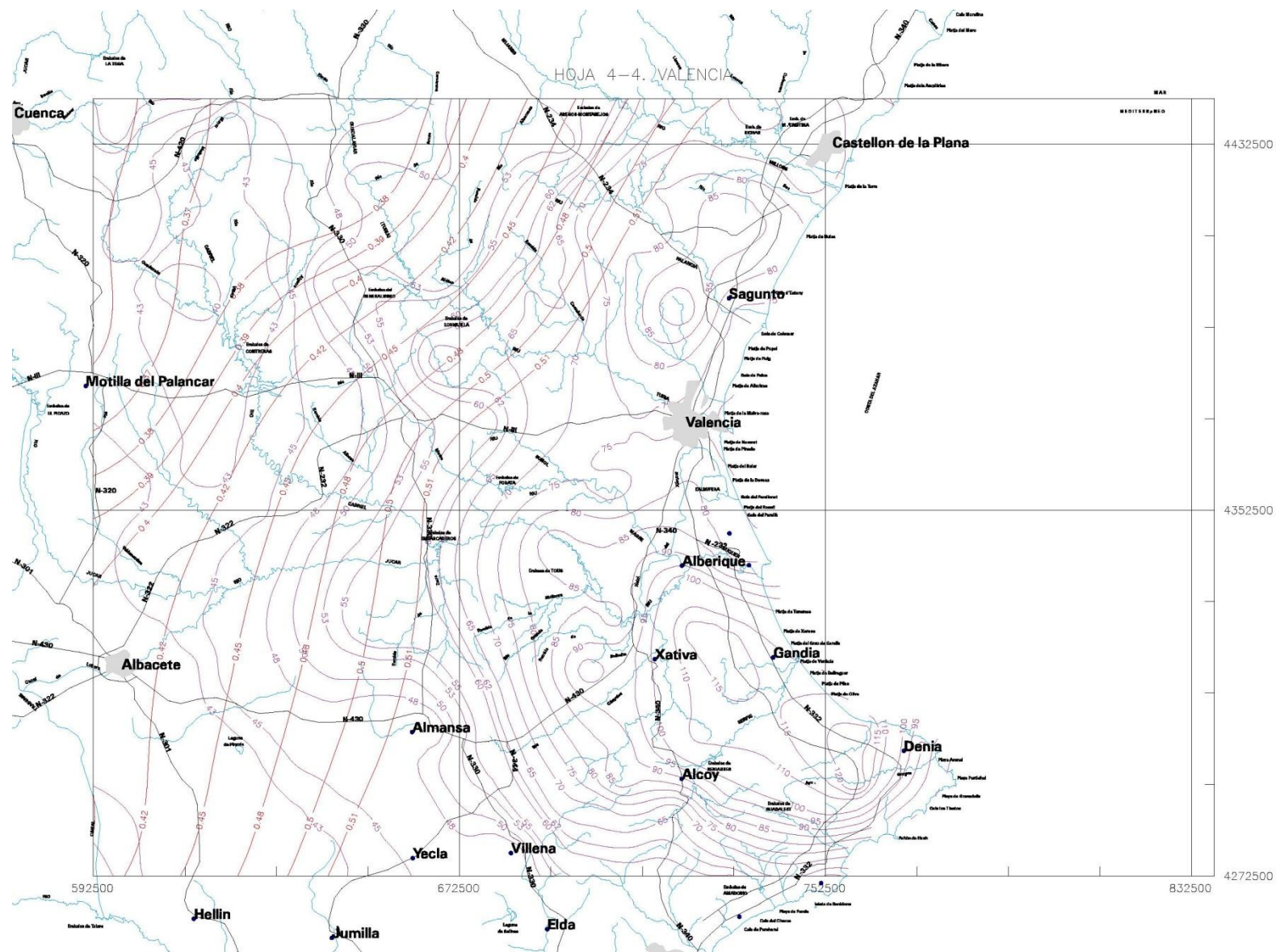
4.1.1.2.-Intensidad media diaria de precipitación

Se calcula mediante la expresión: $I_d = \frac{P_d}{24}$ donde:

- P_d (mm): precipitación total diaria correspondiente al periodo de retorno. Se puede obtener de los mapas contenidos en la publicación "*Máximas lluvias diarias en la España Peninsular*", de la Dirección General de Carreteras, según la metodología propuesta, aplicando la fórmula:
- $P_d = K_T \cdot \bar{P}$
- K_T : factor de amplificación que viene tabulado en la figura 4, en función del periodo de retorno y de C_v .
- C_v : coeficiente de variación, representado por las líneas rojas en la figura 1 (mapa de lluvias máximas diarias)
- \bar{P} : valor medio de la máxima precipitación diaria anual, representado por las líneas moradas en la figura 1 (mapa de lluvias máximas diarias)

