



PROYECTO

MEJORA DE LA RESTAURACIÓN DE LA ZONA 4 FERTIBERIA (HUELVA)



ANEJO 6: RED DE DRENAJE SUPERFICIAL

Propiedad: Fertiberia S.A.



Ingeniería: Eptisa Servicios de Ingeniería S.L.



Fecha: Junio de 2022

Índice

ANEJO 6: RED DE DRENAJE SUPERFICIAL

1. Objeto y alcance del documento	3
2. Configuración general del drenaje superficial	4
3. Hidrología	7
4. Cálculo de caudales de escorrentía.....	9
4.1. Desarrollo teórico.....	9
4.2. Área de las cuencas de aportación	9
4.3. Intensidad de precipitación.....	11
4.3.1. Intensidad media de precipitación corregida	12
4.3.2. Factor de intensidad	13
4.4. Coeficiente de escorrentía	14
4.5. Coeficiente de uniformidad	16
4.6. Caudales máximos en cuencas	17
5. Diseño de la red de drenaje superficial	18
5.1. Configuración general	18
5.2. Dimensionamiento hidráulico	21
5.2.1. Desarrollo teórico.....	21
5.2.2. Resultados obtenidos	23
6. Conclusiones	26

1. Objeto y alcance del documento

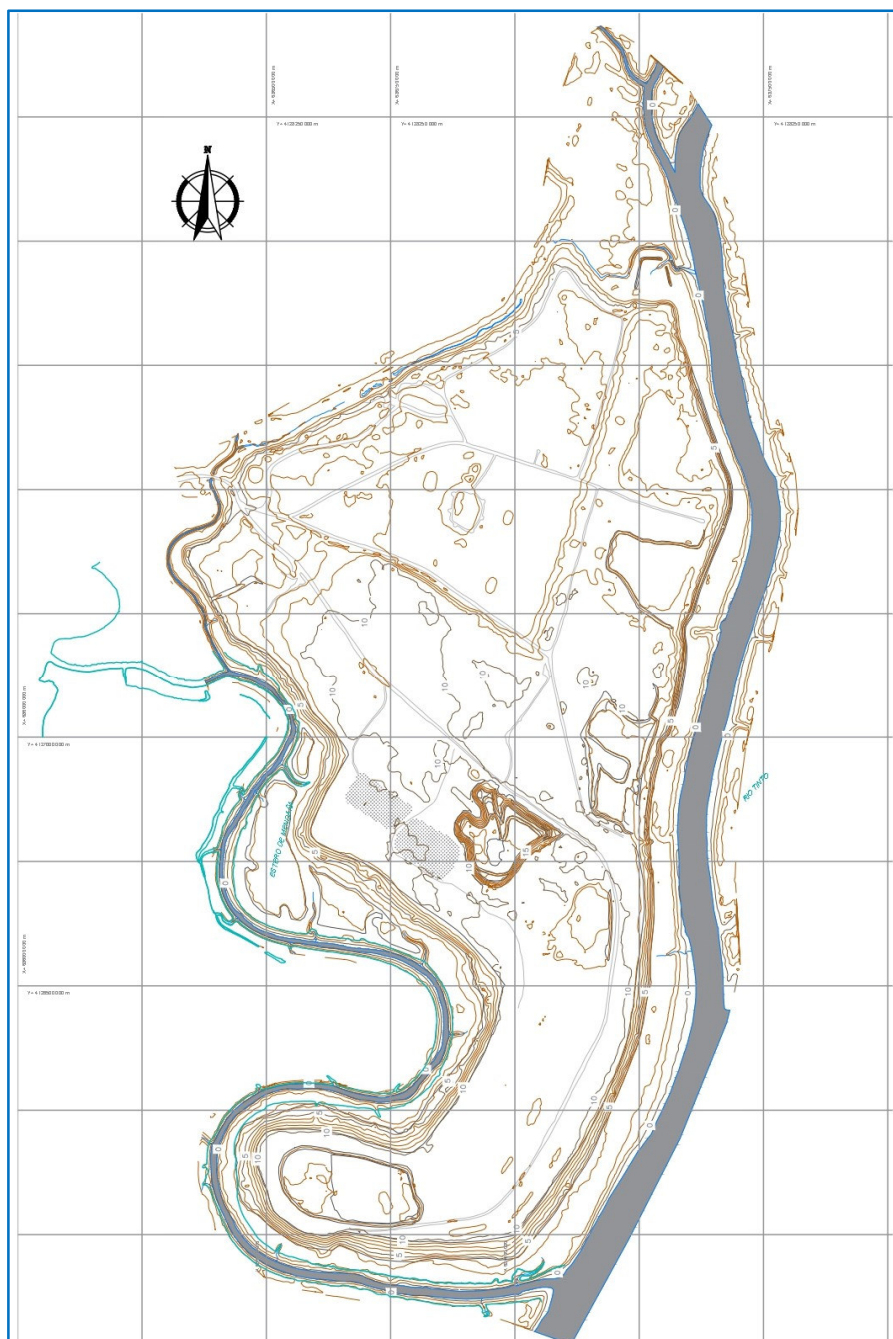
Se redacta el presente Anejo con el objetivo de, por un lado, calcular el componente hidrológico en cuanto a lluvia de proyecto se refiere en la zona de estudio (Zona 4) y, por otro, definir la red de drenaje superficial que recoja y evacúe, en determinados puntos de descarga, los caudales generados en los procesos de precipitación-escorrentía de las diversas zonas consideradas.

Para ello, se va a desarrollar en sucesivos apartados el siguiente proceso:

- Partiendo del dato de precipitación máxima diaria, cálculo de la lluvia de proyecto asociada al periodo de retorno considerado.
- Determinación de las cuencas de aportación.
- Cálculo de los caudales de escorrentía en estas cuencas de aportación.
- Definición y cálculo hidráulico de la red de drenaje superficial y de las obras de descarga, de acuerdo a los caudales recogidos por cada elemento de la red.

2. Configuración general del drenaje superficial

La superficie total de la Zona 4 es de aproximadamente 125 ha y se encuentra situada al noreste de la Zona 3 con una configuración topográfica tal y como se muestra en la siguiente imagen:



Configuración topográfica Zona 4

La red de drenaje se ha definido en dos niveles. Por un lado, unos canales o cunetas que circunvalan el perímetro exterior a modo de interceptores a pie de talud, mientras que por otro lado se han incluido una serie líneas en el interior de la actuación con el fin de facilitar el drenaje de unas áreas con un marcado carácter plano.

Así pues, en lo tocante al denominado como “Sector II”, se ha previsto la implementación de cuatro canales perimetrales (P-01, P-02, P-03 y P-04) al pie del talud exterior de forma que viertan a la Rivera de Nicoba a través de dos puntos de descarga (DS 01 y DS 02). Es decir, la correspondiente recogida de aguas pluviales de esta zona es independiente de la del resto del ámbito.

En la parte norte del “Sector I” se han incluido unas líneas de drenaje (I-01 e I-02) que facilitan la evacuación del agua de escorrentía de las tres zonas que vierten hacia el norte hacia la tubería de descarga DS 05.

