

ANEJO VII

ESTUDIO DE INUNDABILIDAD

ANEJO VII

**PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DE LOS RIEGOS DEL VIAR:
PLANTA FOTOVOLTAICA DE 4 MW Y MEJORA DE LA
EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO**

PROMOTOR: SOCIEDAD ESTATAL DE INFRAESTRUCTURAS AGRARIAS, S.A.

BENEFICIARIO: COMUNIDAD DE REGANTES DE LA ZONA REGABLE DEL VIAR

ANEJO VII. ESTUDIO DE INUNDABILIDAD

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.	3
2. OBJETO.	3
3. METODOLOGÍA.	3
4. ESTUDIO HIDROLÓGICO.	4
4.1. Introducción.	4
4.2. Metodología.	4
4.3. Ubicación de la zona de estudio.	4
4.4. Climatología.	5
4.5. Características generales de la cuenca aportadora.	6
4.6. Caudales de proyecto.	7
4.6.1. Justificación del método adoptado.	7
4.6.2. Intensidad de precipitación.	9
4.6.3. Coeficiente de escurrimiento.	17

ANEJO VII

4.6.4. Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación.	22
4.6.5. Caudales de Proyecto. Método Racional.	23
5. CÁLCULOS HIDRÁULICOS.	23
5.1. Metodología.	23
5.2. Simulaciones previas.	24
5.2.1. Caudal de simulación.	24
5.3. Modelo digital del terreno.	24
5.4. Condiciones hidrodinámicas.	24
5.5. Coeficientes de rugosidad del terreno.	25
5.6. Resultados de las simulaciones.	26
5.6.1. Periodo de retorno T_{25} .	26
5.6.2. Periodo de retorno T_{100} .	27
5.6.3. Periodo de retorno T_{500} .	28

ANEJO VII

PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DE LOS RIEGOS DEL VIAR: PLANTA FOTOVOLTAICA DE 4 MW Y MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO

PROMOTOR: SOCIEDAD ESTATAL DE INFRAESTRUCTURAS AGRARIAS, S.A.

BENEFICIARIO: COMUNIDAD DE REGANTES DE LA ZONA REGABLE DEL VIAR

ANEJO VII. ESTUDIO DE INUNDABILIDAD

1. INTRODUCCIÓN.

Debido a que en la parcela donde se pretende implantar la instalación fotovoltaica está cruzada de Norte a Sur por un arroyo innominado, se considera necesario hacer un estudio de inundabilidad.

La implantación de la instalación fotovoltaica deberá respetar la zona potencialmente inundable de este arroyo.

2. OBJETO.

El objeto del presente estudio de inundabilidad es determinar la zona inundable del arroyo innominado a su paso por la parcela donde se pretende implantar la instalación fotovoltaica.

3. METODOLOGÍA.

El estudio de inundabilidad se compone de dos procesos, claramente diferenciados, que son los siguientes:

- **Estudio Hidrológico.** Mediante este estudio se obtendrá el caudal de diseño, de acuerdo con la metodología establecida 5.2-IC. *Drenaje Superficial de la*

ANEJO VII

Instrucción de Carreteras de marzo de 2.016, que se utilizará para llevar a cabo los cálculos hidráulicos.

- **Cálculos Hidráulicos:** A partir de los caudales obtenidos se realizará una simulación hidráulica para determinar la zona de inundación.

4. ESTUDIO HIDROLÓGICO.

4.1. Introducción.

Mediante el presente estudio hidrológico se pretende determinar el caudal de máxima avenida de un arroyo innominado, a su paso por la parcela donde se pretende implantar la instalación fotovoltaica, producida para el periodo de retorno que permita definir la Zona de Flujo Preferente. Dicho caudal de máxima avenida será requerido para el posterior modelo hidráulico del cauce.

Por lo tanto, mediante el presente estudio hidrológico se determinará el caudal de máxima avenida para los siguientes periodos de retorno:

- T_{25} = Periodo de retorno de 25 años.
- T_{100} = Periodo de retorno de 100 años.
- T_{500} = Periodo de retorno de 500 años.

4.2. Metodología.

Para la determinación del caudal de la cuenca vertiente en el punto de estudio, se emplearán los métodos descritos en la norma 5.2-IC. *Drenaje Superficial de la Instrucción de Carreteras* de marzo de 2.016.

4.3. Ubicación de la zona de estudio.

La zona de estudio se encuentra en el término municipal de Alcalá del Río (Sevilla), en el paraje conocido como Aranjuez.

ANEJO VII

Las coordenadas UTM de su ubicación, referidas al sistema de referencia ETRS89 (Huso 30) son las siguientes:

X (m) =	234.876
Y (m) =	4.162.500

Los detalles de su ubicación se recogen en el *Documento nº 4. Planos*.

4.4. Climatología.

Para el estudio hidrológico se han obtenido datos de la estación meteorológica más cercana a la zona de estudio, cuyas características se describen a continuación:

Nombre:	Alcalá del Río "Torre Vega"
Clave:	5744
Provincia:	Sevilla
Tipo:	Estación termopluviométrica
Altitud:	10
Latitud:	37° 30' N
Longitud:	05° 57' W

La tabla adjunta recoge los valores climatológicos históricos de la estación:

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	AÑO
T'	19,80	22,50	27,00	29,30	32,80	37,00	40,50	39,70	36,30	31,40	24,80	20,80	41,10
t_m	10,10	11,70	14,30	16,30	19,30	23,60	26,70	26,30	23,50	19,00	14,00	10,80	18,00
t'	-0,30	1,00	2,80	5,30	7,80	11,80	14,60	14,20	11,50	7,40	2,90	0,20	-1,60
P	87,20	54,40	47,50	50,50	33,50	19,90	1,20	6,50	23,20	63,50	92,20	87,50	567,20
P'	25,50	18,60	16,90	19,30	13,10	12,60	1,20	5,10	12,90	24,40	34,90	26,10	51,90

Siendo:

T' (°C) = Media de las temperaturas máximas absolutas mensuales.

t_m (°C) = Temperatura media mensual.

t' (°C) = Media de las temperaturas mínimas absolutas mensuales.

ANEJO VII

P (mm) = Pluviometría media mensual.

P' (mm) = Pluviometría máxima en 24 h.

4.5. Características generales de la cuenca aportadora.

Un estudio topográfico e hidrológico de la zona permitirá delimitar la cuenca aportadora donde se encuentra la zona de estudio.