En nuestro caso tenemos que:

- En el mapa se obtiene que $\bar{P} = 60$ mm/día y $C_v = 0,45$
- En la tabla 2 se obtiene que para $T = 50$ años $K_T = 2,251$
- Multiplicando se obtiene que $P_d = 2,251 \times 60 = 135,06$ mm/día



C _v	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS (T)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
0.30	0.935	1.194	1.377	1.625	1.823	2.022	2.251	2.541
0.31	0.932	1.198	1.385	1.640	1.854	2.068	2.296	2.602
0.32	0.929	1.202	1.400	1.671	1.884	2.098	2.342	2.663
0.33	0.927	1.209	1.415	1.686	1.915	2.144	2.388	2.724
0.34	0.924	1.213	1.423	1.717	1.930	2.174	2.434	2.785
0.35	0.921	1.217	1.438	1.732	1.961	2.220	2.480	2.831
0.36	0.919	1.225	1.446	1.747	1.991	2.251	2.525	2.892
0.37	0.917	1.232	1.461	1.778	2.022	2.281	2.571	2.953
0.38	0.914	1.240	1.469	1.793	2.052	2.327	2.617	3.014
0.39	0.912	1.243	1.484	1.808	2.083	2.357	2.663	3.067
0.40	0.909	1.247	1.492	1.839	2.113	2.403	2.708	3.128
0.41	0.906	1.255	1.507	1.854	2.144	2.434	2.754	3.189
0.42	0.904	1.259	1.514	1.884	2.174	2.480	2.800	3.250
0.43	0.901	1.263	1.534	1.900	2.205	2.510	2.846	3.311
0.44	0.898	1.270	1.541	1.915	2.220	2.556	2.892	3.372
0.45	0.896	1.274	1.549	1.945	2.251	2.586	2.937	3.433
0.46	0.894	1.278	1.564	1.961	2.281	2.632	2.983	3.494
0.47	0.892	1.286	1.579	1.991	2.312	2.663	3.044	3.555
0.48	0.890	1.289	1.595	2.007	2.342	2.708	3.098	3.616
0.49	0.887	1.293	1.603	2.022	2.373	2.739	3.128	3.677
0.50	0.885	1.297	1.610	2.052	2.403	2.785	3.189	3.738
0.51	0.883	1.301	1.625	2.068	2.434	2.815	3.220	3.799
0.52	0.881	1.308	1.640	2.098	2.464	2.861	3.281	3.860

Tabla 2: Factores de amplificación KT "Mapa para el cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular"

4.1.1.3.-Relación I_1/I_d

Este valor se puede obtener del Mapa de isólinas de la Figura 2.

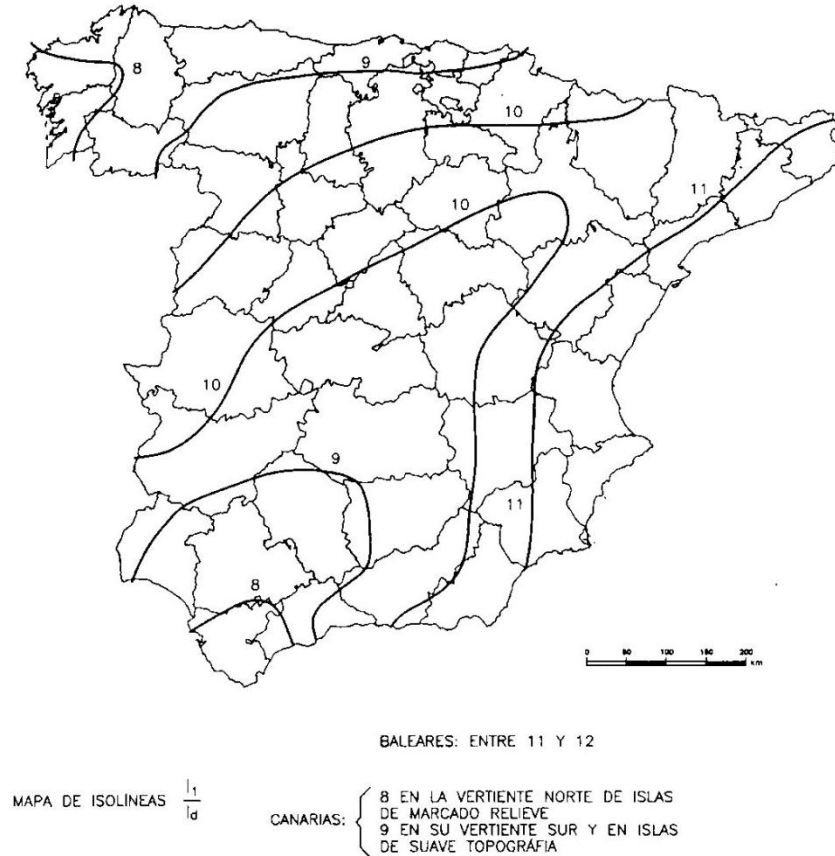


Figura 2: Mapa de isólinas I_1/I_d (Instrucción 5.2. IC)

Con este valor, conocida la duración del aguacero (T_c), en el ábaco que se muestra (Figura 3) se obtendrá un valor de I/I_d y, como $I_d = P_d/24$, se podrá calcular el valor de la intensidad media de precipitación I , que se empleará para obtener el caudal de referencia.