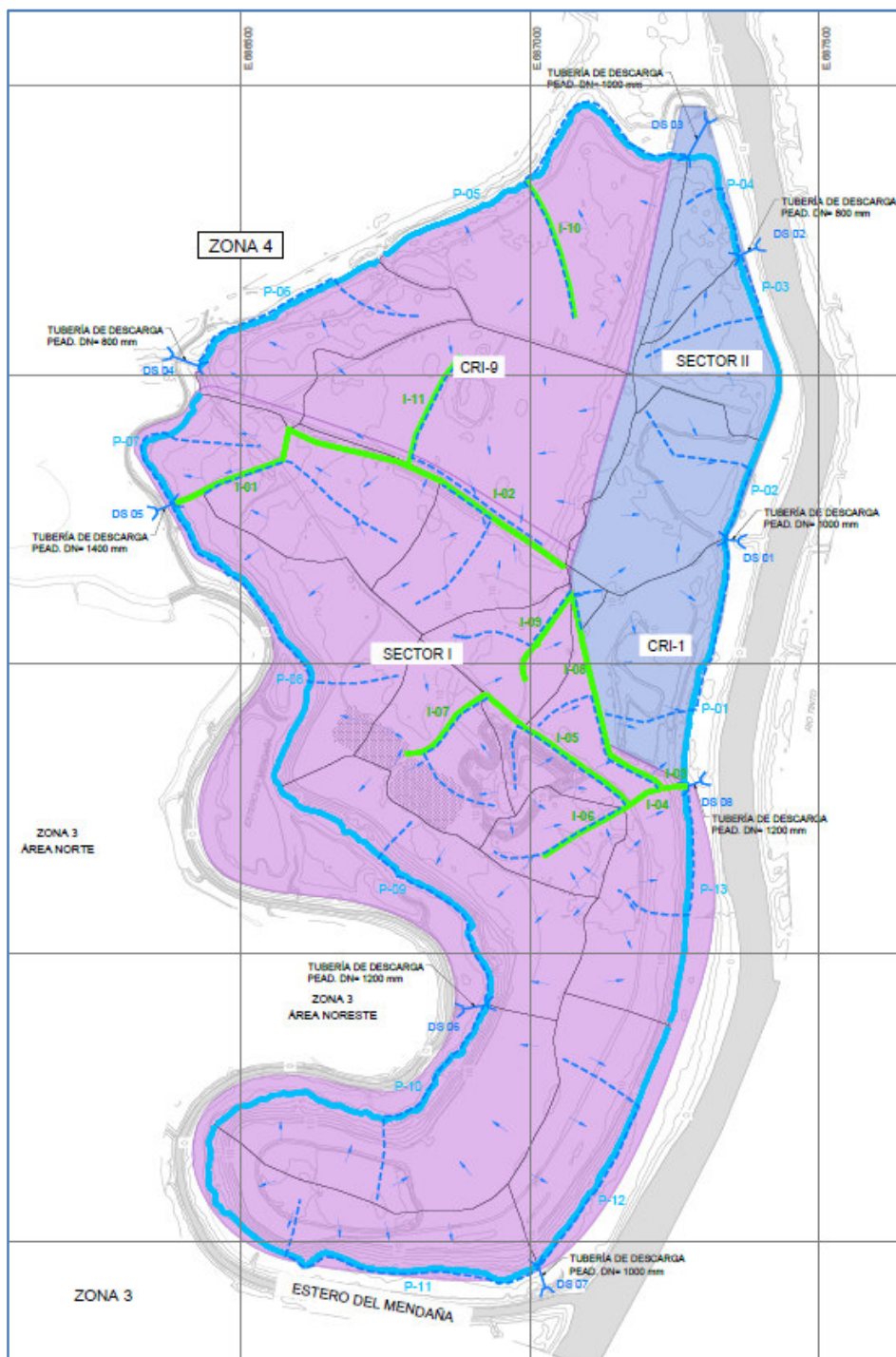
En la parte central del ámbito de actuación incluida dentro del “Sector I” se aprecian dos promontorios con materiales de diverso origen asentados sobre una base eminentemente plana, por lo que también en esta zona se ha optado por incluir una serie de líneas de drenaje que facilite la evacuación del agua de escorrentía hacia una tubería de descarga (DS 08) sita inmediatamente al sur del “Sector II”.

Las cunetas perimetrales alrededor del “Sector I” vierten las aguas pluviales al medio a través de cuatro obras de descarga (DS 05, DS 06, DS 07 y DS 08).

En lo que respecta a la zona denominada como “CRI-9”, un análisis de las condiciones topográficas indica que la porción sudoriental de la misma (CRI-08), prácticamente plana, muestra una leve tendencia a acumular la escorrentía procedente de lluvia. Es por ello que se ha planteado una línea de drenaje interior (I-11) que vierte a la línea de drenaje norte del “Sector I” evacuando el agua de escorrentía hacia la tubería de descarga DS 05 al Estero del Mendaña, que a su vez también recoge los caudales interceptados por un par de colectores perimetrales (P-07, P-08) correspondientes al denominado como “Sector I”.

Del mismo modo la línea de drenaje (I-10) del sector CRI-06 facilita la recogida de los caudales de escorrentía generados hacia el colector perimetral (P-05) situado al norte. Dos obras de descarga en los puntos más al noreste (DS 03) y más al noroeste (DS 04) de la zona “CRI-9” recogerán sendas cunetas (P-05 y P-06) que recorren el perímetro exterior de esa zona.

En la figura siguiente se aprecia el esquema de actuaciones para el drenaje superficial descrito en el párrafo anterior:



Esquema de actuaciones de drenaje superficial

3. Hidrología

El objetivo principal del componente hidrológico ha sido determinar, partiendo del dato de precipitación máxima en la zona, la lluvia de proyecto asociada a un determinado periodo de retorno.

Se ha establecido como periodo de retorno para el cálculo de caudales máximos el correspondiente a 500 años:

- $T = 500$ años.

Dado que el objeto es calcular fenómenos extremos, el dato de partida para el cálculo de la lluvia de proyecto ha sido el de la precipitación máxima diaria registrada. Para ello se ha empleado el software MAXPLUWIN, desarrollado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), a través del Ministerio de Fomento, y cuyo empleo permite obtener de forma genérica lo siguiente:

- El valor medio de la máxima precipitación diaria anual y un coeficiente de variación de la precipitación denominado en el proceso como C_v .
- Precipitación diaria máxima correspondiente a diferentes periodos de retorno partiendo del valor de la precipitación media y de este coeficiente de variación.

Y todo ello particularizando directamente para la zona de estudio por medio de sus coordenadas geográficas.

En el caso concreto de la zona de estudio, las coordenadas UTM son las siguientes:

- Coordenada X (UTM-Huso 29): 686872.
- Coordenada Y (UTM-Huso 29): 4126806.