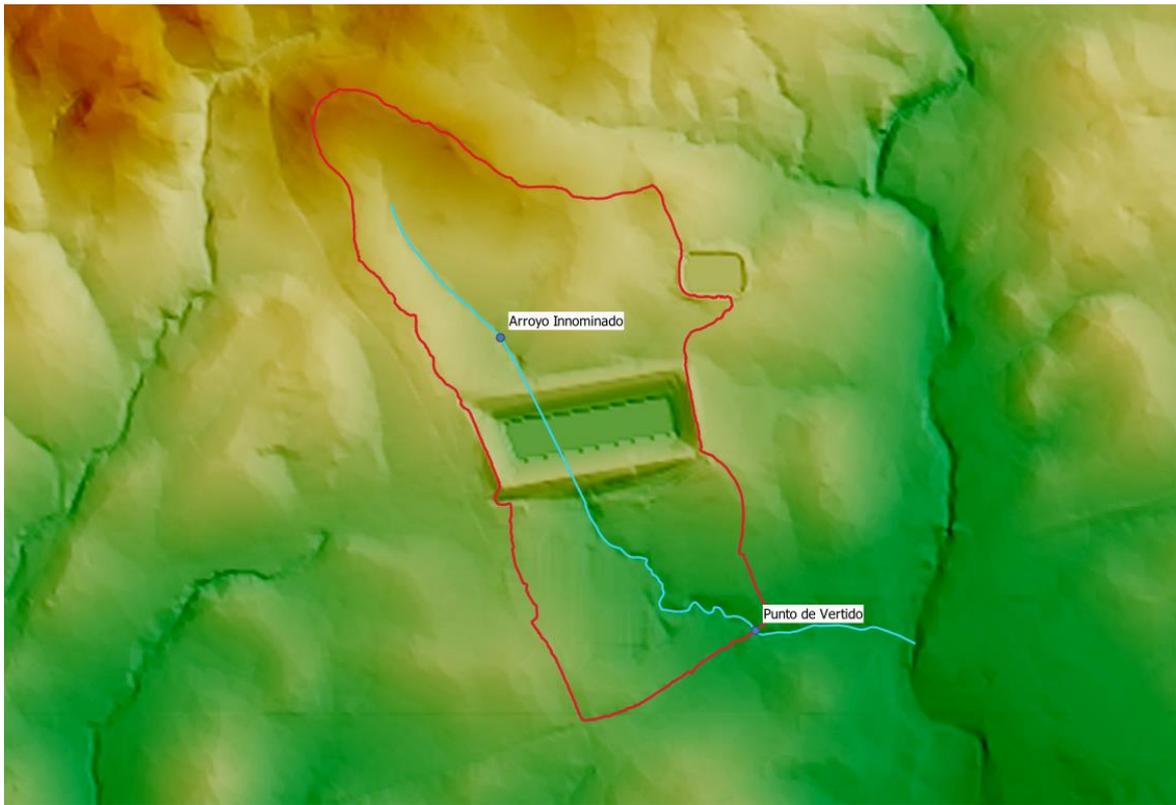
Para ello se ha empleado el Modelo Digital del Terreno con malla de 5 metros (MDT05) del Instituto Geográfico Nacional.

La delimitación de la cuenca y su red de drenaje se ha obtenido, a partir de dicho modelo digital, mediante el software *QGIS* con el complemento *GRASS*.

El punto de vertido a partir del cual se ha calculado la cuenca, se ha situado aguas abajo de la zona de estudio.

El resultado del cálculo de la cuenca se muestra en la siguiente imagen.

ANEJO VII



Las características de la cuenca aportadora son las siguientes:

Coordenadas U.T.M. del Punto de Vertido	X (m):	235.232
	Y (m):	4.162.308
Superficie (Ha):		132,40
Longitud del cauce (m):		1.945,06
Z _{max} de la cuenca (m):		128,00
Z _{min} de la cuenca (m):		56,00
Pendiente media del cauce (%):		2,26

4.6. Caudales de proyecto.

4.6.1. Justificación del método adoptado.

El caudal máximo correspondiente a un periodo de retorno Q_T de acuerdo con la metodología establecida 5.2-IC. *Drenaje Superficial de la Instrucción de Carreteras* de marzo de 2.016 se debe determinar a partir de la información de caudales máximos que

ANEJO VII

proporcione la administración hidráulica competente. En caso de no disponer de dicha información, se debe calcular a través de la metodología que se establece en la norma.

En el caso de estudio contamos con los siguientes condicionantes:

- La cuenca de estudio tiene una inferior a 50 km².
- No disponemos de datos de caudal máximo en el punto de vertido proporcionados por la administración hidráulica competente.

Por lo tanto, se empleará el Método Racional expuesto en la citada norma.

El Método Racional se basa en datos de precipitación máxima de la zona para obtener la escorrentía y el caudal máximo que se genera para un periodo de retorno determinado. Este método supone un aguacero con las siguientes características:

- Intensidad de lluvia constante. Las posibles variaciones se tienen en cuenta mediante la aplicación de un coeficiente corrector.
- Duración del aguacero igual al tiempo de concentración. Esta situación es considerada como la más desfavorable, ya que una duración menor provocaría que no toda la cuenca estaría vertiendo por el punto de salida de la misma y una duración mayor equivaldría a una menor intensidad de lluvia.
- Simultaneidad de la lluvia en la cuenca. La simultaneidad de la lluvia en la cuenca se supone constante, aunque para corregir este aspecto también se aplica un coeficiente.

De acuerdo con el Método Racional, el caudal máximo anual Q_T , correspondiente a un periodo de retorno T , se calcula mediante la siguiente expresión:

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

ANEJO VII

Siendo:

Q_T (m³/s) = Caudal máximo anual correspondiente al periodo de retorno T , en el punto de vertido de la cuenca.

$I(T, t_c)$ (mm/h) = Intensidad de precipitación, en (mm/h), correspondiente al periodo de retorno considerado T , para una duración igual al tiempo de concentración t_c , de la cuenca.

C = Coeficiente medio de escorrentía de la cuenca o superficie considerada.

A (km²) = Área de la cuenca o superficie considerada en (km²).

K_t = Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación.

4.6.2. Intensidad de precipitación.

La intensidad de precipitación $I(T, t_c)$ correspondiente a un periodo de retorno T , y a una duración de aguacero t_c , se obtiene a partir de la siguiente expresión:

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

Siendo:

I_d (mm/h) = Intensidad media diaria de precipitación corregida, correspondiente al periodo de retorno T .

F_{int} = Factor de intensidad.

La intensidad media diaria de precipitación corregida, correspondiente al periodo de retorno T , se obtiene mediante la siguiente fórmula:

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

ANEJO VII

Siendo:

P_d (mm) = Precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno T .

K_A = Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca.