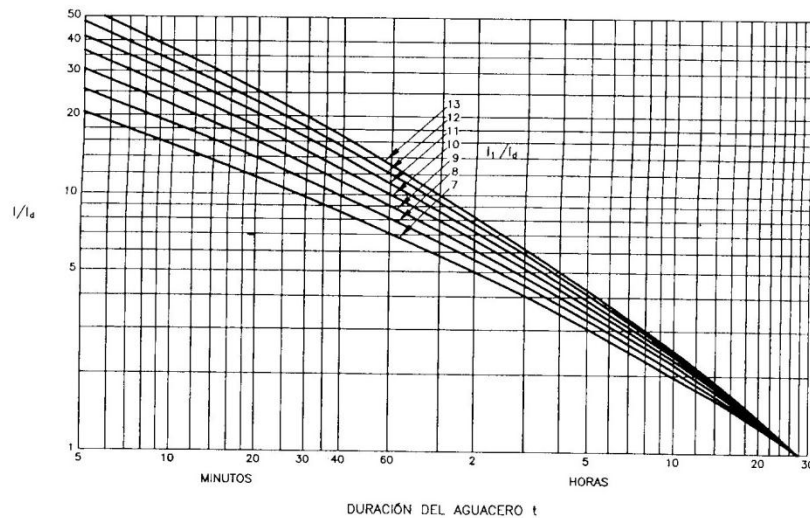


Figura 3: Ábaco para el cálculo de la intensidad media de precipitación I (Instrucción 5.2 – IC)

4.1.2.-Coeficiente medio de escorrentía de la cuenca

El parámetro C se ha calculado a partir del método utilizado en la *Instrucción de Carreteras (Instrucción 5.1. - IC sobre drenaje, M. O. P. U., 14/05/1990)*.

El coeficiente C de escorrentía define la proporción de la componente superficial de la precipitación de intensidad I, y depende de la razón entre la precipitación diaria P_d correspondiente al período de retorno y al umbral de escorrentía P_0 , a partir del cual se inicia ésta.

$$C = \frac{\left(\frac{P_d}{P_0} - 1\right) \left(\frac{P_d}{P_0} + 23\right)}{\left(\frac{P_d}{P_0} + 11\right)^2}$$

P_0 : (umbral de escorrentía) es la precipitación mínima necesaria para que se produzca la escorrentía superficial.

Las cuencas heterogéneas se dividirán en áreas parciales cuyos coeficientes de escorrentía se calcularán por separado, obteniéndose a continuación el valor promedio del coeficiente de escorrentía:

$$C = \frac{\sum_i C_i \cdot A_i}{A}$$

4.1.2.1.-Umbral de escorrentía P₀

Es la precipitación mínima necesaria para que se produzca la escorrentía superficial. Su valor puede obtenerse de la Tabla 3, multiplicando los valores en ella contenidos por el coeficiente corrector dado en la figura 4.

USO DE LA TIERRA	PENDIENTE (%)	CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS	GRUPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	>3	R N	15 17	8 11	6 8	4 6
	<3	R/N	20	14	11	8
Cultivos en hileras	>3	R N	23 25	13 16	8 11	6 8
	<3	R/N	28	19	14	11
Cereales en invierno	>3	R N	29 32	17 19	10 12	8 10
	<3	R/N	34	21	14	12
Rotación de cultivos pobres	>3	R N	26 28	15 17	9 11	6 8
	<3	R/N	30	19	13	10
Rotación de cultivos densos	>3	R N	37 42	20 23	12 14	9 11
	<3	R/N	47	25	16	13
Praderas	>3	Pobre	24	14	8	6
		Media	53	23	14	9
		Buena	*	33	18	13
		Muy buena	*	41	22	15
<3	Pobre	58	25	12	7	
	Media	*	35	17	10	
	Buena	*	*	22	14	
	Muy buena	*	*	25	16	
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	>3	Pobre	62	26	15	10
		Media	*	34	19	14
		Buena	*	42	22	15
		<3	Pobre	*	34	19
Masas forestales (bosques, monte bajo, etc.)	>3	Muy clara	40	17	8	5
		Clara	60	24	14	10
		Media	*	34	22	16
		Espesa	*	47	31	23
<3	Muy espesa	*	65	43	33	
			UMBRAL DE ESCORRENTÍA (mm)			
	TIPO DE TERRENO	PENDIENTE (%)				
	Rocas permeables	>3	3			
<3		5				
Rocas impermeables	>3	2				
	<3	4				
Firmes granulares sin pavimento		2				
Adoquinados		1.5				
Pavimentos bituminosos o de hormigón		1				