Empleando estas coordenadas, y entrando directamente en este software, se ha obtenido la precipitación máxima asociada al periodo de retorno $T=500$ años que se quiere calcular, tal y como se muestra en la siguiente imagen adjunta:

MAXPLUWIN

Ministerio de Fomento
Secretaría de Estado de Infraestructuras y Transportes
Dirección General de Carreteras

CEDEX
Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
Centro de Estudios Hidrográficos

Máximas lluvias diarias en la España Peninsular

Sistema de Coordenadas

UTM (Huso 29)

UTM X: 686872 m

UTM Y: 4126806 m

Periodo de Retorno (T): 500 años

P media: 51 mm/día

Cv: 0.3900

P t: 157 mm/día

Calculado con 686.872 4.126.806 H29 T500

Calcular Ayuda Poner a cero Salir

Obtención de la precipitación máxima $P = 157$ mm para un periodo de retorno 500 años

Por tanto, y a modo de resumen, la precipitación máxima diaria asociada al periodo de retorno de 500 años en la Zona 4 es:

MÁXIMAS LLUVIAS DIARIAS EN LA ESPAÑA PENINSULAR	
Periodo de retorno T (años)	Precipitación máxima (mm)
500	157

4. Cálculo de caudales de escorrentía

4.1. Desarrollo teórico

Para realizar el cálculo de caudales de escorrentía a desaguar se ha empleado la “Norma 5.2-IC Drenaje Superficial de la Instrucción de Carreteras” aprobada según la orden FOM/298/2016, de 15 de febrero, (BOE del 10 de marzo de 2016).

En la nueva Norma el método racional se ha modernizado siendo el cálculo del caudal de acuerdo a la siguiente expresión matemática:

$$Q_T = \frac{I(T, t_c) \cdot C \cdot A \cdot K_t}{3,6}$$

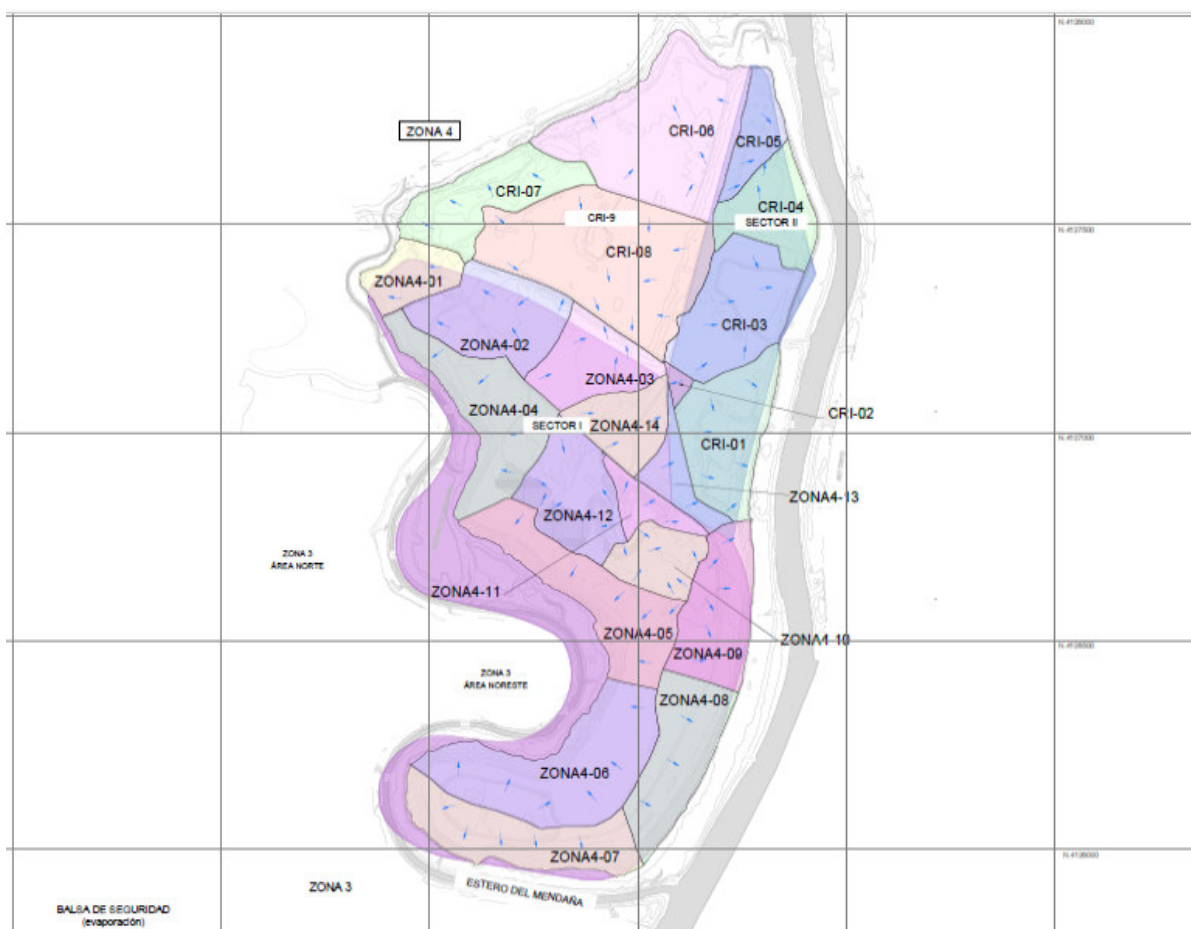
donde:

- Q_T = Caudal máximo anual correspondiente al periodo de retorno T , en el punto de desagüe de la cuenca (m^3/s).
- $I(T, t_c)$ = Intensidad de precipitación correspondiente al periodo de retorno considerado T , para una duración del aguacero igual al tiempo de concentración de la cuenca (mm/h).
- C = Coeficiente medio de escorrentía de la cuenca (adimensional).
- A = Área de la cuenca (km^2).
- K_t = Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación (adimensional).

Se desarrollan en sucesivos apartados el cálculo de estas distintas variables intervinientes.

4.2. Área de las cuencas de aportación

Se ha dividido el área de estudio en función de las cuencas aportantes según la configuración que se indica en el plano 08 del Documento nº2.- Planos, correspondiente a la definición del drenaje superficial, y que se adjunta en forma de imagen a continuación:



Definición de las cuencas de aportación en la zona de estudio

Una vez delimitadas las cuencas, y oportunamente identificadas mediante una denominación concreta correlativa, se ha procedido a calcular las siguientes magnitudes físicas de las mismas:

- Superficie total.
- Longitud del cauce principal.
- Cotas máximas y mínimas del cauce principal.
- Pendiente media del curso principal.

Conocidas estas magnitudes físicas, se ha calculado el tiempo de concentración mediante la expresión matemática siguiente:

$$t_c = 0,3 \cdot L_c^{0,76} \cdot J_c^{-0,19}, \text{ siendo:}$$

- t_c = Tiempo de concentración (horas).

- L_c = Longitud del curso principal (km).
- J_c = Pendiente media del curso principal (adimensional).

