



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Cálculo Hidrológico del Barranco de los Carriles aplicando el Método Racional modificado por Témez

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Agronómica y del Medio Natural**

**Ingeniería Agroalimentaria y Rural
Recursos Naturales y Medioambiente**

Autor: D. Enrique García Durá

Tutora Académica: Dra. Sara Ibáñez Asensio

CURSO 2016-2017

RESUMEN

El presente Trabajo Final de Grado realiza el cálculo de la escorrentía superficial esperada a consecuencia de lluvias torrenciales de la cuenca hidrográfica del Barranco de los Carriles en el Llano de Nieva (Benagéber).

La cuenca hidrológica presenta dos zonas bien diferenciadas: la forestal, abrupta y montañosa; y la dedicada al cultivo de especies leñosas en secano y cereales de invierno, situada en las cercanías del núcleo poblacional.

El cálculo de los caudales de escorrentía superficial generados por las máximas precipitaciones esperadas se realiza aplicando el método hidrometeorológico o método racional modificado por Témez (1991), que varía ligeramente la metodología de la Instrucción 5.2. I. C. “Drenaje Superficial”, de julio de 1990 del MOPU (hoy Ministerio de Fomento). En los cálculos se han seguido además las “Recomendaciones para el Cálculo Hidrometeorológico de Avenidas” del CEDEX (Centro de Experimentación y Obras Públicas, dependiente del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente).

Para obtener los parámetros hidromorfométricos de la cuenca necesarios en los cálculos se emplea el programa Autocad Map 3D 2017. Para obtener las intensidades máximas se emplean los mapas de las “Máximas Lluvias Diarias en la España Península” de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, considerando los distintos periodos de retorno recomendados por la Confederación Hidrográfica del Júcar (10, 50, 100 y 500 años).

Palabras clave: Escorrentía superficial, Método Racional Modificado, Lluvias torrenciales, cuenca hidrográfica, Barranco de Los Carriles, Benagéber, Instrucción 5.2. Drenaje Superficial, Témez.

ABSTRACT

The present Final Grade's Work calculates the expected surface runoff as a result of torrential rains of the Barranco de los Carriles basin in the Llano de Nieva (Benagéber).

The hydrological basin presents two well differentiated areas: the forest, abrupt and mountainous; and the one dedicated to the cultivation of woody species in rainfed and winter cereals, located in the vicinity of the population nucleus.

The calculation of the surface runoff flows generated by the maximum expected rainfall is carried out by applying the hydrometeorological method or rational method modified by Témez (1991), which slightly modifies the methodology of Instruction 5.2. I. C. "Surface Drainage", July 1990 MOPU (now Ministry of Development). The calculations also followed the "Recommendations for the Hydrometeorological Calculation of Avenues" of CEDEX (Center for Experimentation and Public Works, under the Ministry of Agriculture and Fisheries, Food and Environment).

The Autocad Map 3D 2017 program is used to obtain the hydromorphometric basin parameters required in the calculations. To obtain the maximum intensities, the maps of the "Maximum Daily Rains in Peninsula Spain" of the General Direction of Roads of the Ministry of Development, considering the different return periods recommended by the Hydrographic Confederation of Júcar (10, 50, 100 and 500 years).

Key words: Surface Runoff, Rational Modified Method, Torrential rains, hydrographic basin, Barranco de Los Carriles, Benagéber, Instruction 5.2. Surface Drainage, Témez.

En agradecimiento por todo el apoyo recibido por parte de mi hermano, mi familia, amigos y profesores.

En especial dar las gracias a mis padres, el principal pilar de mi vida, y quienes han estado a mi lado apoyándome constantemente, creyendo en mí y en lo que hacía. Por su inmensurable e incondicional cariño recibido durante siempre, y porque sus valores son parte de mi y la esencia de mi persona. Espero algún día ser como ellos.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	DEFINICION DEL PROBLEMA, JUSTIFICACIÓN Y OBJETO	1
1.2	LOCALIZACIÓN	1
1.3	ESTRUCTURA GENERAL DEL TRABAJO	1
1.4	OBJETIVO	2
2.	CARACTERÍSTICAS DEL TERRITORIO DEL TRABAJO	3
2.1.	CLIMATOLOGÍA	3
2.2.	VEGETACIÓN Y USOS DEL SUELO	4
2.3.	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA.....	4
3.	CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA.....	6
3.1.	DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO	6
3.1.1.	RED DE DRENAJE Y PARÁMETROS HIDROMORFOMÉTRICOS	6
3.2.	CLASIFICACIÓN SUELOS.....	7
3.3.	USOS DEL SUELO	9
4.	MÉTODO RACIONAL MODIFICADO POR TÉMEZ	10
4.1.	INTENSIDAD MÁXIMA DE PRECIPITACIÓN	11
4.1.1.	INTENSIDAD MÁXIMA DIARIA	11
4.1.1.1.	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA	12
4.1.1.1.1.	LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS Y COEFICIENTE DE VARIACIÓN C_v	13
4.1.1.1.2.	CUANTIL REGIONAL Y_t	14
4.1.1.2.	FACTOR REDUCTOR ÁREA	15
4.1.2.	ÍNDICE DE TORRENCIALIDAD.....	15
4.1.3.	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....	16
4.2.	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.....	17
4.2.1.	UMBRAL DE ESCORRENTÍA.....	18
4.2.1.1.	VALOR INICIAL DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA	18
4.2.1.2.	COEFICIENTE CORRECTOR DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA	21
4.3.	COEFICIENTE UNIFORMIDAD	21
5.	CAUDAL MÁXIMO DE REFERENCIA DE LA CUENCA.....	22
5.1.	INTENSIDAD MÁXIMA DE PRECIPITACIÓN	22
5.1.1.	INTENSIDAD MÁXIMA DIARIA	22