- Notas: 1. N: Denota cultivo según las curvas de nivel.
 R: Denota cultivo según la línea de máxima pendiente.
 2. *: Denota que esa parte de la cuenca debe considerarse inexistente a efectos de cálculo de caudales de avenida.
 3. Las zonas abancaladas se incluirán entre las de pendiente menor del 3 %.

Fuente: Instrucción 5.2 - IC

Tabla 3: Estimación inicial del umbral de escorrentía P0 (mm)



Figura 4: Mapa del coeficiente corrector del umbral de escorrentía (Instrucción 5.2-IC)

Para el uso de la tabla 3 los suelos se clasifican de acuerdo con los grupos de la tabla 4, en cuya diferenciación interviene la textura definida por la figura 5.

GRUPO	INFILTRACIÓN (1)	POTENCIA	TEXTURA	DRENAJE
A	Rápida	Grande	Arenosa Areno - limosa	Perfecto
B	Moderada	Mediana a grande	Franco - arenosa Franca Franco - arcillosa - arenosa Franco - limosa	Bueno a moderado
C	Lenta	Mediana a pequeña	Franco - arcillosa Franco - arcillo - limosa Arcillo - arenosa	Imperfecto
D	Muy lenta	Pequeño (litosuelo) u horizontes de arcilla	Arcillosa	Pobre o muy pobre

Notas : Los terrenos con nivel freático alto se incluirán en el Grupo D.

(1) Cuando están muy húmedos.

Fuente: Instrucción 5.2 - IC.

Tabla 4: Clasificación de suelos afectados del umbral de escorrenría

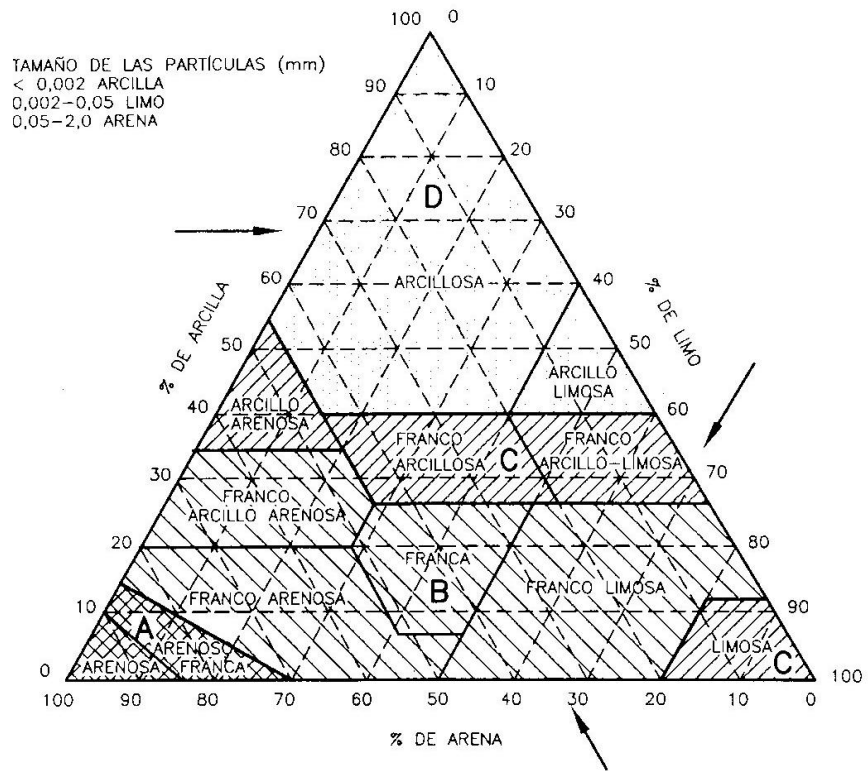


Figura 5: Diagrama triangular para determinación de la textura y clasificación de suelos a efectos del umbral de escorrentía (Instrucción 5.2 – IC)

4.2.-Cálculo hidráulico de la sección del canal

Una vez se ha determinado el caudal máximo a evacuar (Q), se ha de delimitar la sección del canal (S) que asegure que la velocidad alcanzada por el agua esté comprendida dentro de un rango de valores admisibles para que no se produzcan problemas de erosión y que no de lugar a depósitos de sedimentos.