En la siguiente tabla se resumen las principales características referidas de las cuencas de aportación de la zona de estudio, así como el resultado del cálculo del tiempo de concentración que se ha obtenido para cada una de ellas:

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS CUENCAS - ZONA 4							
CUENCA	SUPERFICIE (m ²)	LONGITUD L_c (m)	COTA CABECERA (msnmm)	COTA DESAGÜE (msnmm)	PENDIENTE J_c (m/m)	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	
						(h)	(min)
CRI-01	63.884,84	458,99	9,97	3,50	0,014	0,37	22
CRI-02	3.745,89	109,70	9,97	3,50	0,059	0,10	6
CRI-03	69.997,10	352,23	9,48	3,50	0,017	0,29	18
CRI-04	42.709,47	325,72	8,56	3,50	0,016	0,28	17
CRI-05	24.690,17	183,69	8,00	3,50	0,024	0,17	10
CRI-06	127.181,26	646,00	6,19	3,50	0,004	0,61	37
CRI-07	56.680,67	449,42	7,00	3,50	0,008	0,41	25
CRI-08	139.310,03	467,50	7,00	3,50	0,007	0,43	26
ZONA4-01	28.053,04	337,61	6,49	3,50	0,009	0,32	19
ZONA4-02	64.560,52	390,26	10,25	3,50	0,017	0,32	19
ZONA4-03	45.570,72	305,10	10,27	6,60	0,012	0,28	17
ZONA4-04	75.109,59	551,24	10,06	3,50	0,012	0,44	27
ZONA4-05	76.379,76	422,12	9,98	3,50	0,015	0,34	21
ZONA4-06	105.550,66	418,84	12,00	3,50	0,020	0,32	19
ZONA4-07	66.784,09	563,82	12,00	3,50	0,015	0,43	26
ZONA4-08	60.484,15	476,44	10,93	3,50	0,016	0,38	23
ZONA4-09	56.942,64	357,92	12,00	3,50	0,024	0,28	17
ZONA4-10	30.847,50	244,03	10,00	9,96	0,000	0,55	33
ZONA4-11	18.064,23	343,90	17,33	9,96	0,021	0,28	17
ZONA4-12	54.883,19	309,66	18,00	10,30	0,025	0,25	15
ZONA4-13	21.069,98	322,36	10,00	9,42	0,002	0,42	25
ZONA4-14	35.254,25	257,05	10,08	9,47	0,002	0,34	20

4.3. Intensidad de precipitación

La intensidad de precipitación correspondiente un periodo de retorno T , y a una duración del aguacero t , se ha obtenido por medio de la siguiente fórmula:

$$I(T, t) = I_d \cdot F_{\text{int}}$$

donde:

- $I(T,t)$ = Intensidad de precipitación correspondiente a un periodo de retorno T y a una duración del aguacero t (mm/h).
- I_d = Intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al período de retorno T (mm/h).
- F_{int} = Factor de intensidad (adimensional).

La intensidad de precipitación a considerar en el cálculo del caudal máximo anual para el periodo de retorno T , en el punto de desagüe de la cuenca, ha sido la correspondiente a una duración del aguacero igual al tiempo de concentración " t_c " de la cuenca.

4.3.1. Intensidad media de precipitación corregida

La intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al período de retorno T se ha calculado mediante la fórmula:

$$I_d = \frac{P_d \cdot K_A}{24}$$

siendo:

- I_d = Intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente a un período de retorno T (mm/h).
- P_d = Precipitación diaria correspondiente al período de retorno T (mm). Es decir, en el caso que nos ocupa, correspondería a un valor de 157 mm para el periodo de retorno de 500 años.
- K_A = Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca (adimensional).

El factor reductor de la precipitación por área de la cuenca " K_A " tiene en cuenta la no simultaneidad de la lluvia en toda su superficie. Se obtiene a partir de las siguientes fórmulas:

$$\begin{array}{ll} \text{Si } A < 1 \text{ km}^2 & K_A = 1 \\ \text{Si } A \geq 1 \text{ km}^2 & K_A = 1 - \frac{\log_{10} A}{15} \end{array}$$

donde:

- K_A = Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca (adimensional).
- A = Área de la cuenca (km²).

4.3.2. Factor de intensidad

El factor de intensidad introduce la torrencialidad de la lluvia en el área de estudio y depende de:

- La duración del aguacero t (horas).
- Si se dispone de ellas y están convenientemente aceptadas, de las curvas intensidad–duración–frecuencia (IDF) en un pluviógrafo situado en el entorno de la zona de estudio que pueda considerarse representativo de su comportamiento.

Se tomará el mayor valor de los obtenidos de entre los que se indican a continuación:

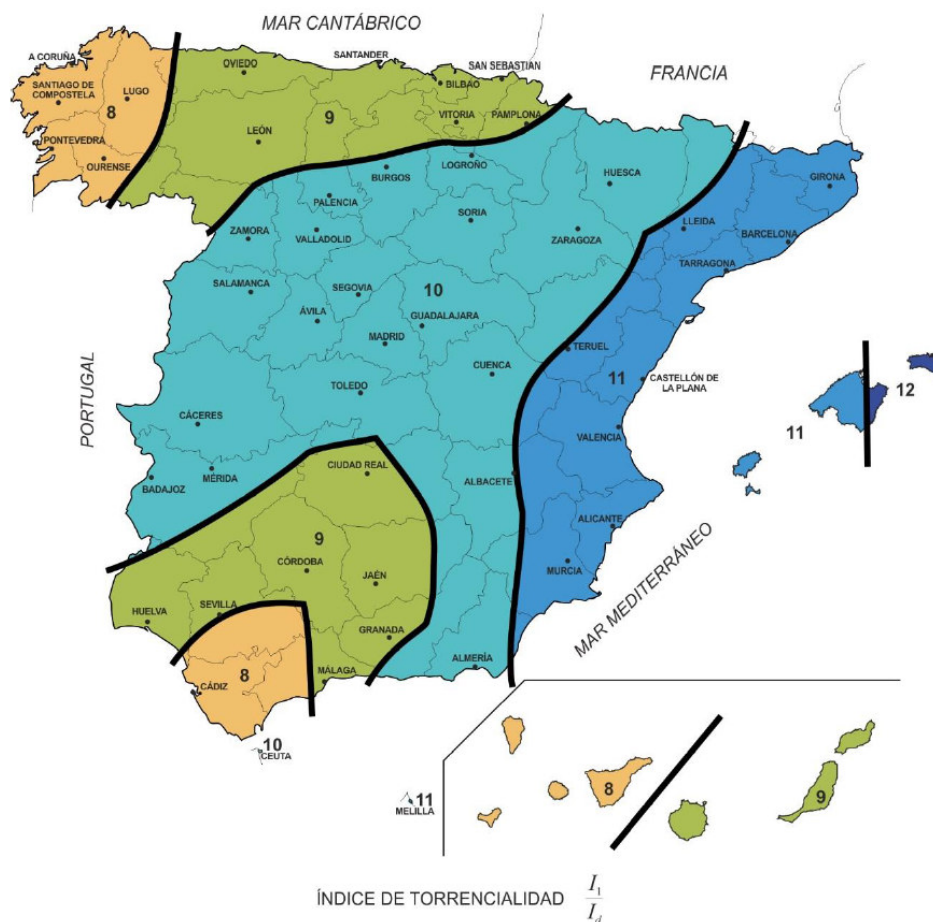
$$F_{int} = \max (F_a, F_b)$$

donde:

- F_{int} = Factor de intensidad (adimensional).
- F_a = Factor obtenido a partir del índice de torrencialidad (I_1/I_d) (adimensional).
- F_b = Factor obtenido a partir de las curvas IDF de un pluviógrafo próximo (adimensional). No aplicable en el proyecto al no contar con pluviógrafos próximos.

Por todo ello, el factor F_a se ha determinado por medio de la relación de intensidades (I_1/I_d) de acuerdo a la versión actualizada del mapa de distribución territorial y de la siguiente expresión matemática:

$$F_a = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{3,5287 - 2,5287t^{0,1}}$$



Mapa de distribución de torrencialidad. Norma 5.2-IC.