5.1.1.1.	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA	23
5.1.1.1.1.	LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS Y COEFICIENTE DE VARIACIÓN Cv	23
5.1.1.1.2.	CUANTIL REGIONAL Yt.....	24
5.1.1.2.	FACTOR REDUCTOR ÁREA	24
5.1.2.	ÍNDICE DE TORRENCIALIDAD.....	25
5.1.3.	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	25
5.2.	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.....	26
5.2.1.	UMBRAL DE ESCORRENTÍA.....	27
5.2.1.1.	VALOR INICIAL DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA	27
5.2.1.2.	COEFICIENTE CORRECTOR DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA	28
5.3.	COEFICIENTE UNIFORMIDAD	32
5.4.	CAUDAL MÁXIMO DE REFERENCIA	33
6.	CONCLUSIONES	33
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	34
8.	ANEXOS	34
	ANEXO Nº1 MAPA DE SITUACIÓN	35
	ANEXO Nº2 MAPA GEOLÓGICO DEL TERRITORIO DE TRABAJO	36
	ANEXO Nº3 MAPA TOPOGRÁFICO DEL TERRITORIO DE TRABAJO	37
	ANEXO Nº4 MAPA DE LA CUENCA DELIMITADA Y RED DE DRENAJE	38
	ANEXO Nº5 MAPA DE SUELOS.....	39
	ANEXO Nº6 MAPA DE SUELOS PARA SU CÁLCULO.....	40
	ANEXO Nº7 MAPA DE APROVECHAMIENTOS DEL SUELO	41
	ANEXO Nº8 MAPA 4-4 VALENCIA	42
	ANEXO Nº9 CÁLCULOS Y RESULTADOS	43
	ANEXO Nº10 ÁLBUM FOTOGRÁFICO	59

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. DIAGRAMA OMBROTÉRMICO DE BENAGEBER.....	3
Figura 2 . ESQUEMA GEOLÓGICO DE LAS CADENAS IBÉRICAS.....	4
Figura 3 . MAPA TOPOGRÁFICO BASE. ESCALA 1: 35.000.....	5
Figura 4. DELIMITACIÓN DE LAS REGIONES CONSIDERADAS HOMOGÉNEAS	12
Figura 5. DIVISIÓN DE LOS MAPAS.....	13
Figura 6. MAPA 4-4 VALENCIA.	13
Figura 7. MAPA DE ISOLÍNEAS.....	15
Figura 8. MAPA DE GRUPOS HIDROLÓGICOS DEL SUELO	18
Figura 9. DIAGRAMA TRIANGULAR PARA DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA EN MATERIALES TIPO SUELO	19
Figura 10. REGIONES CONSIDERADAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL COEFICIENTE CORRECTOR DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA.....	21
Figura 11. MAPA 4-4 VALENCIA AMPLIADO PARA DETERMINAR ZONA DE TRABAJO.....	23

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. CUANTILES REGIONALES Y_t DE LA LEY SQRT – ET MAX O FACTORES DE AMPLIFICACIÓN K_t	14
Tabla 2. GRUPOS HIDROLÓGICOS DE SUELO A EFECTOS DE LA DETERMINACIÓN DEL VALOR INICIAL DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA.....	19
Tabla 3. VALOR INICIAL DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA.	20

1. INTRODUCCIÓN

1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA, JUSTIFICACIÓN Y OBJETO

El clima mediterráneo posee una pluviometría pobre, irregular y torrencial pudiendo desencadenar grandes desastres naturales y pérdida de suelo debido a la erosión hídrica, favoreciendo la desertización.

El objeto del presente trabajo es determinar los caudales máximos de avenida del barranco de los Carriles situado en el municipio de Benagéber (Valencia). Su principal finalidad es determinar el caudal de avenida requerido para trabajos de planificación o actuación, como determinación de zonas inundables o creación de mapas de riesgo; y para la adopción de dimensiones en infraestructuras, ya que numerosos proyectos precisan de obras de drenaje.

1.2 LOCALIZACIÓN

La zona de trabajo es la cuenca del Barranco de los Carriles y se localiza en el municipio de Benagéber, en las proximidades al pueblo. El término limita con las localidades de Requena, Chera, Sinarcas, Tuéjar y Chelva localizándose en la comarca de Los Serranos, dentro de la provincia de Valencia y situada a 109 km de la capital. El acceso al término municipal de Benagéber se realiza por la carretera CV-390 que enlaza la autovía CV-35 (Valencia- Ademuz) con la A-3 (Valencia- Madrid). **Anexo N°1 “Mapa de situación”**.

