
Anejo n.º 5. Drenaje.

HOJA DE CONTROL.

| | | | | | |
|------------------|---|--------------------|--|---|---|
| <i>Proyecto</i> | PROYECTO DE REHABILITACIÓN Y REFUERZO DE TÚNELES DE IRAETA Y ARROA DEL FERROCARRIL DEL UROLA | | | <i>Nº Proyecto:</i> | 22044 |
| <i>Documento</i> | Anejo n.º 5. Drenaje. | | | <i>Referencia:</i> | 22044-AN03_drenaj_01_v00 |
| <i>Versión</i> | <i>Fecha</i> | <i>Fichero</i> | 22044_AN05_drenaj_01_v01.docx | | |
| Versión 0 | 20/09/2023 | <i>Descripción</i> | Drenaje. | | |
| | | | <i>Preparado</i> | <i>Revisado</i> | <i>Aprobado</i> |
| | | <i>Nombre</i> | Aritz Martínez. Team Ingeniería | Mª Luisa Uriel Torre Team Ingeniería | Mª Luisa Uriel Torre Team Ingeniería |

Índice.

| | |
|---|-----------|
| 1. OBJETO DEL ANEJO. | 1 |
| 2. METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE CAUDALES | 1 |
| 2.1. TRAMOS A CIELO ABIERTO | 1 |
| 2.2. TÚNEL EN MINA..... | 10 |
| 3. DESCRIPCIÓN DE LAS REDES DE DRENAJE | 11 |
| 3.1. TRAMO A CIELO ABIERTO | 11 |
| 3.2. TUNEL EN MINA..... | 11 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Máximas lluvias diarias | 3 |
| Tabla 2. Umbral de escorrentía | 6 |
| Tabla 3. Caudal de infiltración | 10 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Mapa “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular” en la zona de estudio..... | 2 |
| Figura 2. Tabla K_T según “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular”..... | 2 |
| Figura 3. Figura 2.4 de la Instrucción 5.2 IC de Drenaje Superficial. Mapa del índice de torrencialidad (I_1/I_d)..... | 4 |
| Figura 4. Delimitación de la cuenca | 6 |
| Figura 5. Figura 2.9 de la Instrucción 5.2 IC de Drenaje Superficial. Regiones para la caracterización de coeficiente corrector del umbral de escorrentía | 7 |
| Figura 6. Tabla 2.5 de la Instrucción 5.2 IC de Drenaje Superficial. Coeficiente corrector del umbral de escorrentía por regiones | 7 |
| Figura 7. Caudales de la cuenca para cada periodo de retorno | 9 |
| Figura 8. Cálculo de la cuneta | 11 |

1. OBJETO DEL ANEJO.

El objeto del presente Anejo es la descripción del proceso de diseño y dimensionamiento de los elementos de drenaje que contempla el presente PROYECTO DE REHABILITACIÓN Y REFUERZO DE TÚNELES DE IRAETA Y ARROA DEL FERROCARRIL DEL UROLA.

El primer paso consiste en la determinación de los caudales de diseño para poder dimensionar la sección que precisan los elementos de drenaje. Así, en el apartado nº 2 se explica cuál ha sido la metodología utilizada para la determinación de los caudales de diseño para las redes de drenaje a las que accede directamente el agua de lluvia correspondiente al tramo que se ejecuta a cielo abierto, o el agua de infiltración en el caso del túnel.

Para la definición de los elementos de drenaje, se diferencian tres zonas principalmente:

- Túnel de Arroa
- Túnel de Iraeta
- Tramo a cielo abierto

2. METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE CAUDALES

Previo a la realización de las comprobaciones y cálculo de los elementos que componen la Red de Drenaje es necesaria la obtención de los caudales de partida básicos para el cálculo.