En el caso que nos ocupa, la relación I_1/I_0 en la zona de estudio se establece en el valor numérico 9 de acuerdo a la figura anterior.

4.4. Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía define la parte de precipitación de intensidad que genera el caudal de escorrentía en el punto de desagüe de la cuenca. Se ha calculado mediante las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned} \text{Si } P_d \cdot K_A > P_0 & \quad C = \frac{\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} - 1 \right) \left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} + 23 \right)}{\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} + 11 \right)^2} \\ \text{Si } P_d \cdot K_A \leq P_0 & \quad C = 0 \end{aligned}$$

siendo:

- C= Coeficiente de escorrentía (adimensional).
- P_d = Precipitación diaria correspondiente al período de retorno T considerado (mm).
- K_A = Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca (adimensional).
- P_0 = Umbral de escorrentía (mm).

El umbral de escorrentía se ha determinado a su vez mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$P_0 = P_0^i \cdot \beta$$

donde:

- P_0 = Umbral de escorrentía (mm).
- P_0^i = Valor inicial del umbral de escorrentía (mm).
- B= Coeficiente reductor del umbral de escorrentía (adimensional).

El valor inicial del umbral de escorrentía P_0^i se ha obtenido directamente a partir de la tabla de clasificación del SCS de la Norma de 5.2-IC.

El coeficiente reductor es el producto del valor medio de la región del coeficiente corrector del umbral de escorrentía corregido por el valor correspondiente al intervalo de confianza del cincuenta por ciento, por un factor dependiente del periodo de retorno T considerado para el caudal de proyecto; es decir:

$$\beta^{DT} = (\beta_m - \Delta_{50}) \cdot F_T$$

donde:

- B^{DT} = Coeficiente reductor del umbral de escorrentía para drenaje transversal (adimensional).
- β_m = Valor medio en la región del coeficiente corrector del umbral de escorrentía (adimensional).
- F_T = Factor función del período de retorno T.
- Δ_{50} = Desviación respecto al valor medio. Intervalo de confianza correspondiente al cincuenta por ciento (50%).

Con todo ello, y tras la aplicación del procedimiento descrito, se ha obtenido un valor del coeficiente de escorrentía de 0,8 en las distintas cuencas de la zona de estudio, a excepción de la zona noreste, que dado que dispone de un sellado, se ha considerado directamente un coeficiente de escorrentía de valor la unidad. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos:

CÁLCULO DE COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA - ZONA 4															
CUENCA	SUP. (Km ²)	PRECIP. Pd (mm)	K _A	Pd*K _A	P _{0i}	Región	β _m	D ₅₀	F _T	β ^{PM}	β ^{DT}	P _{0PM}	P _{0DT}	P ₀	C
CRI-01	0,064	157,00	1	157,00	20	512	0,70	0,20	1,00	0,70	0,500	14,00	10	10	1,00
CRI-02	0,004	157,00	1	157,00	20	512	0,70	0,20	1,00	0,70	0,500	14,00	10	10	1,00
CRI-03	0,070	157,00	1	157,00	20	512	0,70	0,20	1,00	0,70	0,500	14,00	10	10	1,00
CRI-04	0,043	157,00	1	157,00	20	512	0,70	0,20	1,00	0,70	0,500	14,00	10	10	1,00
CRI-05	0,025	157,00	1	157,00	20	512	0,70	0,20	1,00	0,70	0,500	14,00	10	10	1,00
CRI-06	0,127	157,00	1	157,00	20	512	0,70	0,20	1,00	0,70	0,500	14,00	10	10	0,80
CRI-07	0,057	157,00	1	157,00	20	512	0,70	0,20	1,00	0,70	0,500	14,00	10	10	0,80
CRI-08	0,139	157,00	1	157,00	20	512	0,70	0,20	1,00	0,70	0,500	14,00	10	10	0,80
ZONA4-01	0,028	157,00	1	157,00	20	512	0,70	0,20	1,00	0,70	0,500	14,00	10	10	0,80
ZONA4-02	0,065	157,00	1	157,00	20	512	0,70	0,20	1,00	0,70	0,500	14,00	10	10	0,80
ZONA4-03	0,046	157,00	1	157,00	20	512	0,70	0,20	1,00	0,70	0,500	14,00	10	10	0,80
ZONA4-04	0,075	157,00	1	157,00	20	512	0,70	0,20	1,00	0,70	0,500	14,00	10	10	0,80
ZONA4-05	0,076	157,00	1	157,00	20	512	0,70	0,20	1,00	0,70	0,500	14,00	10	10	0,80
ZONA4-06	0,106	157,00	1	157,00	20	512	0,70	0,20	1,00	0,70	0,500	14,00	10	10	0,80
ZONA4-07	0,067	157,00	1	157,00	20	512	0,70	0,20	1,00	0,70	0,500	14,00	10	10	0,80
ZONA4-08	0,060	157,00	1	157,00	20	512	0,70	0,20	1,00	0,70	0,500	14,00	10	10	0,80
ZONA4-09	0,057	157,00	1	157,00	20	512	0,70	0,20	1,00	0,70	0,500	14,00	10	10	0,80
ZONA4-10	0,031	157,00	1	157,00	20	512	0,70	0,20	1,00	0,70	0,500	14,00	10	10	0,80
ZONA4-11	0,018	157,00	1	157,00	20	512	0,70	0,20	1,00	0,70	0,500	14,00	10	10	0,80
ZONA4-12	0,055	157,00	1	157,00	20	512	0,70	0,20	1,00	0,70	0,500	14,00	10	10	0,80
ZONA4-13	0,021	157,00	1	157,00	20	512	0,70	0,20	1,00	0,70	0,500	14,00	10	10	0,80
ZONA4-14	0,035	157,00	1	157,00	20	512	0,70	0,20	1,00	0,70	0,500	14,00	10	10	0,80

4.5. Coeficiente de uniformidad

El coeficiente de uniformidad “K_t” se calcula para tener en cuenta la falta de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación. Se ha obtenido a través de la siguiente expresión:

$$K_t = 1 + \frac{t_c^{1,25}}{t_c^{1,25} + 14}$$

donde:

- K_t= Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación (adimensional).
- t_c = Tiempo de concentración (horas).