De este modo, los límites de velocidades serán los siguientes:

- Vmínima = 0,25 m/s (Instrucción de Carreteras 5.1-IC; apartado 5.2.1.1.),
- Vmáxima = en función de la naturaleza del material de la superficie del canal

NATURALEZA DE LA SUPERFICIE	Máxima velocidad admisible (m/s)
Arena fina o limo (poca o ninguna arcilla)	0,20-0,60
Arena arcillosa dura, margas duras	0,60-0,90
Terreno parcialmente cubierto de vegetación	0,60-1,20
Arcilla, grava, pizarras blandas con cubierta vegetal	1,20-1,50
Hierba	1,20-1,80
Conglomerado, pizarras duras, rocas blandas	1,40-2,40
Mampostería, rocas duras	3,00-4,50
Hormigón	4,50-6,00

Tabla 5. Velocidad máxima admisible en función de la naturaleza del canal (tabla 1.3 de la Instrucción de Carreteras 5.2-IC).

Para el dimensionamiento hidráulico de la sección de elementos lineales, donde la pérdida de energía es debida al rozamiento con cauces o conductos de paredes rugosas en régimen turbulento, la *Instrucción de Carreteras 5.2 – IC*, recomienda utilizar la fórmula de Manning-Strickler, representada en la figura 6:

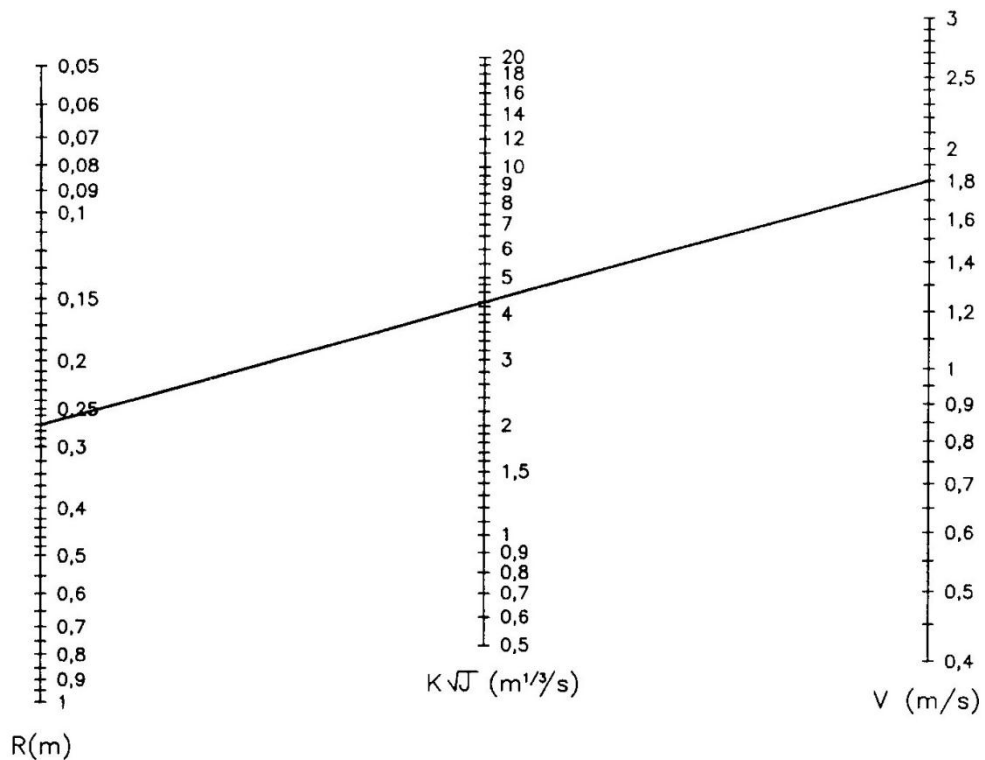
$$Q = V \cdot S = S \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \cdot K \cdot U$$

en la cual:

- Q (m³/s) = caudal desaguado
- V (m/s) = velocidad media de la corriente
- S (m²) = área de la sección
- R (m) = radio hidráulico = S/p

- p (m)= perímetro mojado
- J = pendiente de la línea de energía. Donde el régimen pueda considerarse uniforme se tomará igual a la pendiente longitudinal del elemento, expresada en tanto por uno.
- K = coeficiente de rugosidad (Tabla 5)
- U = coeficiente de conversión, que depende de las unidades en que se midan Q , S y R (Tabla 6).

Figura 6: Fórmula de Manning-Strikler (Instrucción 5.2 – IC)



La sección empleada será trapezoidal, triangular o parabólica, según las diferentes canalizaciones, cuyos parámetros característicos están representados en la siguiente figura.