Así, se expone a continuación la metodología empleada para la obtención de dichos caudales, diferenciándose, por un lado, los tramos de trazado que se configuran a cielo abierto y en los que serán de aplicación las Normas de Drenaje Superficial y por otro, los tramos subterráneos excavados en mina, con una metodología específica para Drenaje Subterráneo y que también se describe.

2.1. TRAMOS A CIELO ABIERTO

El objeto de esta parte del anejo es fijar las máximas intensidades de lluvia previsible en la zona de proyecto para un período de retorno a considerar, y a partir de ellos obtener los caudales de cálculo para el futuro dimensionamiento de los distintos elementos de drenaje.

Para ello se han tomado los datos pluviométricos extremos aportados por la publicación “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular”

Para el cálculo de caudales se ha seguido la metodología propuesta por la Instrucción 5.2-IC “Drenaje Superficial”. Debido a la superficie de cuenca a analizar se deberá aplicar el método racional.

Siguiendo el método racional, el caudal máximo anual Q_T , correspondiente a un período de retorno T , se calcula mediante la fórmula:

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

Dónde:

- Q_T (m³/s): caudal máximo anual correspondiente al período de retorno T , en el punto de desagüe de la cuenca
- $I(T, t_c)$ (mm/h): Intensidad de precipitación correspondiente al período de retorno considerado T , para una duración del aguacero igual al tiempo de concentración t_c , de la cuenca.
- C (adimensional): Coeficiente medio de escorrentía de la cuenca o superficie considerada.
- A (km²): Área de la cuenca o superficie considerada.
- K_t (adimensional): Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación

2.1.1. Periodo de retorno

Período de retorno T es el periodo de tiempo expresado en años, para el cual el caudal máximo anual tiene una probabilidad de ser excedido igual a $1/T$.

La probabilidad de que en un año se produzca un caudal máximo superior al de período de retorno T viene dada por la siguiente expresión:

$$p(Q > Q_T) = \frac{1}{T}$$

Donde:

- Q (m^3/s): Caudal máximo anual
- Q_T (m^3/s): Caudal máximo anual correspondiente al periodo de retorno T
- T (años): Periodo de retorno

En principio se recomienda adoptar periodos de retorno no inferiores a 25 años en el caso de elementos de drenaje superficial de la plataforma y márgenes, 50 años para pasos inferiores con dificultades para desaguar por gravedad y de 100 años para el caso de obras de drenaje transversal.

2.1.2. Intensidades máximas en 24 horas

Las precipitaciones máximas en 24 horas se obtienen de las isolíneas que corresponden a la zona estudiada, asociadas a cada periodo de retorno analizado según la publicación “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular”.

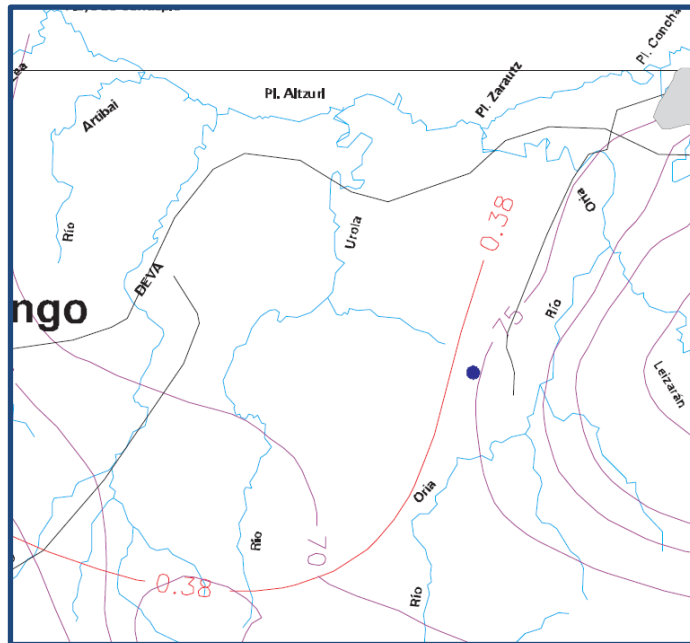


Figura 1. Mapa “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular” en la zona de estudio.