4.6. Caudales máximos en cuencas

En base al anterior desarrollo, a las consideraciones efectuadas y al cálculo de las distintas variables intervinientes, se han determinado en la siguiente tabla los máximos caudales en cada cuenca de aportación considerada y para el periodo de retorno de 500 años:

CÁLCULO DE CAUDALES PARA T=500 AÑOS - ZONA 4													
CUENCA	SUPERF. (Km ²)	PRECIP.	K _A	t _c	I _d	I ₁ /I _d	F _a	F _b	F _{int}	Intens. I	Coef. Esc. C	K _t	Q
		(mm)		(horas)	(mm/h)					(mm/h)			(m ³ /s)
CRI-01	0,064	157,00	1	0,37	6,54	9	15,16	0	15,16	99,19	1,00	1,02	1,80
CRI-02	0,004	157,00	1	0,10	6,54	9	28,76	0	28,76	188,13	1,00	1,00	0,20
CRI-03	0,070	157,00	1	0,29	6,54	9	17,06	0	17,06	111,58	1,00	1,02	2,20
CRI-04	0,043	157,00	1	0,28	6,54	9	17,42	0	17,42	113,94	1,00	1,01	1,37
CRI-05	0,025	157,00	1	0,17	6,54	9	22,34	0	22,34	146,15	1,00	1,01	1,01
CRI-06	0,127	157,00	1	0,61	6,54	9	11,77	0	11,77	76,98	0,80	1,04	2,25
CRI-07	0,057	157,00	1	0,41	6,54	9	14,44	0	14,44	94,46	0,80	1,02	1,21
CRI-08	0,139	157,00	1	0,43	6,54	9	14,17	0	14,17	92,68	0,80	1,02	2,93
ZONA4-01	0,028	157,00	1	0,32	6,54	9	16,30	0	16,30	106,65	0,80	1,02	0,67
ZONA4-02	0,065	157,00	1	0,32	6,54	9	16,44	0	16,44	107,56	0,80	1,02	1,57
ZONA4-03	0,046	157,00	1	0,28	6,54	9	17,43	0	17,43	114,03	0,80	1,01	1,17
ZONA4-04	0,075	157,00	1	0,44	6,54	9	13,90	0	13,90	90,93	0,80	1,03	1,55
ZONA4-05	0,076	157,00	1	0,34	6,54	9	15,78	0	15,78	103,25	0,80	1,02	1,78
ZONA4-06	0,106	157,00	1	0,32	6,54	9	16,25	0	16,25	106,33	0,80	1,02	2,53
ZONA4-07	0,067	157,00	1	0,43	6,54	9	14,10	0	14,10	92,23	0,80	1,02	1,40
ZONA4-08	0,060	157,00	1	0,38	6,54	9	15,09	0	15,09	98,74	0,80	1,02	1,35
ZONA4-09	0,057	157,00	1	0,28	6,54	9	17,50	0	17,50	114,45	0,80	1,01	1,47
ZONA4-10	0,031	157,00	1	0,55	6,54	9	12,47	0	12,47	81,58	0,80	1,03	0,58
ZONA4-11	0,018	157,00	1	0,28	6,54	9	17,59	0	17,59	115,05	0,80	1,01	0,47
ZONA4-12	0,055	157,00	1	0,25	6,54	9	18,54	0	18,54	121,25	0,80	1,01	1,49
ZONA4-13	0,021	157,00	1	0,42	6,54	9	14,25	0	14,25	93,23	0,80	1,02	0,45
ZONA4-14	0,035	157,00	1	0,34	6,54	9	15,96	0	15,96	104,40	0,80	1,02	0,83

5. Diseño de la red de drenaje superficial

Una vez calculados los máximos caudales en las distintas cuencas de aportación, se ha procedido a dimensionar los elementos de recogida y transporte del agua de escorrentía hasta su desagüe en los puntos de evacuación, así como a dimensionar las obras de descarga.

5.1. Configuración general

De manera general, la red de drenaje superficial está conformada por una red de canales (o cunetas) y las propias obras de descarga de los caudales transportados por estas cunetas a los cauces naturales situados en la parte oeste y este de la Zona 4, denominados Estero del Mendaña y Rivera de Nicoba respectivamente. Ambos desembocan en el río Tinto.

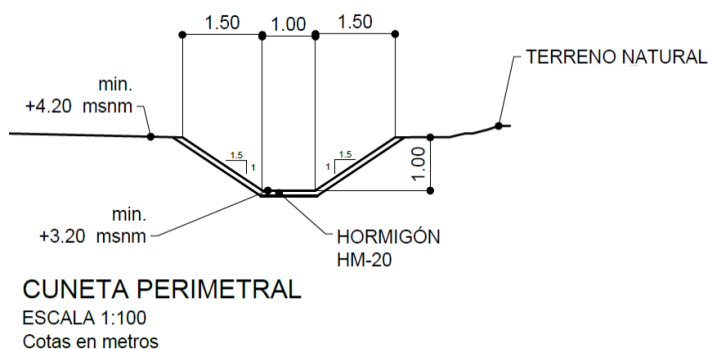
➤ Cunetas de recogida:

Se han definido dos tipos de cunetas en función de su situación en la Zona 4:

- Cuneta perimetral: bordea todo el perímetro de la Zona 4 para recoger las aguas de escorrentía generadas y conducir las hasta los puntos de descarga.

Esta cuneta se ha definido con un revestimiento de hormigón en masa HM-20 y con las siguientes medidas y características geométricas:

- Sección trapezoidal a cielo abierto.
- Anchura de solera de 1,00 m.
- Taludes de cajeros: 1V:1,5H.
- Altura: 1,00 m.
- Pendiente media del 0,2%.



Sección tipo de cuneta de recogida perimetral

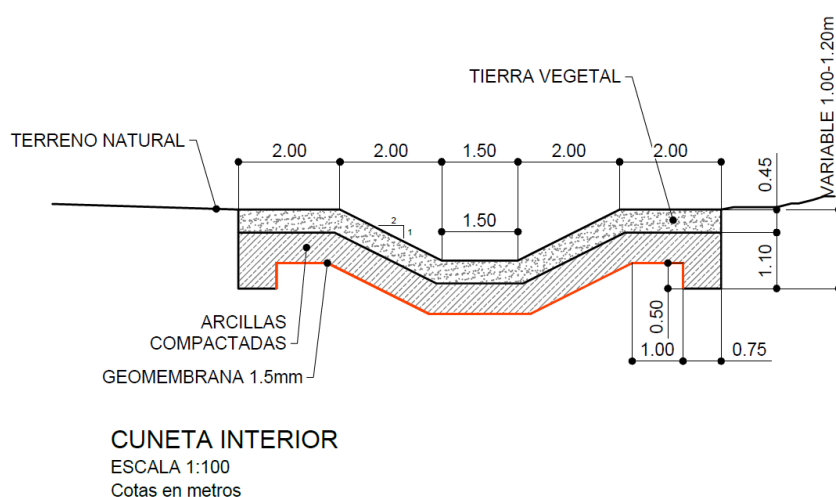
Se han denominado estas cunetas en los cálculos y en los planos de definición como P-01, P-02, P-03, etc.

- Cunetas interiores: dispuestas estratégicamente en determinadas zonas para la recogida de las aguas de escorrentía vertientes.

Debido a que donde se ubican estas cunetas interiores son zonas susceptibles de sufrir asentamientos, en mayor o menor medida, se ha optado por prescindir de un revestimiento de cuneta tipo rígido, como en el caso de las cunetas perimetrales, y disponer un revestimiento blando a base de geomembrana de espesor 1,5 mm sobre la que se coloca una capa de arcilla compactada y otra de tierra vegetal.

Las principales características de estas cunetas interiores son:

- Sección trapezoidal a cielo abierto.
- Anchura de solera de 1,50 m.
- Taludes de cajeros: 1V:2H.
- Altura: variable de 1,20 a 1,00 m.
- Pendientes variables.



Sección tipo de cuneta de interior

Se han denominado estas cunetas en los cálculos y en los planos de definición como I-01, I-02, I-03, etc.