Figura 7: Area, perímetro mojado, radio hidráulico y anchura para distintas secciones

SECCIÓN	AREA S DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	PERÍMETRO MOJADO p	RADIO HIDRÁULICO R=S/p	ANCHURA EN LA PARTE SUPERIOR
<p>TRAPEZOIDAL</p>	$S=bd+Zd^2$	$p=b+2d\sqrt{Z^2+1}$	$R=\frac{bd+Zd^2}{b+2d\sqrt{Z^2+1}}$	$t=b+2dZ$ $T=b+2dZ$
<p>TRIANGULAR</p>	$S=Zd^2$	$p=2d\sqrt{Z^2+1}$	$R=\frac{Zd}{2\sqrt{Z^2+1}}$ $R=\frac{d}{2}$ (aprox.)	$t=2dZ$ $T=\frac{D}{d}t$
<p>PARABÓLICA</p>	$S=\frac{2}{3}td$	$S=t+\frac{8d^2}{3t}$	$R=\frac{t^2d}{1,5t^2+4d^2}$ $R=\frac{2d}{3}$ (aprox.)	$t=\frac{3}{2}\frac{S}{d}$ $T=t\left(\frac{D}{d}\right)^{1/2}$

NOTA: MARGEN LIBRE=D-d PARA TODAS LAS SECCIONES

Tabla 5: Coeficiente de rugosidad K (tabla 4.1 de la Instrucción 5.2. IC)

CONDUCTO		K (m ^{1/3} /s)
En tierra desnuda:	Superficie uniforme	40 - 50
	Superficie irregular	30 - 50
En tierra:	Con ligera vegetación	25 - 30
	Con vegetación espesa	20 - 25
En roca:	Superficie uniforme	30 - 35
	Superficie irregular	20 - 30
Fondo de grava:	Cajeros de hormigón	50 - 60
	Cajeros encachados	30 - 45
Encachado		35 - 50
Revestimiento bituminoso		65 - 75
Hormigón proyectado		45 - 60
Tubo corrugado:	Sin pavimentar	30 - 40
	Pavimentado	35 - 50
Tubo de fibrocemento:	Sin juntas	100
	Con juntas	85
Tubo de hormigón		60 - 75
<p>Nota: Los valores superiores de la Tabla se refieren a un conducto corto recién construido, mientras que los inferiores tienen en cuenta su envejecimiento, pequeñas irregularidades, ligeros defectos de limpieza, pequeños cambios de dirección y forma, así como el paso de conductos a través de arquetas cuyo fondo tenga una forma favorable al flujo del agua (por conservar la sección del conducto en su parte inferior), siempre que estos obstáculos sean locales y limitados, el conducto no sea muy corto y la velocidad no sea muy grande. Estos valores inferiores pueden valer también para empalmes con conductos menores, siempre que se procure que el agua llegue por arriba y, a ser posible, oblicuamente de modo que se incorpore en la dirección del conducto principal.</p>		

Fuente: Instrucción 5.2 - IC.

Tabla 6: Coeficiente de conversión U

Q	S	R	U
m ³ /s	m ²	m	1/1.000
l/s	dm ²	dm	464.159

Fuente: Instrucción 5.2 - IC.

5.-DIMENSIONADO DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE DRENAJE

Los cálculos para el dimensionado de los elementos de la red de drenaje descritos anteriormente se realizan a continuación, en base al caudal máximo previsible a desaguar en la cuenca drenante y la velocidad máxima admitida por el lecho del canal para evitar problemas de erosión.

Se realiza el cálculo del caudal punta de desagüe para cada uno de los componentes de evacuación, siguiendo la metodología expuesta en el anterior apartado, para un periodo de retorno de 50 años.

5.1.-Cunetas perimetrales

Las cunetas perimetrales al hueco de explotación recogen el agua de una cuenca igual a la cuenca de terreno natural situada por encima de cada uno de los tramos de perímetro de explotación. Tomando la cuenca de mayor superficie con el fin de mayorar el dimensionado de las canalizaciones, tendremos que $A = 0,635$ hectáreas.

Esta cuenca de drenaje se caracteriza por tener una longitud máxima de 0,13 Km y una pendiente máxima del 43 %, con lo que el Tiempo de Concentración de la cuenca resulta de 0,075 horas. El suelo está protegido por una masa forestal espesa, sobre un suelo de geología permeable. El coeficiente de escorrentía (C) calculado para esta cuenca es de 0,013.

Aplicando la metodología expuesta, se obtiene un caudal máximo de avenida para 50 años de periodo de retorno de $0,007 \text{ m}^3/\text{s}$.

Con la sección parabólica proyectada para estas cunetas de 0,5 m de profundidad y 1 m de anchura, se obtiene una sección del calado, que para el caudal máximo de avenida calculado, y una pendiente longitudinal máxima del canal de 45° , da velocidades menores a la velocidad máxima admitida (4,5 m/s) para el revestimiento de piedra natural que se pretende aplicar a su superficie.