De la Figura 1 obtenemos los datos de Precipitación máxima diaria (isolíneas de color violeta), que para este caso adoptaremos $P = 75mm/día$ y el Coeficiente de Variación (isolíneas de color rojo), siendo $C_v = 0,38$.

Con estos datos, el factor de amplificación K_T para cada periodo de retorno será el siguiente:

| 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 |

Figura 2. Tabla K_T según “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular”.

Teniendo en cuenta que $P_{max} / \text{día} (T_x) = P \times K_{Tx}$ obtenemos los siguientes datos:

| Periodo de retorno | 10 años | 25 años | 50 años | 100 años | 500 años |
|-------------------------|---------|---------|---------|----------|----------|
| Máximas Lluvias Diarias | 110 | 134 | 154 | 175 | 226 |

Tabla 1. Máximas lluvias diarias

2.1.3. Cálculo de la Intensidad Media de Precipitación

El cálculo de la intensidad de precipitación $I(T,t)$ correspondiente a un periodo de retorno T , y a una duración de aguacero t , a emplear en la estimación de caudales por el método racional, se ha obtenido por medio de la siguiente fórmula:

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

Dónde:

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

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 Q_T , es la que corresponde a una duración de aguacero igual al tiempo de concentración ($t=t_c$) de dicha cuenca.

Dentro de estos parámetros, la intensidad media diaria de precipitación corregida al periodo de retorno T , se obtiene de:

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

Dónde:

- I_d (mm/h): Intensidad de precipitación correspondiente al período de retorno T y una duración del aguacero igual t .
- P_d (mm): Precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno T .
- K_A (adimensional): Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca.

El factor reductor de la precipitación por área de la cuenca K_A , tienen en cuenta la no simultaneidad de la lluvia en toda su superficie. Se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

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

Dónde:

- K_A (adimensional): Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca.
- A (km²): Área de la cuenca o superficie considerada.

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

- La duración del aguacero t
- El periodo de retorno T , si se dispone de curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) aceptadas por la Dirección General de Carreteras, 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:

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

Dónde:

- F_{int} (adimensional): Factor de intensidad
- F_a (adimensional): Factor obtenido a partir del índice de torrencialidad (I_1/I_d)
- F_b (adimensional) Factor obtenido a partir de las curvas IDF de un pluviógrafo próximo. Al no disponer de estas curvas IDF se eliminará este parámetro, suponiendo $F_{int} = F_a$

Para la determinación de F_a se utiliza la siguiente fórmula:

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

Donde:

- (I_1/I_d) (adimensional): índice de torrencialidad que expresa la relación entre la intensidad de precipitación horaria y la media diaria corregida, determinando su valor en función de la zona geográfica. Para la zona objeto del proyecto se tomar el **valor 9** según la Figura 2.4 de la IC 5.2 que se muestra a continuación.
- T (horas): la duración del aguacero.