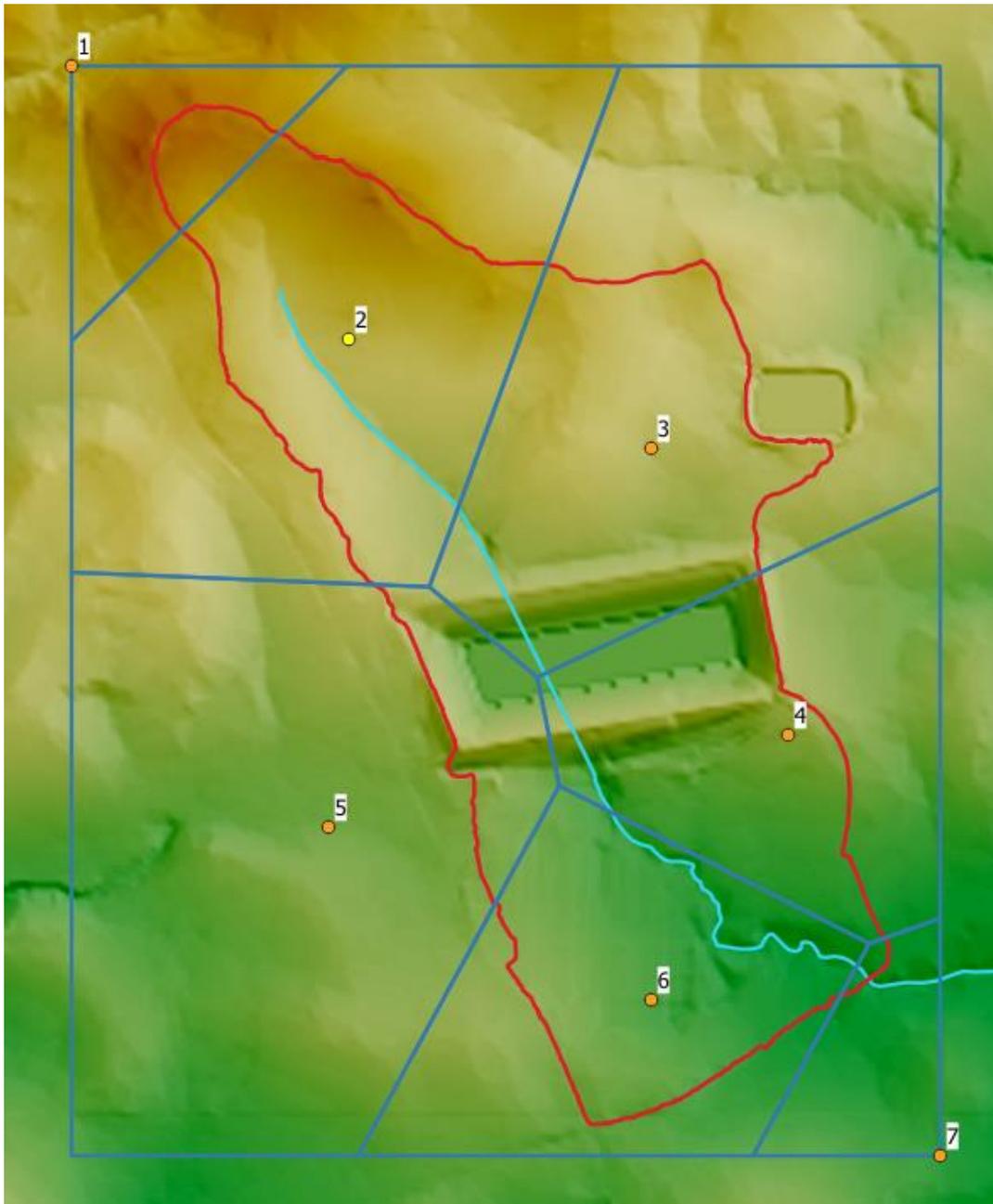
4.6.2.1. Precipitación máxima.

El cálculo de la precipitación máxima mediante el método propuesto por Dirección General de Carreteras se describe en la serie monográfica “*Máximas lluvias diarias en la España Peninsular*”. Este método utiliza el modelo SQR-ET_{max} para la estimación regional de cuantiles. Se basa en la obtención de parámetros gráficamente, mediante mapas de isolíneas del valor regional del coeficiente de variación y del valor medio de la máxima precipitación anual.

Para obtener una precipitación promedia en la distribución espacial de la cuenca, se han tomado un total de seis puntos dentro de la misma. A partir de dicha información, se ha ponderado la aportación espacial a cada punto a través del método de ponderación de los Polígonos de Thiessen. Este método se basa en ponderar el valor de la variable climática en cada punto, en función de su área de influencia. El procedimiento asume un área de influencia, definida por la poligonal, donde el valor de la lluvia es uniforme e igual al punto al cual corresponde dicha área. Es decir, la lluvia dentro de cada polígono presenta distribución homogénea.

Los polígonos de Thiessen obtenidos, para la zona de estudio, se muestran a continuación:

ANEJO VII



La precipitación máxima diaria en cada punto se ha obtenido mediante la aplicación informática *Maxpluwin*, incluida en la publicación de la Dirección General de Carreteras, cuyos resultados se recogen en la siguiente tabla:

ANEJO VII

PUNTO	X (m)	Y (m)	SUP (km ²)	Pm (mm/día)	CV	P ₂₅ (mm/día)	P ₁₀₀ (mm/día)	P ₅₀₀ (mm/día)
1	233.699,00	4.164.080,00	0,033	58,00	0,36	101,00	129,00	167,00
2	234.230,00	4.163.553,00	0,334	55,00	0,36	96,00	123,00	158,00
3	234.809,00	4.163.343,00	0,363	55,00	0,36	96,00	123,00	158,00
4	235.071,00	4.162.790,00	0,241	55,00	0,36	96,00	123,00	158,00
5	234.191,00	4.162.612,00	0,087	55,00	0,36	96,00	123,00	158,00
6	234.809,00	4.162.279,00	0,261	55,00	0,36	96,00	123,00	158,00
7	235.362,00	4.161.978,00	0,004	55,00	0,36	96,00	123,00	158,00

Calculando la media ponderada, se obtiene la precipitación máxima diaria, en la cuenca de estudio, para cada periodo de retorno.