5.2.-Cunetas a pie de talud

Las cunetas a pie de talud recogen el agua precipitada sobre la cuenca artificial formada por la berma sobre la que se sitúa y el talud aguas arriba. Tomando la cuenca de mayor superficie con el fin de mayorar el dimensionado de las canalizaciones, tendremos que $A = 0,12$ hectáreas.

Esta cuenca de drenaje se caracteriza por tener una longitud máxima de 0,13 Km y una pendiente máxima de los taludes de 45º, con lo que el Tiempo de Concentración de la cuenca resulta de 0,064 horas.

La cuenca presentará la vegetación correspondiente a la de restauración, considerándose a efectos de cálculo como plantaciones regulares de aprovechamiento forestal sobre un suelo de infiltración moderada. El coeficiente de escorrentía calculado para esta cuenca es de 0,023.

Aplicando la metodología expuesta, se obtiene un caudal máximo de avenida para 50 años de periodo de retorno de $0.0014 \text{ m}^3/\text{s}$.

Con la sección triangular proyectada para estas cunetas de 0,25 m de profundidad, se obtiene una sección del calado, que para el caudal máximo de avenida calculado, y una pendiente longitudinal máxima del canal del 1%, da velocidades menores a la velocidad máxima admitida (1,8 m/s) para la cobertura de gramíneas con que se sembrará su superficie.

5.3.-Bajante de talud

Las bajantes de talud colectan el agua recogida por las cunetas a pie de talud. Tomando la cuenca de mayor superficie con el fin de mayorar el dimensionado de las canalizaciones, tendremos que $A = 1,77$ hectáreas.

Esta cuenca de drenaje se caracteriza por tener una longitud máxima de 0,2 Km y una pendiente máxima del 1%, con lo que el Tiempo de Concentración de la cuenca resulta de 0,21 horas.

La cuenca presentará la vegetación correspondiente a la de restauración, considerándose a efectos de cálculo como plantaciones regulares de aprovechamiento forestal sobre un suelo de infiltración moderada. El coeficiente de escorrentía calculado para esta cuenca es de 0,017.

Aplicando la metodología expuesta, se obtiene un caudal máximo de avenida para 50 años de periodo de retorno de 0,012 m³/s.

Con la sección trapezoidal proyectada para este canal de 0,5 m de profundidad y 1m de anchura, se obtiene una sección del calado, que para el caudal máximo de avenida calculado, y una pendiente longitudinal máxima del canal de 45°, da velocidades menores a la velocidad máxima admitida (4,5 m/s) para el revestimiento de piedra natural que se pretende aplicar a su superficie.

5.4.-Balsas de sedimentación

Se han previsto dos balsas de decantación, en el punto de desagüe de las plazas de cantera, para lograr la sedimentación de los sólidos en suspensión que pueda transportar el agua recogida por las obras de drenaje antes de su evacuación a los cauces naturales de la zona. En los puntos de entrega de los canales de desagüe a las balsas de sedimentación, se dispondrán elementos de disipación de energía constituidos por bolos, de modo que el agua llegue a la balsa con energía no erosiva.

Las balsas se dimensionan en función de la tasa de erosión hídrica de la cuenca drenante, de modo que tengan un volumen suficiente para almacenar los sedimentos producidos durante 1 año.

5.4.1.-Valoración de la tasa de erosión hídrica de la cuenca drenante

El estudio cuantitativo de la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial de la cuenca drenante se ha realizado aplicando uno de los métodos más utilizados y aceptados: la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (U.S.L.E.), adaptada a las características ambientales mediterráneas por Rubio et al. (1984) y, en algunos aspectos, por Antolín et al. (1998).

Esta ecuación empírica valora y cuantifica los parámetros implicados directamente en la erosión hídrica: R (erosividad de la lluvia), K (erosionabilidad del

suelo), L (longitud de la pendiente), S (ángulo de la pendiente), C (cultivo) y P (prácticas de conservación), expresando la pérdida media de suelo en t/ha/año (A) que aporta un valor que constituye el grado de erosión.

La expresión de USLE es:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

La valoración conjunta de los parámetros antes citados, según el modelo de USLE, tipifican la **erosión actual** de cada unidad ambiental de la Comunidad Valenciana.

La predicción de las pérdidas de suelo, si desapareciera el papel protector de la cubierta vegetal, configura la **erosión potencial**. Las diferencias entre una y otra, constituyen el **riesgo de erosión**, de mayor a menor gravedad en función de sus ratios.

Para la realización de este estudio se ha consultado el mapa de "Capacidad de Uso del Suelo como Recurso Natural en la Comunidad Valenciana" (Antolín et al., 1998) de la Serie de Cartográfica Temática de la Comunidad Valenciana, realizado para la Dirección General de Urbanismo y Ordenación Territorial de la Consellería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes.