El término se encuentra a una altitud de 783 m.s.n.m. y ocupa una superficie de 69.8 km². Su población actual es de 207 habitantes según INE (2016) distribuidos en dos núcleos poblacionales, Benagéber la capital municipal y el Poblado del Pantano.

Hidrológicamente el municipio pertenece a la Confederación Hidrográfica del Júcar y sus cursos de agua tienen un régimen marcadamente mediterráneo, característico de sequías en verano frente a elevadas precipitaciones en otoño.

1.3 ESTRUCTURA GENERAL DEL TRABAJO

Primero se describen las características del territorio donde se realiza el trabajo mostrando la climatología, los distintos aprovechamientos del suelo junto con la vegetación existente y la geología más relevante de la zona.

En el segundo apartado se analiza la cuenca, delimitando el área de trabajo mediante las curvas de nivel y sus divisorias de agua para obtener parámetros hidromorfológicos, y su red de drenaje; se realiza una clasificación de los suelos que en ella están presentes y se elabora una cartografía de la zona delimitada junto con su red de drenaje y de los distintos aprovechamientos del suelo.

El tercer apartado explica la metodología adoptada para el cálculo de la escorrentía mediante el método racional modificado por J.R. Témez (1991), que varía ligeramente la metodología de la Instrucción 5.2.- I. C. “Drenaje Superficial”, de julio de 1990 del MOPU (hoy Ministerio de Fomento); igualmente se consideran las “Recomendaciones para el Cálculo Hidrometeorológico de Avenidas” del CEDEX (Centro de Experimentación y Obras Públicas, dependiente del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente). Para ello, se define el cálculo de las intensidades máximas de precipitación a distintos periodos de retorno (10, 50, 100 y 500 años), el cálculo del coeficiente escorrentía junto con la estimación de su umbral y el cálculo del coeficiente de uniformidad.

En el cuarto apartado se realiza el cálculo del caudal máximo de referencia en la cuenca, se muestran tanto los valores adoptados para el cálculo como el procedimiento de la metodología adoptada junto con los resultados obtenidos, y finalmente se determina el caudal máximo de referencia en la cuenca a los distintos periodos de retorno.

El quinto apartado muestra las conclusiones con respecto a los resultados obtenidos y describe las modificaciones adoptadas por Témez en el método modificado.

Por último se encuentra la bibliografía empleada en el presente trabajo, y los anexos, donde se seleccionan los mapas de la zona de trabajo y se refleja la cartografía realizada. Además se muestra en el mismo apartado los cálculos y resultados, y se adjunta el álbum fotográfico de la zona de trabajo.

1.4 OBJETIVO

El objetivo principal es la obtención de los caudales de avenida para distintos periodos de retorno (10, 50, 100, 500 años) a consecuencia de las lluvias máximas esperadas de carácter torrencial en el Barranco de los Carriles.

Para ello, y aplicando el Método Hidrometeorológico modificado por J.R. Témez (1991) se abordan los siguientes objetivos secundarios:

- Obtener características del territorio para conocer la zona de trabajo.
- Obtener parámetros hidromorfométricos de la zona de trabajo para caracterizar la cuenca desde un punto de vista físico.
- Obtener las intensidades máximas esperadas para distintos periodos de retorno causantes de la torrencialidad que genera la escorrentía superficial en la cuenca.
- Obtener el coeficiente medio de escorrentía en la cuenca clasificando el suelo según características que definen su comportamiento hídrico.
- Obtener el coeficiente de uniformidad establecido por Témez en la fórmula racional que tiene en cuenta el reparto temporal de la lluvia que favorece el desarrollo de los caudales punta.

2. CARACTERÍSTICAS DEL TERRITORIO DEL TRABAJO

2.1. CLIMATOLOGÍA

En Benagéber el clima es cálido y templado, con una temperatura media anual de 13°C. El mes más cálido es agosto con una temperatura media de 22,4°C, y enero el más frío con 5,2°C, produciéndose una variación de temperatura media a lo largo del año de 17,2°C.

Normalmente se generan precipitaciones a lo largo de todo el año, incluso en los meses de escasas lluvias y elevadas temperaturas. La precipitación media anual es de 445 mm, con una precipitación media de 19 mm en el mes de julio y 53 mm en mayo. Es decir, una variación de precipitación entre el mes más lluvioso y el más seco de 34 mm.

Su clasificación Köppen-Geiber es Cfa, siendo un clima templado/mesotermal con precipitaciones constantes durante todo el año y superando el mes más caluroso los 22°C. Se caracteriza este clima templado en que la temperatura media del mes más cálido es superior a los 10°C y la del mes más frío entre los -3°C y los 18°C.

Debido a la influencia continental y a la elevada altitud de la zona se generan heladas en los meses de invierno y ocasionalmente nevadas copiosas cuando las condiciones meteorológicas lo permiten.