PERIODO DE RETORNO	P (mm/día)
T_{25}	96,12
T_{100}	123,15
T_{500}	158,22

4.6.2.2. Factor reductor de la precipitación por área de cuenca.

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, y para el caso de nuestra cuenca de estudio se obtiene a partir de la siguiente expresión.

$$K_A = 1 - \frac{\log_{10} A}{15}$$

Siendo:

K_A = Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca

A (km²) = Área de la cuenca

Por lo tanto:

$$K_A = 1 - \frac{\log_{10} 1,32}{15} = 0,9919$$

ANEJO VII

4.6.2.3. Intensidad media diaria de precipitación corregida.

La intensidad media diaria de precipitación corregida se obtiene, tal y como se ha descrito anteriormente, para cada periodo de retorno.

PERIODO DE RETORNO	I_d (mm/h)
T_{25}	3,97
T_{100}	5,09
T_{500}	6,54

4.6.2.4. Tiempo de concentración.

El tiempo de concentración t_c , es el tiempo mínimo necesario, desde el comienzo del aguacero para que toda la superficie de la cuenca esté aportando escorrentía en el punto de desagüe. Se obtiene calculando el tiempo de recorrido más largo desde cualquier punto de la cuenca hasta el punto de desagüe, mediante la siguiente expresión:

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

Siendo:

t_c (h) = Tiempo de concentración.

L_c (km) = Longitud del cauce.

J_c (m/m) = Pendiente media.

Por lo tanto:

$$t_c = 0,3 \cdot 1,945^{0,76} \cdot 0,0226^{-0,19} = 1,022 \text{ h}$$

4.6.2.5. Factor de intensidad.

El factor de intensidad, F_{int} , introduce la torrencialidad de la lluvia en el área de estudio, y para su cálculo se tomará el mayor valor de los obtenidos de entre los que se indican a continuación.

ANEJO VII

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

Siendo:

F_{int} = Factor de intensidad.

F_a = Factor obtenido a partir del índice de torrencialidad (I_1/I_d).

F_b = Factor obtenido a partir de las curvas IDF de un pluviógrafo próximo.

- **Obtención de F_a .**

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

Siendo:

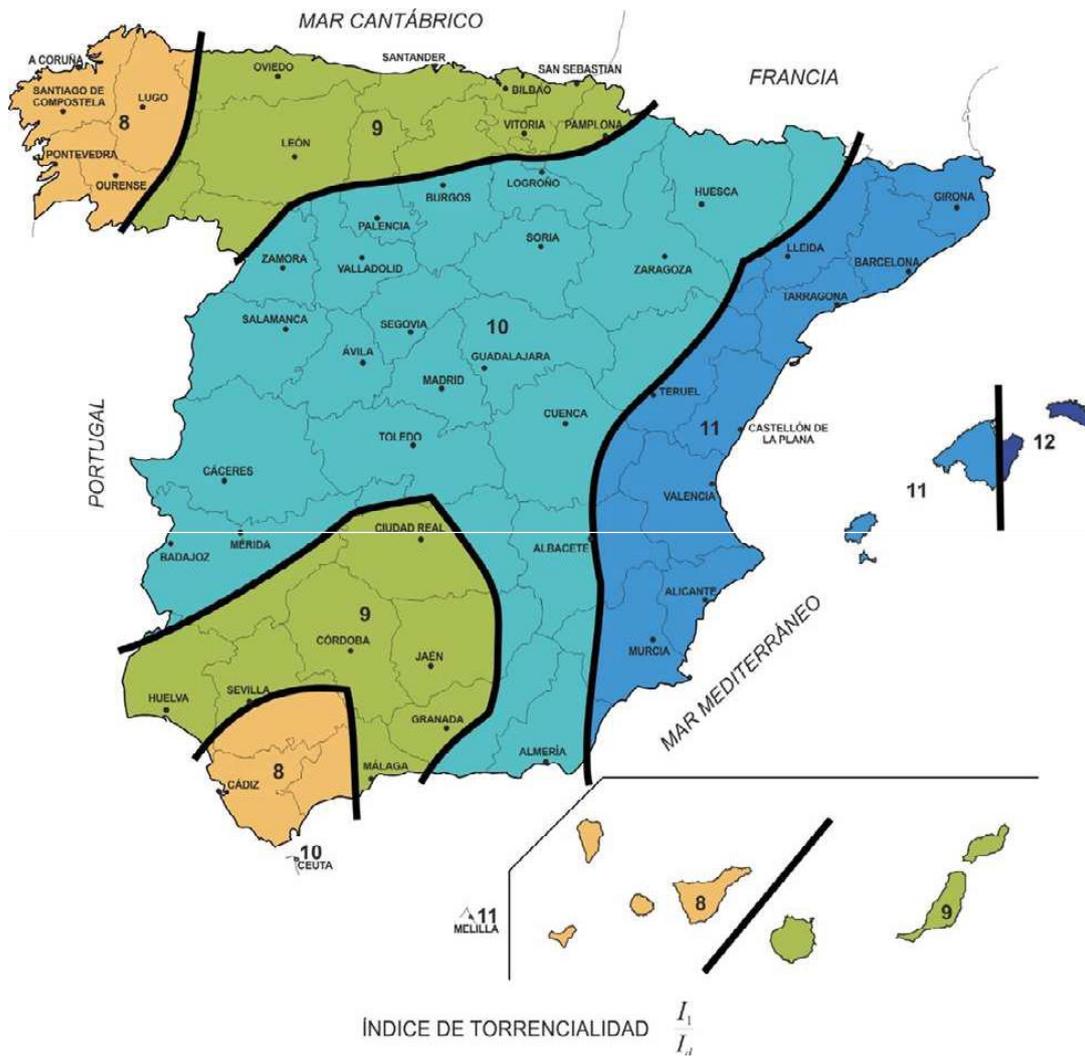
F_a = Factor obtenido a partir del índice de torrencialidad.

I_1/I_d = Índice de torrencialidad, que expresa la relación entre la intensidad de precipitación horaria y la media diaria corregida. Su valor se determina en función de la zona geográfica a partir de la *Imagen 6*.

t (h) = Duración del aguacero.

Para la obtención del factor F_a se debe particularizar la expresión para un tiempo de duración del aguacero igual al tiempo de concentración ($t=t_c$).