Según esta bibliografía consultada, y tal y como se muestra en el plano de "Erosión" adjunto, el grado de erosión que se da sobre las superficies desprovistas de vegetación de la mina durante la duración de las labores mineras y antes de su restauración, se estima en unas 100 tm/ha/año.

5.4.2.-Dimensionamiento

Tal y como se dijo anteriormente, se han previsto dos balsas de sedimentación, una situada en la plaza de cantera al Norte de la explotación y otra en la plataforma más al Sur de la mina, tal y como se muestra en planos.

A continuación se indica la **superficie de la cuenca drenante** a cada una de las balsas de sedimentación que han venido a denominarse Balsa Norte y Sur respectivamente:

Cuenca drenante Balsa Norte = 9,9 has

Cuenca drenante Balsa Sur = 1,46 has

Teniendo en cuenta este área drenante para cada una de las dos balsas, y siguiendo el procedimiento utilizado para el dimensionamiento de los restantes elementos de la red de drenaje, con una longitud máxima de 0,355 Km para la balsa Norte y 0,290 Km para la balsa Sur, y una pendiente máxima del 100%, el **caudal a tratar** por cada una de las balsas será de:

$$Q_{\text{Balsa Norte}} = 0.081 \text{m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{Balsa Sur}} = 0.013 \text{m}^3/\text{s}$$

La **velocidad de sedimentación** de una partícula se puede establecer mediante la ley de Stokes:

Ley de Stokes:
$$V_s = \frac{g}{18\mu} \cdot (S - 1) \cdot D^2$$

donde:

- V_s = velocidad de caída, en cm/s
- g = aceleración de la gravedad = 981 cm/s²
- μ = viscosidad cinemática del agua = 1,308 x 10⁻²cm²/s
- S = peso específico de la partícula = 2,7
- D = diámetro de la partícula, en cm

Considerando un diámetro de la partícula de 0.074 mm, se obtiene una velocidad de caída de 0,314 cm/s.

Determinada la velocidad de caída y el caudal máximo, el **área mínima de la balsa** se calculará mediante la expresión:

$$A = 1,2 \times Q / V_s$$

siendo:

- A = área requerida por la balsa, en m²
- Q = caudal máximo que entra a la balsa, en m³/s
- V_s = velocidad de caída de las partículas, en m/s
- Y por lo tanto:
- Área mínima Balsa Norte = $1,2 \times 0,081 / 0,00314 = 30,95 \text{ m}^2$
- Área mínima Balsa Sur = $1,2 \times 0,013 / 0,00314 = 4,96 \text{ m}^2$

Por lo que se refiere a la **capacidad mínima de la balsa**, ésta puede estar determinada mediante el tiempo de permanencia de las aguas en la balsa:

$$V = Q \times Tr$$

- V = capacidad de la balsa de sedimentación
- Q = caudal máximo que entra a la balsa
- Tr = tiempo de permanencia de las aguas en la balsa

$$Tr = H / V_s$$

donde:

- H = altura media de la balsa
- V_s = velocidad de caída de las partículas

Considerando una altura de la balsa de 1,5 m, se deduce un valor Tr de 477 segundos, y, por tanto, el volumen de la balsa será:

- Volumen mínimo $_{Balsa\ Norte} = Q \times Tr = 0,081 \times 477 = 39\ m^3$
- Volumen mínimo $_{Balsa\ Sur} = Q \times Tr = 0,013 \times 477 = 6,2\ m^3$

Por otro lado, las balsas previstas se han dimensionado con capacidad suficiente para albergar el **volumen de sedimentos** de su correspondiente cuenca drenante durante un año. Estimando una densidad de $1,8\ t/m^3$ para los sedimentos, se obtiene un volumen anual de sedimentos:

- Volumen sedimentos $_{Balsa\ Norte} = 100\ t/ha/año \times 9,9\ ha = 990\ t/año = 550\ m^3/año$
- Volumen sedimentos $_{Balsa\ Sur} = 100\ t/ha/año \times 1,46\ ha = 146\ t/año = 81\ m^3/año$

Suponiendo una profundidad útil de la balsa de 1 metro (más 0,5 m de rebosadero), la **superficie** ocupada por la balsa en cada una de las zonas será, al menos, de:

- Superficie $_{Balsa\ Norte} = 550\ m^2$
- Superficie $_{Balsa\ Sur} = 81\ m^2$

Se han adoptado dos balsas de decantación excavadas en tierra de 1.5 m de altura, y taludes 1H/1V, con las dimensiones de fondo indicadas a continuación; funcionarán por rebose, de forma que se devuelva el agua al sistema de drenaje natural de la zona.

- Dimensiones fondo $_{Balsa\ Norte} : 40\ m \times 15\ m$
- Dimensiones fondo $_{Balsa\ Sur} : 10\ m \times 10\ m$