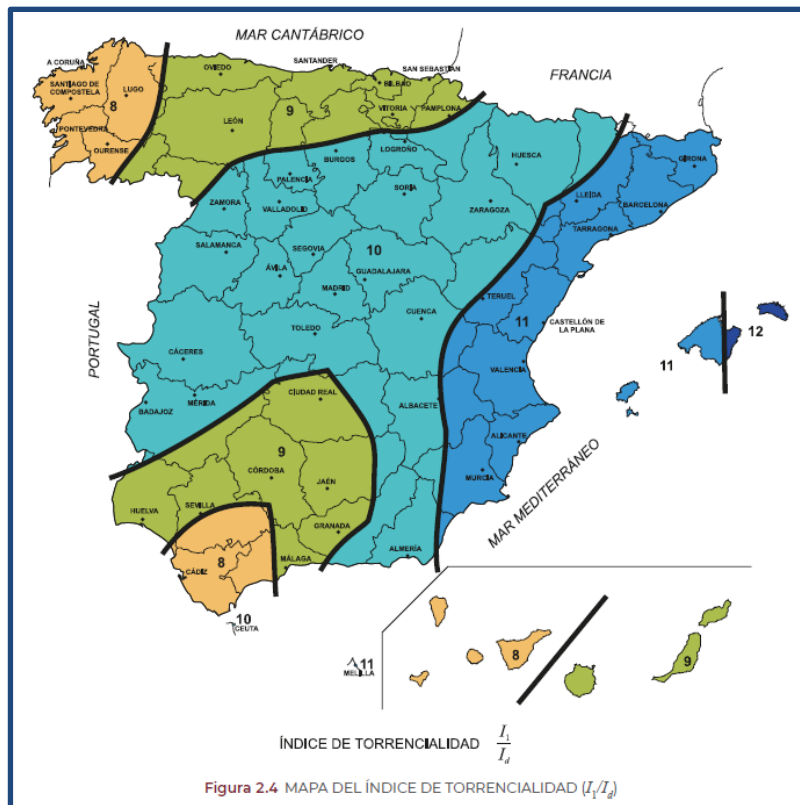


Figura 3. Figura 2.4 de la Instrucción 5.2 IC de Drenaje Superficial. Mapa del índice de torrencialidad (I_1/I_d)

2.1.4. Tiempo de concentración

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 fórmula:

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

Dónde:

- t_c (horas): Tiempo de concentración
- L_c (km): Longitud del cauce
- J_c (adimensional) Pendiente media del cauce

Dado que el tiempo de concentración depende de la longitud y pendiente del cauce escogido, deben tantearse diferentes cauces o recorridos del agua, incluyendo siempre en los tanteos los de mayor longitud y menor pendiente. El cauce (o recorrido) que debe escogerse es aquél que da lugar a un valor mayor del tiempo de concentración t_c .

2.1.5. 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, se obtiene mediante la siguiente fórmula:

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

Dónde:

- C (adimensional): Coeficiente de escorrentía
- P_d (mm): Precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno T considerado
- K_A (adimensional): Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca.
- P₀ (mm): Umbral de escorrentía.

El umbral de escorrentía P₀, representa la precipitación mínima que debe caer sobre la cuenca para que se inicie la generación de escorrentía. Se determina la siguiente fórmula:

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

Dónde:

- P₀ (mm): Umbral de escorrentía.
- P₀ⁱ (mm): Valor inicial del umbral de escorrentía
- β (adimensional): Coeficiente corrector del umbral de escorrentía.

Para el cálculo inicial del umbral de escorrentía se utiliza la tabla 2.3 de la 5.2 IC.

El umbral de escorrentía P₀ depende de la pendiente, del uso que se da a la tierra, de las características hidrológicas y del tipo de suelo. Para clasificar los terrenos se han utilizado la siguiente información:

- Sistema de Cartografía ambiental de la C.A.P.V editado por el Gobierno Vasco.
- Visitas al lugar objeto del proyecto

Inicialmente se define el grupo de suelo, el cual determina el comportamiento del mismo desde el punto de vista de la infiltración y por tanto del drenaje. A partir de la información geológica de la zona el grupo de suelo considerado será C, según la instrucción 5.2-IC. Drenaje Superficial.

El suelo C corresponde a una infiltración lenta con potencia media a pequeña y textura franco-arcillosa, franco-arcillo-limosa y/o Arcillo-arenosa, lo que da lugar a un drenaje considerado como imperfecto.