Su régimen anual de vientos posee una alternancia estacional con predominio de componente oeste en otoño-invierno a causa de la circulación atmosférica general de latitudes medias, y máxima frecuencia de componentes este en primavera-verano debido al refuerzo de las brisas estivales a los vientos marinos, aunque influenciado por factores orográficos. La velocidad media del viento no desciende de los 15-20 km/h clasificándolo generalmente en débil, siendo los vientos más fuertes de componente oeste producidos en invierno hacia primavera, generando graves daños en los árboles de la zona.

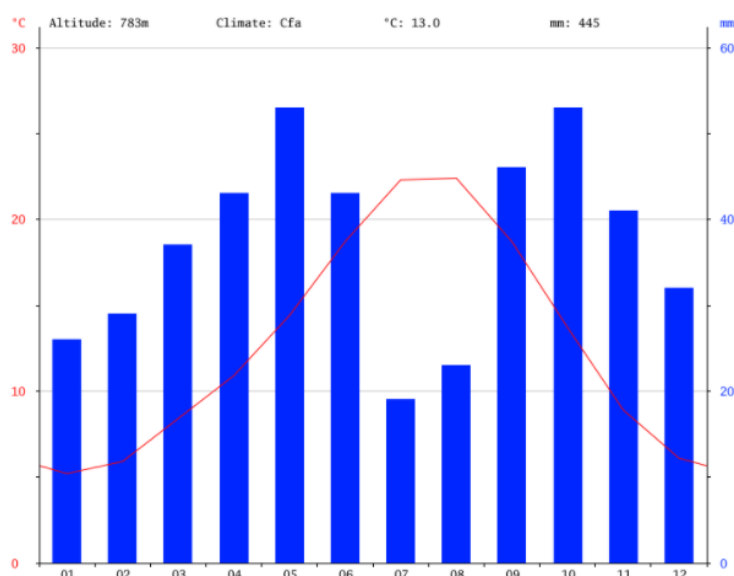


FIGURA 1. Diagrama ombrotérmico de Benagéber.

Fuente: [http:// es.climate-data.org](http://es.climate-data.org).

2.2. VEGETACIÓN Y USOS DEL SUELO

El término municipal de Benagéber, de 69.8 km², cuenta con más del 78% de superficie forestal, siendo en su mayoría de titularidad pública constituyendo una fuente de ingresos por su aprovechamiento maderero y por ser la base de su turismo.

La zona forestal posee un relieve abrupto y montañoso con una elevada variedad de flora que constituye bosques de coníferas y frondosas siendo el árbol predominante el pino carrasco (*Pinus halepensis*) y las encinas o carrascas (*Quercus rotundifolia*) menos abundantes. Ambos son acompañados por arbustos como la coscoja (*Quercus coccifera*), el enebro (*Juniperus communis*), el lentisco (*Pistacea lentiscus*), la aliaga (*Genisca scorpius*), el brezo (*Calluna vulgaris*) y una gran variedad de aromáticas como romero (*Rosmarinus officianalis*), espliego (*Lavandula latifolia*), tomillo (*Thymus vulgaris*) y salvia (*Salvia officinalis*) configurando el sotobosque mediterráneo. En barrancos y zonas de elevada humedad aparecen especies trepadoras como la hiedra (*Hedera hélix*), la zarzaparrilla (*Smilax aspera*) o la rubia (*Rubia peregrina*) y otras como el mirto (*Myrtus communis*) o el rusco (*Ruscus aculeatus*), destacando que en la parte norte del término se encuentran fresnos de flor (*Fraxinus ornus*), arbusto endémico de la Comunidad Valenciana.

Aparte, el término posee superficie dedicada al cultivo en secano tanto de herbáceos como de leñosos en las proximidades al núcleo poblacional de Benagéber, siendo el cultivo de la cebada (*Hordeum vulgare*) el más importante seguido del vid (*Vitis vinifera*). Ambos cultivos están abancalados exceptuando pequeñas parcelas de la zona montañosa.

2.3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

La zona de trabajo pertenece al Sistema Ibérico con cobertera mesozoica, y está localizada en la cuenca Ibérica o cuenca del Maestrazgo. A nivel local se encuentra enmarcada en el cierre noroeste del sinclinal de La Atalaya o de Sierra de Enmedio, principalmente en su flanco noreste.

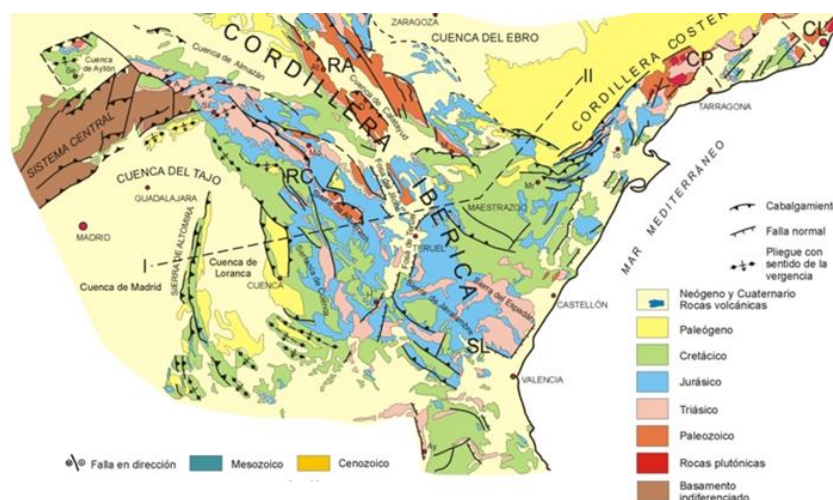


FIGURA 2. Esquema geológico de las Cadenas Ibéricas. Fuente: Hombre geológico (Sopeña,2004).