ANEJO VII



Por lo tanto,

$$F_a = (9)^{3,5287-2,5287 \cdot 1,02^{0,1}} = 8,892$$

- **Obtención de F_b .**

$$F_b = k_b \cdot \frac{I_{IDF}(T, t_c)}{I_{IDF}(T, 24)}$$

ANEJO VII

Siendo:

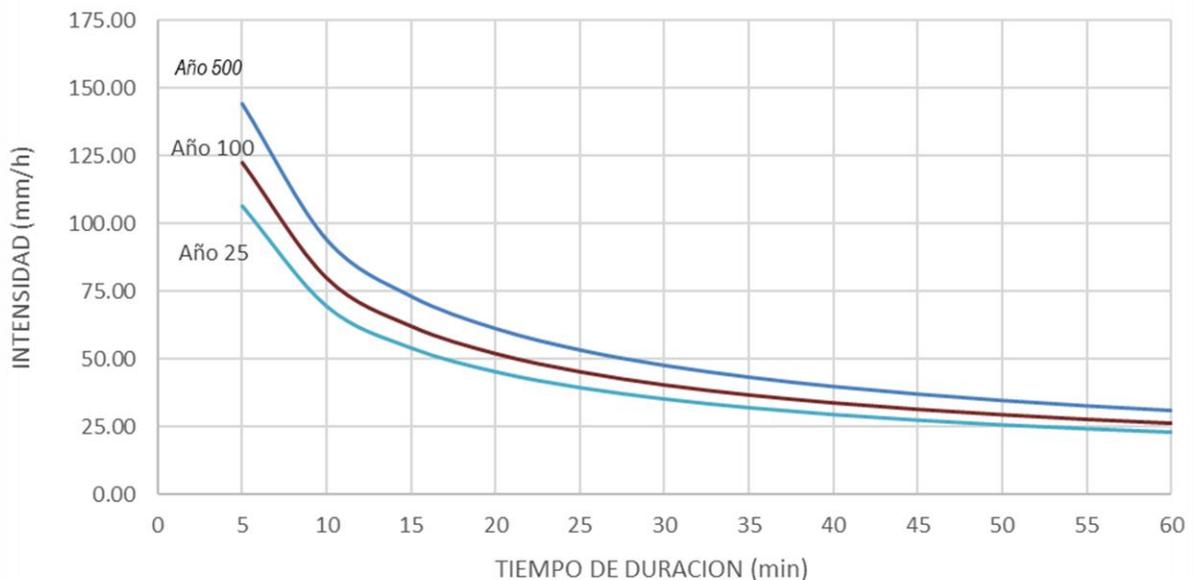
F_b = Factor obtenido a partir de las curvas IDF de un pluviógrafo próximo.

$I_{IDF}(T, t_c)$ (mm/h) = Intensidad de precipitación correspondiente al periodo de retorno T y al tiempo de concentración t_c , obtenido a través de las curvas IDF.

$I_{IDF}(T, 24)$ (mm/h) = Intensidad de precipitación correspondientes al periodo de retorno T y a un tiempo de aguacero igual a veinticuatro horas, obtenido a través de las curvas IDF.

k_b = Factor que tiene en cuenta la relación entre la intensidad máxima anual en un periodo de veinticuatro horas y la intensidad máxima anual diaria. En defecto de un cálculo específico se puede tomar $k_b = 1,13$.

Las curvas IDF, han sido calculadas, para la cuenca de estudio y para los periodos de retorno de estudio, cuyo resultado se muestra a continuación.



ANEJO VII

Por lo tanto,

PERIODO DE RETORNO	F_b
T_{25}	7,91
T_{100}	7,91
T_{500}	7,91

4.6.2.6. Intensidad de precipitación.

La intensidad de precipitación $I(T, t_c)$ correspondiente a cada periodo de retorno y a una duración de aguacero t_c , es la siguiente:

PERIODO DE RETORNO	$I(T, t_c)$ (mm/h)
T_{25}	35,32
T_{100}	45,26
T_{500}	58,15

4.6.3. Coeficiente de escorrentía.

El coeficiente de escorrentía C , define la parte de la precipitación de intensidad $I(T, t_c)$ que genera el caudal de avenida en el punto de desagüe de la cuenca.

El coeficiente de escorrentía C , depende del umbral de escorrentía P_0 , que se obtiene mediante la siguiente expresión.

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

Siendo:

P_0 (mm) = Umbral de escorrentía.

P_0^i (mm) = Valor inicial del umbral de escorrentía.

β = Coeficiente corrector del umbral de escorrentía.

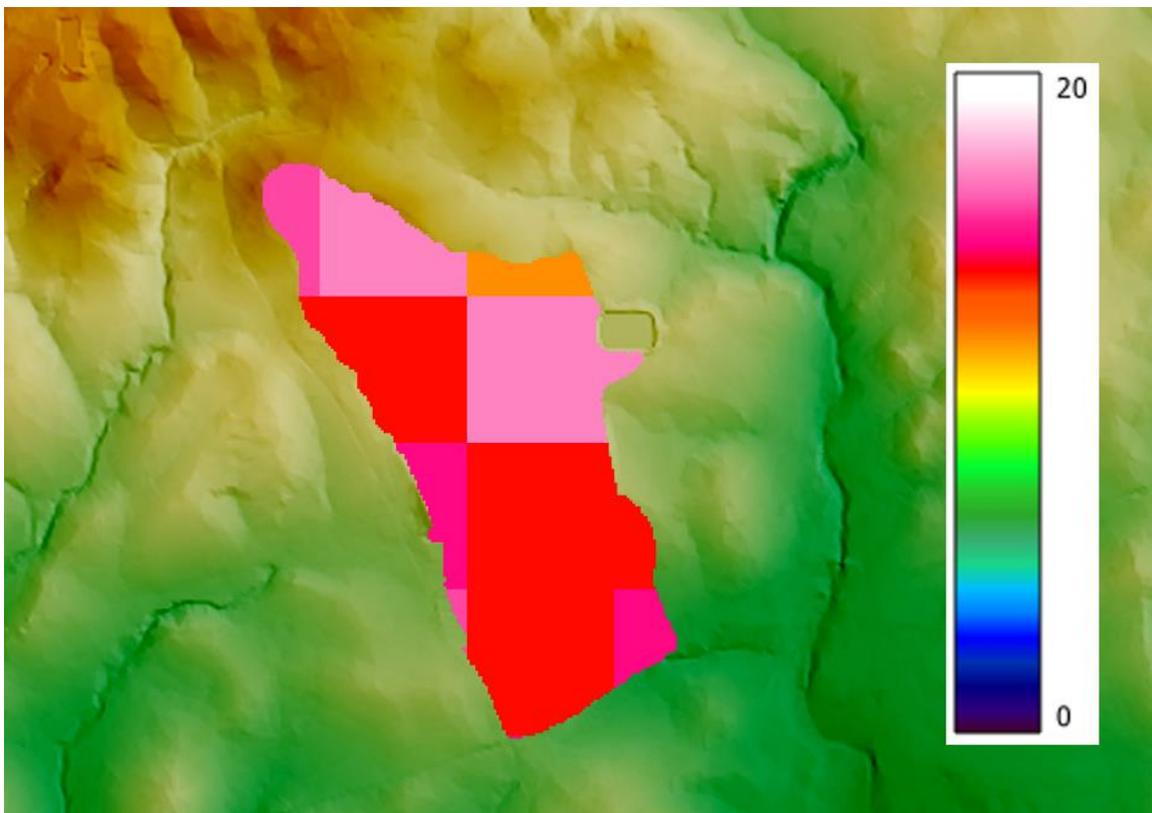
ANEJO VII

4.6.3.1. Valor inicial del umbral de escorrentía.

El valor inicial del umbral de escorrentía $P\theta^i$, se determina a través de las series de datos o mapas publicados por la Dirección General de Carreteras, en los que se obtenga directamente el valor de $P\theta^i$ para una determinada localización geográfica. Normalmente, dicho valor en cada punto se obtendrá como promedio en la cuenca vertiente al punto de cálculo de una determinada discretización espacial llevada a cabo sobre el territorio.