En cuanto a los usos del suelo se ha considerado el valor de bosques mixtos, adoptando para la zona de la plataforma a cielo abierto el valor correspondiente a "Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados"

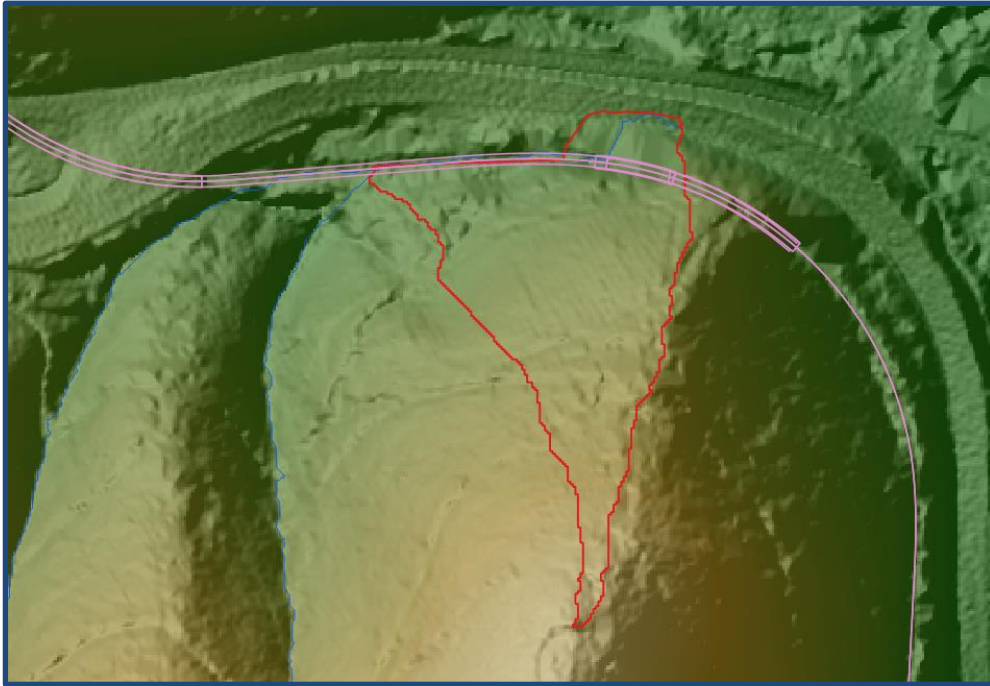


Figura 4. Delimitación de la cuenca

Por tanto:

| Cuenca | Tipo suelo | % | $P_{o,i}^i$ | P_o^i |
|--------|------------|--------|-------------|---------|
| 1 | Bosque | 98,37% | 31 | 30,51 |
| | Plataforma | 1,63% | 1 | |

Tabla 2. Umbral de escorrentía

La formulación del método racional 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 .

Se calcula como el producto del valor medio de la región del coeficiente corrector del umbral de escorrentía por un factor dependiente del periodo de retorno T considerado para el caudal de proyecto, es decir:

$$\beta^{PM} = \beta_m \cdot F_T$$

Dónde:

- β^{PM} (adimensional): Coeficiente corrector del umbral de escorrentía para drenaje de plataforma y márgenes, o drenaje transversal de vías auxiliares
- β_m (adimensional): Valor medio en la región, del coeficiente corrector del umbral de escorrentía.
- F_T (adimensional): Factor función del periodo de retorno T.