En función de los caudales máximos obtenidos en las cuencas de aportación, se han calculado los caudales de diseño de los distintos tramos de cunetas en función de los caudales recogidos por los mismos, siendo estos los que se indican en la siguiente tabla:

TRAMOS DE CUNETAS				
Denominación	Superficie drenada (m ²)	Longitud (m)	Caudal de diseño Q (m ³ /s)	Zonas drenadas
I-01	249.441	533	5,66	I-02 + ZONA4-02
I-02	184.881	262	4,10	CRI-08 + ZONA4-03
I-03	163.865	42	4,01	I-04 + I-08
I-04	103.795	67	2,54	I-05 + I-06
I-05	72.947	313	1,96	I-07 + ZONA4-11
I-06	30.848	171	0,58	ZONA4-10
I-07	54.883	181	1,49	ZONA4-12
I-08	60.070	396	1,47	I-09+CRI-02+ZONA4-13
I-09	35.254	183	0,83	ZONA4-14
I-10	127.181	254	2,25	CRI-06
I-11	139.310	215	2,93	CRI-08
P-01	63.885	443	1,80	CRI-01
P-02	69.997	178	2,20	CRI-03
P-03	42.709	337	1,37	CRI-04
P-04	24.690	220	1,01	CRI-05
P-05	127.181	680	2,25	CRI-06 / I-10
P-06	56.681	373	1,21	CRI-07
P-07	28.053	260	0,67	ZONA4-01
P-08	75.110	608	1,55	ZONA4-04
P-09	76.380	581	1,78	ZONA4-05
P-10	105.551	618	2,53	ZONA4-06
P-11	66.784	763	1,40	ZONA4-07
P-12	60.484	473	1,35	ZONA4-08
P-13	56.943	412	1,47	ZONA4-09

➤ Obras de descarga:

En cuanto a las obras de descarga, se han definido mediante una obra de emboquille a base de aletas laterales de hormigón armado para introducir adecuadamente el flujo de agua, una tubería de descarga de material polietileno de alta densidad (PEAD), de diámetro variable en función del caudal de transporte, y una obra de desembocadura, formada también por unas aletas laterales de hormigón armado y una base de escollera de protección en zona de solera.

Se han definido ocho obras de descarga, cuatro de ellas con desagüe al cauce natural situado al este (Riviera de Nicoba) y las otras cuatro restantes a la parte de la desembocadura del Estero del Mendaña, en la parte oeste de la Zona 4.



Cauces naturales de recepción de las aguas de escorrentía

5.2. Dimensionamiento hidráulico

5.2.1. Desarrollo teórico

En las cunetas interiores y perimetral, por ser canales a cielo abierto, su capacidad hidráulica es determinada por parámetros tales como:

- Las dimensiones y forma geométrica de la sección del canal: anchura de solera, taludes de las paredes laterales y altura.
- La pendiente de la solera del canal.
- La rugosidad del material de contacto entre canal y agua.

Por ser canales a cielo abierto, el cálculo hidráulico se ha realizado mediante la fórmula de Manning, ampliamente utilizada y suficientemente comprobada para tener la certeza de que los resultados que ofrece son plenamente válidos, calculándose el caudal mediante la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{AR^{2/3} s^{1/2}}{n}$$

donde:

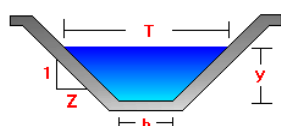
- Q = caudal de dimensionamiento (m^3/s).
- n = coeficiente de Manning.
- A = área mojada (m^2).
- R = radio hidráulico, representa la relación ente la superficie mojada y el perímetro mojado (m).
- S = pendiente del canal (m/m).

El coeficiente de Manning es un valor que depende de la rugosidad del material por donde circula el agua; existe amplia bibliografía y numerosos ensayos de laboratorio para la adopción de valores estándar para cada tipo de material.

Teniendo en cuenta las características del material que conforman las cunetas definidas, se han adoptado los siguientes números de Manning, valores suficientemente conservadores para tener en cuenta la presencia de posibles sedimentos, y el envejecimiento y degradación de las características hidráulicas del revestimiento:

- Revestimiento rígido de hormigón en cunetas perimetrales: $n= 0,014$.
- Revestimiento blando en cunetas interiores: $n= 0,026$.

Con base en la anterior fórmula de Manning, se puede calcular la altura que alcanza el agua en la sección (variable también denominada como tirante normal “Y” o calado), una vez se han fijado las dimensiones que la definen:



- b = ancho de solera
- Taludes de las paredes laterales del canal (1V:ZH)

Los otros parámetros de la sección del canal son el área, perímetro mojado y radio hidráulico, indicados en la formula anterior y el espejo del agua (T : anchura superior del agua en la sección).

El tipo de flujo que se produce en el canal mediante se ha determinado por el número de Froude (número adimensional), que en canales abiertos se obtiene mediante la expresión:

$$F = \frac{v}{\sqrt{g \left(\frac{A}{T} \right)}}, \text{ siendo:}$$

- V = velocidad media (m/s).
- g = aceleración de la gravedad en (m/s^2).
- A = área (m^2).
- T = espejo del agua. Anchura superior del agua en la sección (m).

Dependiendo de los valores obtenidos para el número de Froude, se puede clasificar el régimen del flujo en:

- $F > 1$: el régimen del flujo es supercrítico.
- $F < 1$: el régimen del flujo es subcrítico.
- $F = 1$: el régimen del flujo crítico.

Respecto a las velocidades del flujo, se ha considerado en el diseño que los valores obtenidos sean compatibles con aquellos que no produzcan fenómenos de erosión en el revestimiento de las cunetas.

Por último, se ha tenido en cuenta en el diseño el garantizar un resguardo o borde libre mínimo, definido como la diferencia entre la cota del borde superior de la sección hidráulica del canal y la cota de la lámina de agua (tirante normal). Sería, por tanto, la altura de canal que queda libre sin agua. Ha sido considerado un resguardo de diseño mínimo de un valor de 1/4 de la altura uniforme.

5.2.2. Resultados obtenidos

De acuerdo al desarrollo teórico anteriormente expuesto y a las consideraciones efectuadas, se han calculado hidráulicamente los distintos tramos de cunetas, tanto interiores como perimetral, teniendo en cuenta el caudal de diseño de cada tramo, así como sus características geométricas y las de la sección tipo considerada.

Estos resultados se muestran en las siguientes tablas, comprobándose que las cunetas consideradas son válidas para el transporte de los caudales de diseño:

Cuneta			D A T O S						
			Caudal	Rugosidad Manning	Base solera	Talud (1:z)	Pendiente		
Denom.	Sup. drenada (m ²)	Long. (m)	Q (m ³ /s)	n	b (m)	z	m/m	%	Por mil
I-01	249.441	533	5,66	0,026	1,50	2	0,005	0,50	5,0
I-02	184.881	262	4,10	0,026	1,50	2	0,005	0,50	5,0
I-03	163.865	42	4,01	0,026	1,50	2	0,005	0,50	5,0
I-04	103.795	67	2,54	0,026	1,50	2	0,005	0,50	5,0
I-05	72.947	313	1,96	0,026	1,50	2	0,005	0,50	5,0
I-06	30.848	171	0,58	0,026	1,50	2	0,005	0,50	5,0
I-07	54.883	181	1,49	0,026	1,50	2	0,005	0,50	5,0
I-08	60.070	396	1,47	0,026	1,50	2	0,005	0,50	5,0
I-09	35.254	183	0,83	0,026	1,50	2	0,005	0,50	5,0
I-10	127.181	254	2,25	0,026	1,50	2	0,005	0,50	5,0
I-11	139.310	215	2,93	0,026	1,50	2	0,005	0,50	5,0
P-01	63.885	443	1,80	0,014	1,00	1,5	0,002	0,20	2,0
P-02	69.997	178	2,20	0,014	1,00	1,5	0,002	0,20	2,0
P-03	42.709	337	1,37	0,014	1,00	1,5	0,002	0,20	2,0