Para su obtención, se ha utilizado la capa SIG del umbral de escorrentía en condiciones de humedad media del suelo para el método racional modificado, obtenido a partir de los usos del suelo del *Corine Land Cover 2000* y de acuerdo con la metodología expuesta en la publicación “*Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parámetro número de curva: perfiles de suelo y teledetección*”, editado por el CEDEX 2003, adaptada a la clasificación de usos del suelo del CLC-2000.

El resultado del análisis se recoge en la imagen mostrada a continuación:



ANEJO VII

El valor inicial del umbral de escorrentía obtenido es el siguiente.

$$P_0^1 = 14,97 \text{ mm}$$

4.6.3.2. Coeficiente corrector del umbral de escorrentía.

La formulación del método racional efectuada en los epígrafes precedentes requiere una calibración con datos reales de las cuencas, que se introduce en el método a través de un coeficiente corrector del umbral de escorrentía β .

En nuestro caso, como no se dispone de información suficiente en la propia cuenca de estudio o en cuencas próximas similares, para llevar a cabo la calibración se tomará el valor del coeficiente corrector a partir de los datos de la tabla e imagen siguientes.

Región	Valor β_m	Desviación respecto al valor medio			Período de retorno T (años), F_T				
		50% $\Delta 50$	67% $\Delta 67$	90% $\Delta 90$	2	5	25	100	500
11	0,9	0,2	0,3	0,5	0,8	0,9	1,13	1,34	1,59
12	0,95	0,2	0,25	0,45	0,75	0,9	1,14	1,33	1,56
13	0,6	0,15	0,25	0,4	0,74	0,9	1,15	1,34	1,55
21	1,2	0,2	0,35	0,55	0,74	0,88	1,18	1,47	1,9
22	1,5	0,15	0,2	0,35	0,74	0,9	1,12	1,27	1,37
23	0,7	0,2	0,35	0,55	0,77	0,89	1,15	1,44	1,82
24	1,1	0,15	0,2	0,35	0,76	0,9	1,14	1,36	1,63
25	0,6	0,15	0,2	0,35	0,82	0,92	1,12	1,29	1,48
31	0,9	0,2	0,3	0,5	0,87	0,93	1,1	1,26	1,45
32	1	0,2	0,3	0,5	0,82	0,91	1,12	1,31	1,54
33	2,15	0,25	0,4	0,65	0,7	0,88	1,15	1,38	1,62
41	1,2	0,2	0,25	0,45	0,91	0,96	1	1	1
42	2,25	0,2	0,35	0,55	0,67	0,86	1,18	1,46	1,78
511	2,15	0,1	0,15	0,2	0,81	0,91	1,12	1,3	1,5
512	0,7	0,2	0,3	0,5	1	1	1	1	1
52	0,95	0,2	0,25	0,45	0,89	0,94	1,09	1,22	1,36
53	2,1	0,25	0,35	0,6	0,68	0,87	1,16	1,38	1,56
61	2	0,25	0,35	0,6	0,77	0,91	1,1	1,18	1,17
71	1,2	0,15	0,2	0,35	0,82	0,94	1	1	1
72	2,1	0,3	0,45	0,7	0,67	0,86	1	-	-
81	1,3	0,25	0,35	0,6	0,76	0,9	1,14	1,34	1,58
821	1,3	0,35	0,5	0,85	0,82	0,91	1,07	-	-
822	2,4	0,25	0,35	0,6	0,7	0,86	1,16	-	-