En el núcleo del sinclinal aparecen calizas y margas con un importante componente arcilloso, que son el techo de una serie principalmente carbonatada o calcoarenosa con episodios de arenas continentales (facies Utrillas).

En éste núcleo, el miembro más moderno de la serie es de edad Maestrichiense-Campaniense, del Cretácico superior, abarcando hasta el Kimmeridgiense del término más antiguo. El buzamiento de los flancos pasa de la verticalidad al noreste hasta la subhorizontalidad en el suroeste. Lateralmente, el sinclinal de La Atalaya pasa mediante un cabalgamiento oculto por los depósitos cuaternarios del altiplano de Benagéber a una serie jurásica plegada en anticlinal formada principalmente por calizas y margas de la que sólo aflora su término superior.

En el **Anexo N°2 “Mapa geológico del territorio de trabajo”** se puede apreciar una sección de la hoja 666: Chelva. Escala 1:50.000 del Mapa Geológico de España del Instituto Geológico y Minero de España (1990).

Benagéber se sitúa en el Llano de Nieva y está rodeado de montañas. La sierra de La Atalaya es la zona más elevada a 1.156 m.s.n.m. junto con su valorado paraje, seguido del Puntal del Tiero a 984 m.s.n.m. y el Alto de los Visos a 910 m.s.n.m. Se destaca el cerro de la Pará o Parada al norte del Llano de Nieva y las lomas de la Fuente, de Ares, de la Pinada y de los Visos.

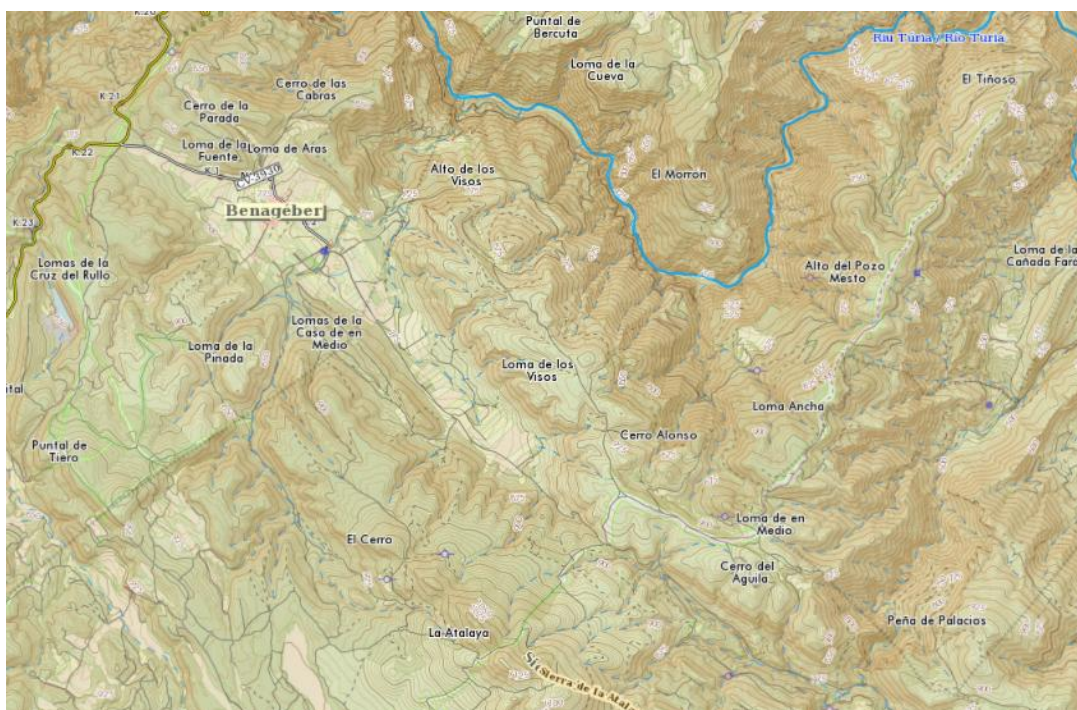


FIGURA 3. Mapa topográfico base. Escala 1: 35.000.

Fuente: Visor Terrasit.

En el apartado Anexos se muestra parcialmente el Mapa Topográfico Nacional Hoja 666-III: Chelva a escala 1: 25.000 del Instituto Geográfico Nacional como **Anexo N°3 “Mapa topográfico del territorio de trabajo”**.

3. CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA

Para realizar el cálculo hidrometeorológico modificado por Témez se debe analizar la cuenca para obtener ciertos parámetros y características determinantes con el objetivo de obtener el caudal máximo de referencia en el punto de desagüe o en cualquier superficie determinada de ésta.