Cuneta			D A T O S						
			Caudal	Rugosidad Manning	Base solera	Talud (1:z)	Pendiente		
Denom.	Sup. drenada (m ²)	Long. (m)	Q (m ³ /s)	n	b (m)	z	m/m	%	Por mil
P-04	24.690	220	1,01	0,014	1,00	1,5	0,002	0,20	2,0
P-05	127.181	680	2,25	0,014	1,00	1,5	0,002	0,20	2,0
P-06	56.681	373	1,21	0,014	1,00	1,5	0,002	0,20	2,0
P-07	28.053	260	0,67	0,014	1,00	1,5	0,002	0,20	2,0
P-08	75.110	608	1,55	0,014	1,00	1,5	0,002	0,20	2,0
P-09	76.380	581	1,78	0,014	1,00	1,5	0,002	0,20	2,0
P-10	105.551	618	2,53	0,014	1,00	1,5	0,002	0,20	2,0
P-11	66.784	763	1,40	0,014	1,00	1,5	0,002	0,20	2,0
P-12	60.484	473	1,35	0,014	1,00	1,5	0,002	0,20	2,0
P-13	56.943	412	1,47	0,014	1,00	1,5	0,002	0,20	2,0

CÁLCULO HIDRÁULICO POR MANNING CANAL TRAPEZOIDAL												
Cuneta	Tirante normal	Área mojada	Espejo Agua	Perím. mojado	Radio Hidr.	Veloc .	Energía Espec.	Nº Froude	Tipo de flujo	Borde Libre mín. (1/4)	Altura defin. diseño	Borde Libre exist.
Denom .	y (m)	(m ²)	T(m)	P(m)	R(m)	v (m/s)	(m-kg/kg)	(F)		(m)	H (m)	(m)
I-01	0,93	3,10	5,20	5,64	0,55	1,83	1,10	0,75	Subc.	0,23	1,20	0,27
I-02	0,79	2,44	4,67	5,04	0,48	1,68	0,94	0,74	Subc.	0,20	1,00	0,21
I-03	0,78	2,40	4,63	5,00	0,48	1,67	0,93	0,74	Subc.	0,20	1,00	0,22
I-04	0,62	1,72	4,00	4,29	0,40	1,48	0,74	0,72	Subc.	0,16	1,00	0,38
I-05	0,55	1,42	3,69	3,95	0,36	1,38	0,64	0,71	Subc.	0,14	1,00	0,45
I-06	0,29	0,59	2,64	2,78	0,21	0,97	0,33	0,65	Subc.	0,07	1,00	0,71
I-07	0,48	1,17	3,41	3,63	0,32	1,28	0,56	0,70	Subc.	0,12	1,00	0,52
I-08	0,47	1,16	3,39	3,62	0,32	1,27	0,56	0,70	Subc.	0,12	1,00	0,53
I-09	0,35	0,77	2,90	3,06	0,25	1,08	0,41	0,67	Subc.	0,09	1,00	0,65
I-10	0,59	1,57	3,85	4,13	0,38	1,43	0,69	0,71	Subc.	0,15	1,00	0,41
I-11	0,67	1,91	4,19	4,50	0,42	1,53	0,79	0,73	Subc.	0,17	1,00	0,33
P-01	0,59	1,12	2,78	3,13	0,36	1,61	0,72	0,81	Subc.	0,15	1,00	0,41
P-02	0,66	1,30	2,97	3,36	0,39	1,69	0,80	0,82	Subc.	0,16	1,00	0,34
P-03	0,52	0,92	2,55	2,86	0,32	1,50	0,63	0,80	Subc.	0,13	1,00	0,48
P-04	0,44	0,73	2,32	2,59	0,28	1,38	0,54	0,78	Subc.	0,11	1,00	0,56
P-05	0,66	1,32	2,99	3,39	0,39	1,70	0,81	0,82	Subc.	0,17	1,00	0,34
P-06	0,49	0,84	2,46	2,75	0,31	1,45	0,59	0,79	Subc.	0,12	1,00	0,51
P-07	0,36	0,55	2,07	2,29	0,24	1,23	0,43	0,76	Subc.	0,09	1,00	0,64
P-08	0,55	1,00	2,65	2,98	0,34	1,55	0,67	0,80	Subc.	0,14	1,00	0,45
P-09	0,59	1,11	2,77	3,13	0,36	1,60	0,72	0,81	Subc.	0,15	1,00	0,41
P-10	0,70	1,44	3,10	3,53	0,41	1,76	0,86	0,82	Subc.	0,18	1,00	0,30
P-11	0,52	0,93	2,57	2,88	0,32	1,50	0,64	0,80	Subc.	0,13	1,00	0,48
P-12	0,51	0,91	2,54	2,85	0,32	1,49	0,63	0,80	Subc.	0,13	1,00	0,49
P-13	0,53	0,96	2,60	2,93	0,33	1,52	0,65	0,80	Subc.	0,13	1,00	0,47

En cuanto a las obras de descarga, se han calculado hidráulicamente las tuberías de descarga a los cauces naturales mediante la formulación de Manning anteriormente expuesta y teniendo en cuenta de que se trata de secciones cerradas con una rugosidad de paredes propia de un material plástico.

Los diámetros obtenidos para estos tubos son los que se indican en la siguiente tabla:

Denominación	Cauce de descarga	Diámetro nominal tubería de descarga (mm)	Caudal de diseño (m ³ /s)	Longitud tubería (m)
DS-1	Rivera de Nicoba (zona este)	1.000	4,00	24
DS-2	Rivera de Nicoba (zona este)	800	2,38	36
DS-3	Rivera de Nicoba (zona este)	1.000	2,25	73
DS-4	Estero del Mendaña (zona oeste)	800	1,21	51
DS-5	Estero del Mendaña (zona oeste)	1.400	7,89	33
DS-6	Estero del Mendaña (zona oeste)	1.200	4,31	43
DS-7	Estero del Mendaña (zona oeste)	1.000	2,75	43
DS-8	Rivera de Nicoba (zona este)	1.200	5,47	27

Como ya ha sido indicado anteriormente, tanto en el emboquille como en la parte de la desembocadura, se han definido aletas laterales de hormigón para conducir adecuadamente el flujo de agua, y una capa de escollera de protección en la zona de la solera de la desembocadura.

6. Conclusiones

Se ha redactado el presente Anejo con el objetivo principal de definir la red de drenaje superficial que recoja y evacúe, en determinados puntos de descarga, los caudales generados en los procesos de precipitación-escorrentía de las diversas zonas consideradas en el área de estudio. Para ello se ha desarrollado el componente hidrológico necesario (cálculo de la lluvia de proyecto) y se han definido, y calculado hidráulicamente, los elementos necesarios de esta red de drenaje.

Huelva, Junio de 2022