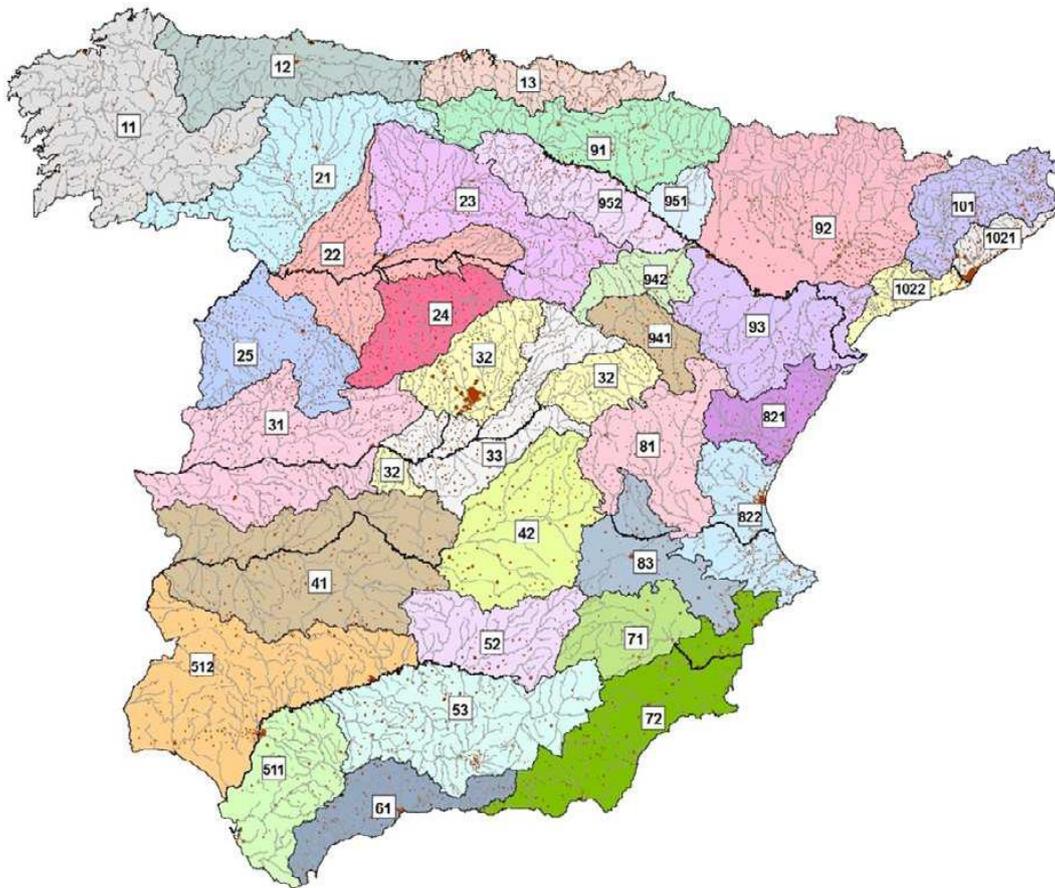
ANEJO VII

Región	Valor β_m	Desviación respecto al valor medio			Período de retorno T (años), F_T				
		50% $\Delta 50$	67% $\Delta 67$	90% $\Delta 90$	2	5	25	100	500
83	2,3	0,15	0,25	0,4	0,63	0,85	1,21	1,51	1,85
91	0,85	0,15	0,25	0,4	0,72	0,88	1,19	1,52	1,95
92	1,45	0,3	0,4	0,7	0,82	0,94	1	1	1
93	1,7	0,2	0,25	0,45	0,77	0,92	1	1	1
941	1,8	0,15	0,2	0,35	0,68	0,87	1,17	1,39	1,64
942	1,2	0,15	0,25	0,4	0,77	0,91	1,11	1,24	1,32
951	1,7	0,3	0,4	0,7	0,72	0,88	1,17	1,43	1,78
952	0,85	0,15	0,25	0,4	0,77	0,9	1,13	1,32	1,54
101	1,75	0,3	0,4	0,7	0,76	0,9	1,12	1,27	1,39
1021	1,45	0,15	0,25	0,4	0,79	0,93	1	1	1
1022	2,05	0,15	0,25	0,4	0,79	0,93	1	1	1

En Ceuta y Melilla se adoptarán valores similares a los de la región 61.

Pueden obtenerse valores intermedios por interpolación adecuada a partir de los datos de esta tabla

En todos los casos $F_{10}=1,00$



ANEJO VII

Luego, teniendo en cuenta que nuestra cuenca se encuentra en la región 512, para los distintos periodos de retorno se obtienen los siguientes coeficientes correctores, a partir de la siguiente expresión.

$$\beta^{PM} = \beta_m \cdot F_T = 2,1 \cdot 1,38 = 2,90$$

PERIODO DE RETORNO	β_m	F_T	β^{PM}
T_{25}	0,7	1	0,7
T_{100}	0,7	1	0,7
T_{500}	0,7	1	0,7

4.6.3.3. Umbral de escorrentía.

Finalmente, el umbral de escorrentía P_0 , para cada periodo de retorno, será el siguiente:

PERIODO DE RETORNO	P_0
T_{25}	10,48
T_{100}	10,48
T_{500}	10,48

4.6.3.4. Coeficiente de escorrentía.

Debido a que:

$$P_d \cdot K_A > P_0$$

PERIODO DE RETORNO	$P_d \cdot K_A$	P_0
T_{25}	95,34	10,48
T_{100}	122,15	10,48
T_{500}	156,94	10,48

Por lo tanto, el coeficiente de escorrentía se obtiene a partir de la siguiente expresión:

ANEJO VII

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

Siendo:

C = Coeficiente de escorrentía.

P_d (mm) = Precipitación diaria correspondiente al período de retorno T considerado.

K_A = Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca.

P_0 (mm) = Umbral de escorrentía

Finalmente, el coeficiente de escorrentía para cada periodo de retorno es el siguiente:

PERIODO DE RETORNO	C
T_{25}	0,64
T_{100}	2,03
T_{500}	2,66

4.6.4. Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación.

El coeficiente K_t , tiene en cuenta la falta de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación y se obtiene a través de la siguiente expresión.

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

Siendo:

K_t = Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación.

t_c (h) = Tiempo de concentración de la cuenca.

ANEJO VII

Por lo tanto,

$$K_t = 1 + \frac{1,02^{1,25}}{1,02^{1,25} + 14} = 1,07$$

4.6.5. Caudales de Proyecto. Método Racional.

De acuerdo con la metodología desarrollada, se calcula el caudal máximo anual Q_T , correspondiente a cada periodo de retorno, a partir de la expresión anteriormente descrita, cuyos resultados se muestran a continuación.

PERIODO DE RETORNO	Q_T (m ³ /s)
T_{25}	8,93
T_{100}	12,79
T_{500}	17,97

5. CÁLCULOS HIDRÁULICOS.

5.1. Metodología.

La obtención de la zona de inundación para cada periodo de retorno, se llevará a cabo mediante el uso de la herramienta informática *IBER*, la cual permite realizar modelos matemáticos bidimensionales con aplicación a la hidráulica y morfología fluvial.

Los modelos bidimensionales ofrecen grandes ventajas respecto a los cálculos con modelos unidimensionales, ya sean en régimen variable o en régimen permanente, dando una mayor estabilidad y convergencia que los anteriores. Además, los modelos bidimensionales son capaces de simular con mayor precisión la realidad de todas aquellas situaciones en las que el flujo no es exclusivamente unidireccional, ampliándose enormemente su campo de utilización.

Partiendo del caudal de avenida para cada periodo de retorno y del modelo digital de elevaciones de la zona de estudio, se realizará una simulación para obtener la zona de inundación.

ANEJO VII

Una vez realizadas las simulaciones, *IBER* permite generar y exportar los ficheros *rasters* con los resultados de cada simulación, para así poder visualizar la información software GIS.

5.2. Simulaciones previas.

5.2.1. Caudal de simulación.

Los caudales a emplear en la simulación son los obtenidos anteriormente para cada periodo de retorno, los cuales se muestran a continuación.

PERIODO DE RETORNO	Q_T (m ³ /s)
T_{25}	8,93
T_{100}	12,79
T_{500}	17,97

5.3. Modelo digital del terreno.

Para realizar la simulación es necesario elaborar un modelo digital del terreno (MDT), que refleje fielmente la realidad del terreno por donde discurrirá la avenida.

Para ello, se ha realizado un levantamiento topográfico que ha sido introducido en el programa informático *IBER*.