Para poder analizarla, se delimita el área de trabajo obteniendo la red de drenaje y los parámetros hidromorfométricos de la cuenca; se clasifica el suelo y los distintos aprovechamientos y, se elabora tanto el mapa de la cuenca y red de drenaje como el mapa de aprovechamientos del suelo de la cuenca para cada tipo de suelo.

3.1.DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

Para delimitar la cuenca de la zona de trabajo se emplea el programa informático Autocad Map 3D 2017 con la siguiente metodología:

- Obtención del Mapa Topográfico Nacional Hoja 666-III: Chelva. Escala 1: 25.000 del Instituto Geográfico Nacional.
- Georeferenciación del mapa topográfico al sistema de coordenadas ETRS89 30N UTM.
- Definición mediante las curvas de nivel los puntos más elevados entorno al Llano de Nieva, divisorias de aguas y barrancos adjuntos.
- Delimitación de la cuenca y determinación del punto de desagüe en el Molino de Barchel a 610 m.s.n.m. y del punto más elevado de la cuenca a 1.156 m.s.n.m. en La Atalaya.

3.1.1. RED DE DRENAJE Y PARÁMETROS HIDROMORFOMÉTRICOS

La red de drenaje se compone tanto de la red principal como de las redes secundarias, por lo que definir la red principal define la característica hidrológica que vincula el mayor caudal.

Cota Máxima (msnm)	Cota Mínima (msnm)	Desnivel (m)	Área (Ha)	Longitud Cauce Principal (m)	Pendiente Cauce Principal (%)
1156	610	546	2014.1066	7685.10	7.10

La cuenca hidrológica delimitada y su red de drenaje quedan reflejadas en el apartado de Anexos como **Anexo N°4 “Mapa de la cuenca delimitada y red de drenaje”**.

3.2. CLASIFICACIÓN SUELOS

Según el mapa de suelos Chelva (666) de la Comunidad Valenciana a escala 1 : 100.000 realizado por el Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CIDE) y la Conselleria d'Agricultura i Mig Ambient en el proyecto LUCDEME, para la cuenca delimitada se definen cinco unidades de suelo, donde se definen como unidades cartográficas puras o de una sola taxonomía.

Estas unidades se clasifican según el sistema de clasificación de suelos empleado en el Mapa de Suelos del Mundo a escala 1:5.000.000 (FAO, 1988) en:

- FL. Fluvisoles:

Fluvisol calcáreo

Son suelos que se desarrollan a partir de depósitos aluviales y presentan propiedades flúvicas, el contenido de materia orgánica decrece irregularmente con la profundidad, mostrando una estratificación calcárea en el perfil entre 20 y 50 cm de la superficie. Presentan textura franca o franco arcillosa, con buena capacidad de retención de agua y elevado contenido en materia orgánica en profundidad.

Esta unidad taxonómica se localiza en el Llano de Nieva albergando toda la zona dedicada a los distintos cultivos de la zona antes descritos, destacando que los fluvisoles habitualmente requieran un control de las inundaciones, drenajes superficiales y el empleo de riego por goteo para las zonas de cultivo que requieran un aporte hídrico.

- LP. Leptosoles:

Leptosol lítico- Leptosol rendzínico

Los leptosoles son suelos que están limitados en profundidad por roca continua y dura, o por una capa cementada en 25 cm a partir de la superficie, o por material altamente calcáreo, o son suelos formados a partir de material muy pedregoso y no consolidado con menos del 20% de tierra fina a 75 cm de profundidad.

Esta unidad taxonómica se localiza en la zona norte de la cuenca, albergando el punto de desagüe situado en el molino de Barchel junto con el Alto de Los Chorros hasta el Alto de los Visos; la formación de estos suelos está marcada por la naturaleza del material original (calcáreo y consolidado), la vegetación aportante de materia orgánica y la inclinación en pendientes moderadas a fuertes, por lo que son suelos pedregosos, con elevado contenido en materia orgánica (7%), con una textura equilibrada y elevada estabilidad estructural.

○ LV. Luvisoles:

Los luvisoles son suelos con presencia de un horizonte B argílico debido al lavado de arcilla de los horizontes superiores y acumularse en una zona más profunda. Predominan en zonas con suaves pendientes o llanas, y a causa del amplio rango de materiales originales y condiciones ambientales este grupo es muy diverso encontrando tres tipos en la cuenca objeto.

Luvisol crómico lítico/calcisol háplico

Se desarrollan los luvisoles crómicos líticos cuando la pendiente no supera el 25%, se presentan los calcisoles háplicos que acumulan carbonatos en laderas abruptas y con fuertes pendientes (>45%) y los leptosoles líticos cuando la erosión deja al descubierto el material rocoso.

Esta unidad taxonómica se localiza en los parajes de La Atalaya, en el Collado de Nieva cruzando las Lomas de los Visos hasta el Alto de Visos; desarrollándose sobre dolomías, calizas y margas jurásicas y cretácicas.