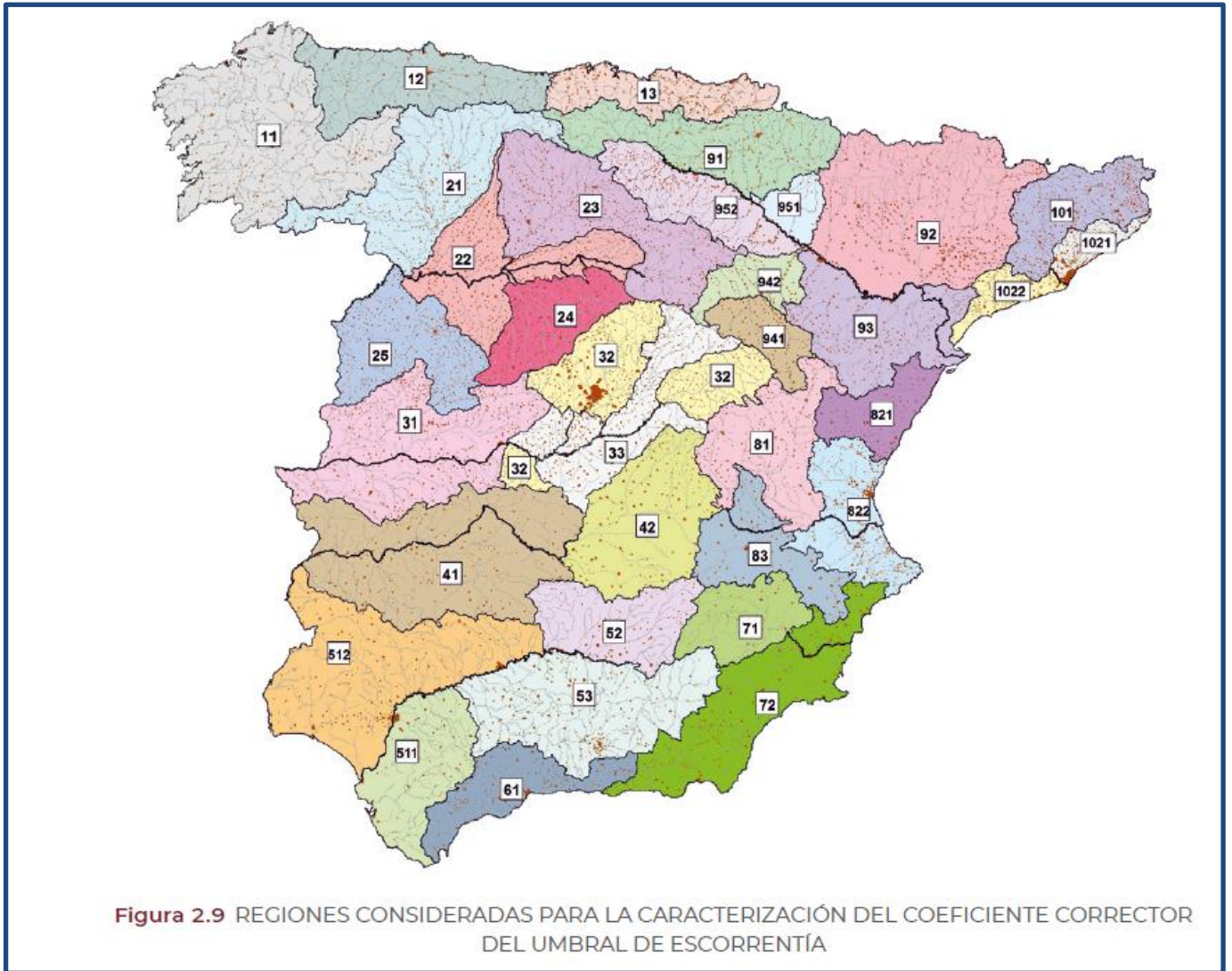


Figura 5. Figura 2.9 de la Instrucción 5.2 IC de Drenaje Superficial. Regiones para la caracterización de coeficiente corrector del umbral de escorrentía

Por tanto, en base lo indicado en la Instrucción 5.2 I.C. de Drenaje Superficial, se obtienen los siguientes valores:

TABLA 2.5. COEFICIENTE CORRECTOR DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA: VALORES CORRESPONDIENTES A CALIBRACIONES REGIONALES

| Región | Valor medio, β_m | Desviación respecto al valor medio para el intervalo de confianza del | | | Período de retorno T (años), F_T | | | | |
|--------|------------------------|---|---------------|---------------|--------------------------------------|------|------|------|------|
| | | 50% | 67% | 90% | 2 | 5 | 25 | 100 | 500 |
| | | Δ_{50} | Δ_{67} | Δ_{90} | | | | | |
| 11 | 0,90 | 0,20 | 0,30 | 0,50 | 0,80 | 0,90 | 1,13 | 1,34 | 1,59 |
| 12 | 0,95 | 0,20 | 0,25 | 0,45 | 0,75 | 0,90 | 1,14 | 1,33 | 1,56 |
| 13 | 0,60 | 0,15 | 0,25 | 0,40 | 0,74 | 0,90 | 1,15 | 1,34 | 1,55 |
| 21 | 1,20 | 0,20 | 0,35 | 0,55 | 0,74 | 0,88 | 1,18 | 1,47 | 1,90 |

Figura 6. Tabla 2.5 de la Instrucción 5.2 IC de Drenaje Superficial. Coeficiente corrector del umbral de escorrentía por regiones

2.1.6. Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal

Por último, se calcula el Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación K_t que tiene en cuenta la falta de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación. Se obtiene a través de la siguiente expresión

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

Dónde:

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

Por tanto, los valores del caudal para cada periodo de retorno es el siguiente:

| T=2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-----------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|---------------|--------|---------|---------|-----------|-------|-------|-----------|----------|-----------------------------|-----------------------------|---------------|
| Cuenca | Area (m2) | Longitud cauce (m) | Cota superior (m) | Cota inferior (m) | Diferencia de cotas (m) | Pendiente (%) | Tc (h) | Pd (mm) | KA (mm) | Id (mm/h) | I1/Id | Fa | It (mm/h) | Pd*Ka/P0 | Coefficiente de escorrentía | Coefficiente de uniformidad | Caudal (m3/s) |
| 1 | 9.688 | 347 | 131 | 50 | 81 | 23,48 | 0,18 | 68,6 | 1,00 | 2,86 | 9 | 21,80 | 62,26 | 3,28 | 0,29 | 1,01 | 0,050 |
| T=5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cuenca | Area (m2) | Longitud cauce (m) | Cota superior (m) | Cota inferior (m) | Diferencia de cotas (m) | Pendiente (%) | Tc (h) | Pd (mm) | KA (mm) | Id (mm/h) | I1/Id | Fa | It (mm/h) | Pd*Ka/P0 | Coefficiente de escorrentía | Coefficiente de uniformidad | Caudal (m3/s) |
| 1 | 9.688 | 347 | 131 | 50 | 81 | 23,48 | 0,18 | 93,0 | 1,00 | 3,88 | 9 | 21,80 | 84,47 | 3,66 | 0,33 | 1,01 | 0,076 |
| T=10 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cuenca | Area (m2) | Longitud cauce (m) | Cota superior (m) | Cota inferior (m) | Diferencia de cotas (m) | Pendiente (%) | Tc (h) | Pd (mm) | KA (mm) | Id (mm/h) | I1/Id | Fa | It (mm/h) | Pd*Ka/P0 | Coefficiente de escorrentía | Coefficiente de uniformidad | Caudal (m3/s) |
| 1 | 9.688 | 347 | 131 | 50 | 81 | 23,48 | 0,18 | 110,0 | 1,00 | 4,58 | 9 | 21,80 | 99,91 | 3,90 | 0,35 | 1,01 | 0,095 |
| T=25 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cuenca | Area (m2) | Longitud cauce (m) | Cota superior (m) | Cota inferior (m) | Diferencia de cotas (m) | Pendiente (%) | Tc (h) | Pd (mm) | KA (mm) | Id (mm/h) | I1/Id | Fa | It (mm/h) | Pd*Ka/P0 | Coefficiente de escorrentía | Coefficiente de uniformidad | Caudal (m3/s) |
| 1 | 9.688 | 347 | 131 | 50 | 81 | 23,48 | 0,18 | 134,0 | 1,00 | 5,58 | 9 | 21,80 | 121,71 | 4,13 | 0,37 | 1,01 | 0,123 |
| T=50 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cuenca | Area (m2) | Longitud cauce (m) | Cota superior (m) | Cota inferior (m) | Diferencia de cotas (m) | Pendiente (%) | Tc (h) | Pd (mm) | KA (mm) | Id (mm/h) | I1/Id | Fa | It (mm/h) | Pd*Ka/P0 | Coefficiente de escorrentía | Coefficiente de uniformidad | Caudal (m3/s) |
| 1 | 9.688 | 347 | 131 | 50 | 81 | 23,48 | 0,18 | 154,0 | 1,00 | 6,42 | 9 | 21,80 | 139,87 | 4,51 | 0,40 | 1,01 | 0,152 |
| T=100 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cuenca | Area (m2) | Longitud cauce (m) | Cota superior (m) | Cota inferior (m) | Diferencia de cotas (m) | Pendiente (%) | Tc (h) | Pd (mm) | KA (mm) | Id (mm/h) | I1/Id | Fa | It (mm/h) | Pd*Ka/P0 | Coefficiente de escorrentía | Coefficiente de uniformidad | Caudal (m3/s) |
| 1 | 9.688 | 347 | 131 | 50 | 81 | 23,48 | 0,18 | 175,0 | 1,00 | 7,29 | 9 | 21,80 | 158,95 | 4,63 | 0,41 | 1,01 | 0,177 |
| T=500 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cuenca | Area (m2) | Longitud cauce (m) | Cota superior (m) | Cota inferior (m) | Diferencia de cotas (m) | Pendiente (%) | Tc (h) | Pd (mm) | KA (mm) | Id (mm/h) | I1/Id | Fa | It (mm/h) | Pd*Ka/P0 | Coefficiente de escorrentía | Coefficiente de uniformidad | Caudal (m3/s) |
| 1 | 9.688 | 347 | 131 | 50 | 81 | 23,48 | 0,18 | 226,0 | 1,00 | 9,42 | 9 | 21,80 | 205,27 | 5,17 | 0,45 | 1,01 | 0,250 |