5.4. Condiciones hidrodinámicas.

Las condiciones hidrodinámicas que se han tenido en cuenta para la realización de las simulaciones en el programa informático *IBER* han sido las siguientes:

- **CONDICIONES DE CONTORNO**

1. CONDICIÓN DE ENTRADA:

- Régimen: Crítico/Subcrítico
- Caudal = Dependiendo del periodo de retorno

2. CONDICIÓN DE SALIDA:

- Régimen: Supercrítico/crítico

ANEJO VII

- **CONDICIONES INICIALES**

3. CONDICIÓN INICIAL:

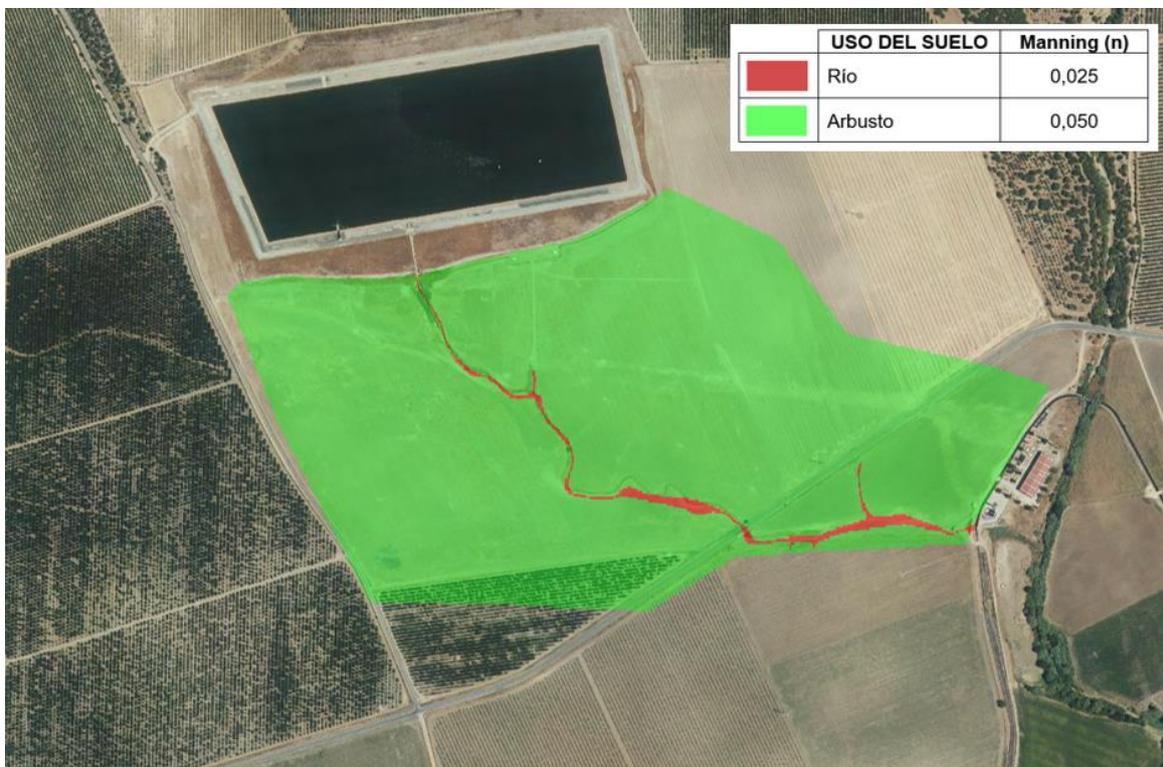
– Calado = 0,00 m

5.5. Coeficientes de rugosidad del terreno.

El parámetro hidráulico que ha de introducirse para reflejar la pérdida de energía continua generada por la fricción entre la superficie del lecho del cauce y el agua es la rugosidad del terreno.

La rugosidad de terreno es particular para cada tipo de terreno, estableciéndose para cada terreno un factor de rugosidad determinado, también conocido como *n de Manning*.

En nuestro caso, los factores de rugosidad se asignan de manera automática a través de un fichero ASCII, generado con software GIS, empleando los siguientes valores:

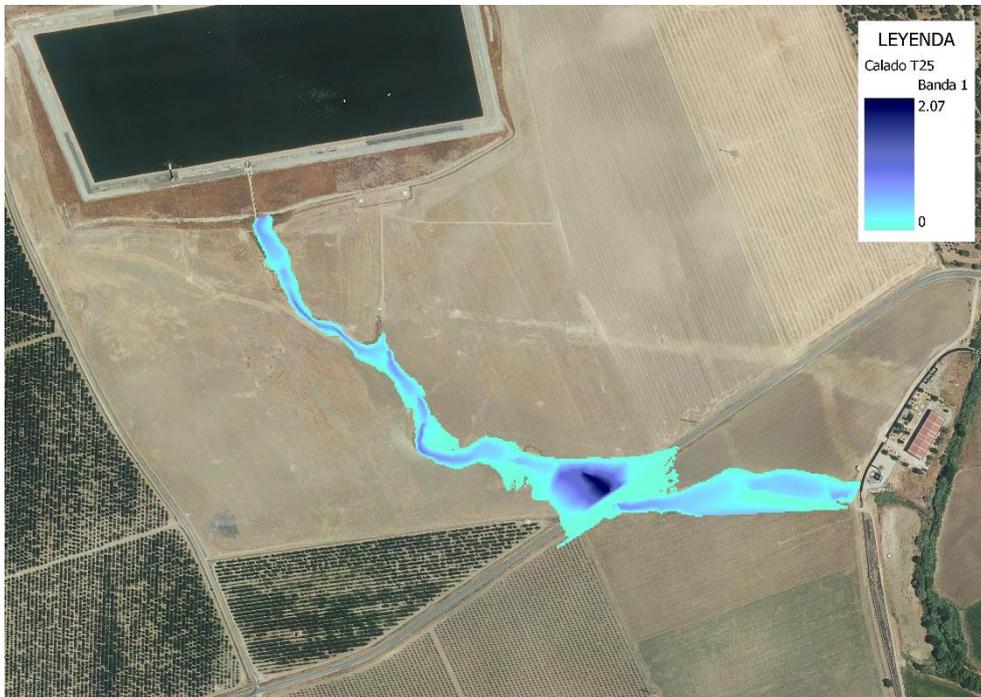


ANEJO VII

5.6. Resultados de las simulaciones.

5.6.1. Periodo de retorno T_{25} .

5.6.1.1. Mapa de calados para $T = 25$ años.



5.6.1.2. Mapa de velocidades para $T = 25$ años.



ANEJO VII

5.6.2. Periodo de retorno T_{100} .

5.6.2.1. Mapa de calados para $T = 100$ años.



5.6.2.2. Mapa de velocidades para $T = 100$ años.



ANEJO VII

5.6.3. Período de retorno T_{500} .

5.6.3.1. Mapa de calados para $T = 500$ años.



5.6.3.2. Mapa de velocidades para $T = 500$ años.