Luvisol crómico

Son suelos con un horizonte B argílico de color pardo fuerte e intenso a rojo que carecen de concentraciones de caliza pulverulenta blanda en 125 cm de la superficie. El color rojo del horizonte argílico es debido a la deshidratación de los óxidos de hierro con una saturación de bases de más del 50%.

Esta unidad taxonómica se localiza únicamente en La Atalaya, siendo menor su presencia en proporción con las otras unidades de suelo.

Luvisol cálcico/luvisol crómico

Este grupo taxonómico representa la degradación del horizonte argílico por recarbonatación, desde el luvisol crómico con bajo contenido en carbonatos (<15%) hasta el calcisol háplico que por recarbonatación forma un horizonte cálcico a consecuencia de la acumulación de caliza secundaria. Representa suelos intermedios entre luvisoles crómicos con horizontes libres de carbonatos y calcisoles háplicos con el horizonte argílico desaparecido por la carbonatación y terrificación.

Esta unidad taxonómica intermedia entre ambos suelos se localiza desde el Puntal del Tiero hasta el Cerro de la Pará, atravesando la Loma de la Cruz.

Las distintas unidades taxonómicas de suelo están representadas en el **Anexo N°5 “Mapa de Suelos”**. Posteriormente, para el cálculo del caudal de avenida objeto del presente trabajo se determinan cuatro unidades taxonómicas de suelo a diferencia de las cinco definidas anteriormente, debido a la similitud entre la formada por el luvisol crómico localizada en la Atalaya y la unidad intermedia compuesta por el luvisol cálcico y crómico localizada desde el Puntal del Tiero hasta el Cerro de la Pará, véase en **Anexo N°6 “Mapa de Suelos para el cálculo”**.

3.3. USOS DEL SUELO

Para poder entender bien el comportamiento del suelo frente a las lluvias, conviene clasificar los aprovechamientos o usos del suelo de la cuenca y elaborar un mapa que los muestre. Para las unidades taxonómicas de suelo definidas anteriormente se clasifican los distintos usos del suelo en:

-Suelo urbano: ocupa el pueblo de Benagéber, la ermita de San Isidro, las residencias próximas al pueblo y el molino de Barchel donde se sitúa el punto de desagüe de la cuenca. Además se incluye la vía de acceso al núcleo poblacional CV-390.

-Masa forestal o natural: formada por bosques de coníferas de densidad media a espesa y matorral claro o muy claro donde ocasionalmente forma mosaicos con coníferas.

- Praderas o pastizales con grado de cobertura media-alta formados a causa del abandono de campos de cultivo.

-Vegetación de ribera: vegetación media o espesa que requiere un elevado grado de humedad y se sitúa en las proximidades a Los Chorros de Barchel, cercano al punto de desagüe.

-Superficies dedicadas al cultivo, diferenciándose el cultivo del cereal de invierno, superficies en barbecho y parcelas dedicadas a vid y olivo. Todos ellos se encuentran en el Llano de Nieva abancalados para mayor aprovechamiento agrícola y en los espacios forestales de alrededor adaptados a la topografía, con pendientes superiores al 3% en general.

Se consulta el Mapa Geografía Militar de España, hoja 666: Chelva a escala 1:50.000 del Servicio Geográfico del Ejército y se elabora el mapa de aprovechamientos del suelo empleando el programa Autocad Map 3D 2017 y mediante la georreferenciación del Mapa Topográfico Nacional, hoja 666-III: Chelva a escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Nacional y las ortofotos se define la superficie ocupada en la cuenca para cada tipo de aprovechamiento del suelo, siendo:

Aprovechamiento del suelo	Superficie (km ²)	Superficie (ha)
Urbano y vía	0,073	7,30
Pastizal	0,591	59,10
Coníferas	12,877	1287,70
Matorral	4,199	419,93
Olivos	0,063	6,32
Viñedos	0,629	62,90
Cereal de invierno	0,975	97,59
Barbecho	0,691	69,19
Cuenca	20,14	2014,10

En el apartado Anexos se muestra la cartografía elaborada, representada en el **Anexo N°7 “Mapa de aprovechamientos del suelo”**.

4. MÉTODO RACIONAL MODIFICADO POR TÉMEZ

Para el cálculo de los caudales máximos de avenida debido a la escorrentía superficial generada por las máximas precipitaciones esperadas a distintos periodos de retorno se emplea el método hidrometeorológico o método racional modificado por J.R. Témez (1991) que varía ligeramente de la metodología de la Instrucción 5.2.- I. C. “Drenaje Superficial”, de julio de 1990 del MOPU (hoy Ministerio de Fomento) y se consideran las “Recomendaciones para el Cálculo Hidrometeorológico de Avenidas” editado por el CEDEX (Centro de Experimentación y Obras Públicas, dependiente del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente).

El caudal de referencia Q en el punto de desagüe de una cuenca o superficie viene dado por la expresión:

$$Q = \left(\frac{CIA}{k} \right) \cdot K$$

Donde:

- Q (m³/s) Caudal de referencia para el periodo de retorno considerado.
- C (adimensional) Coeficiente de escorrentía esperada.
- I (mm/h) Intensidad máxima de precipitación para un periodo de retorno (T) y para una duración del aguacero igual al tiempo de concentración de la cuenca (t_c).
- A (ha) Área de la cuenca.
- k (adimensional) Coeficiente que vale 360 e incluye el 20% debido a las variaciones punta de precipitación.
- K (adimensional) Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación.