Figura 7. Caudales de la cuenca para cada periodo de retorno

2.2. TÚNEL EN MINA

Los túneles se diseñan como drenados, es decir, sin contar con posibles cargas hidráulicas desde el punto de vista estructural. Este tipo de solución exige, por tanto, la configuración de una sección permeable de túnel, permitiendo la infiltración de las aguas, que son recogidas y reconducidas al exterior.

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot H}{2,3 \cdot \log\left(\frac{2 \cdot H}{r}\right)}$$

Dónde:

- q (m³/s ml): Caudal por metro lineal de túnel.
- k (m/s): Coeficiente de permeabilidad del terreno
- H (m): Profundidad desde el nivel freático hasta el centro del túnel
- r (m): radio del túnel

Se muestran a continuación los caudales unitarios obtenidos tras la aplicación del método Goodman en los distintos túneles:

| CAUDAL DE INFILTRACIÓN. MÉTODO DE GOODMAN | | | | | | | | | |
|---|--------------|---------------------|--------|--------------------------|--|-----------------------|-------|-------|--------------------------|
| TUNEL | Longitud (m) | k (m/s) Ens. Lugeon | Sondeo | Cota sondeo /terreno (m) | Prof. nivel agua desde boca sondeo (m) | Cota centro túnel (m) | H (m) | r (m) | q (m ³ /s ml) |
| ARROA | 524 | 7,72E-06 | S-1 | 50 | 25 | 52,7 | 28 | 2,52 | 0,00044 |
| IRAETA | 80 | 3,85E-06 | S-2 | 50 | 25 | 53,2 | 28 | 2,52 | 0,00022 |

Tabla 3. Caudal de infiltración