Este método amplía el campo de utilización a cuencas de hasta 30.000 km² y tiempos de concentración entre 0,25 y 24 h, quedando finalmente la expresión como:

$$Q = \left(\frac{CIA}{360} \right) \cdot K$$

Además supone que la lluvia tiene una duración igual al tiempo de concentración y que la intensidad máxima de precipitación se corrige mediante el coeficiente de uniformidad y el coeficiente de simultaneidad.

4.1.INTENSIDAD MÁXIMA DE PRECIPITACIÓN

Para realizar el cálculo de la intensidad máxima de precipitación correspondiente a un periodo de retorno (T) y a una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca (t_c) se aplica la fórmula:

$$I = Id \cdot \left(\frac{I_1}{Id} \right)^{3.529 - 1.679 t_c^{0.1}}$$

Donde:

- I (mm/h) Intensidad máxima de precipitación para un periodo de retorno (T) considerado y un tiempo de concentración (t_c) dado.
- Id (mm/h) Intensidad máxima diaria.
- I_1 (mm/h) Intensidad de precipitación para una duración de 1 hora.
- I_1/Id (adimensional) Índice de torrencialidad según mapa de isolíneas.
- t_c (horas) Tiempo de concentración de la cuenca.

4.1.1. INTENSIDAD MÁXIMA DIARIA

La intensidad máxima diaria de precipitación se obtiene a partir de la precipitación máxima diaria corregida para un periodo de retorno repartiéndose en las 24 horas que componen el día, es decir:

$$Id = \frac{Pd \cdot Ka}{24}$$

Donde:

- Id (mm/h) Intensidad máxima diaria de precipitación correspondiente al T considerado.
- Pd (mm) Precipitación máxima diaria correspondiente al T considerado.
- Ka (adimensional) Factor reductor área.

Por lo que la precipitación máxima diaria corregida para un periodo de retorno (T) considerado será la precipitación máxima diaria correspondiente a ese periodo de retorno por el factor reductor área de la precipitación.

4.1.1.1. PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA

La precipitación máxima diaria para el periodo de retorno adoptado se estima siguiendo el método de las “Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular” editado en el año 1999 por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento y el Centro de Estudios Hidrográficos del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

Dicha metodología ha seleccionado estaciones pluviométricas y mediante la recopilación de sus datos correspondientes a las máximas precipitaciones diarias realiza una modelación estadística de las series anuales de máximas precipitaciones diarias obteniendo una estimación regional con el valor medio anual de máxima precipitación diaria y su coeficiente de variación (Cv). Además para estimar la precipitación máxima diaria para cada periodo de retorno se emplean los cuantiles de la distribución SQRT – ET máx o factores de amplificación Kt. La distribución SQRT- ET máx propuesta por Etoh et al. en 1986 se emplea en el análisis de las máximas precipitaciones diarias, de donde se obtiene según el Cv y el periodo de retorno adoptado los factores de amplificación (Kt) o cuantiles de la ley SQRT-ET máx (Yt) necesarios para determinar la precipitación máxima diaria.



FIGURA 4. Delimitación de las regiones consideradas homogéneas. Fuente: “Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular” (1999).

4.1.1.1. LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS Y COEFICIENTE DE VARIACIÓN C_v

Ambos parámetros se obtienen de los mapas de “Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular” donde se representan los valores del C_v (líneas rojas con valores inferiores a la unidad) y del valor medio anual de la máxima precipitación diaria P (líneas moradas).

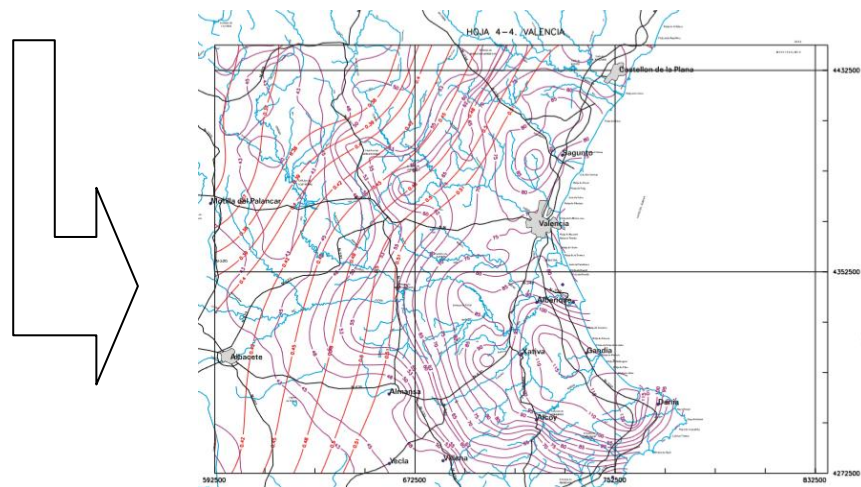
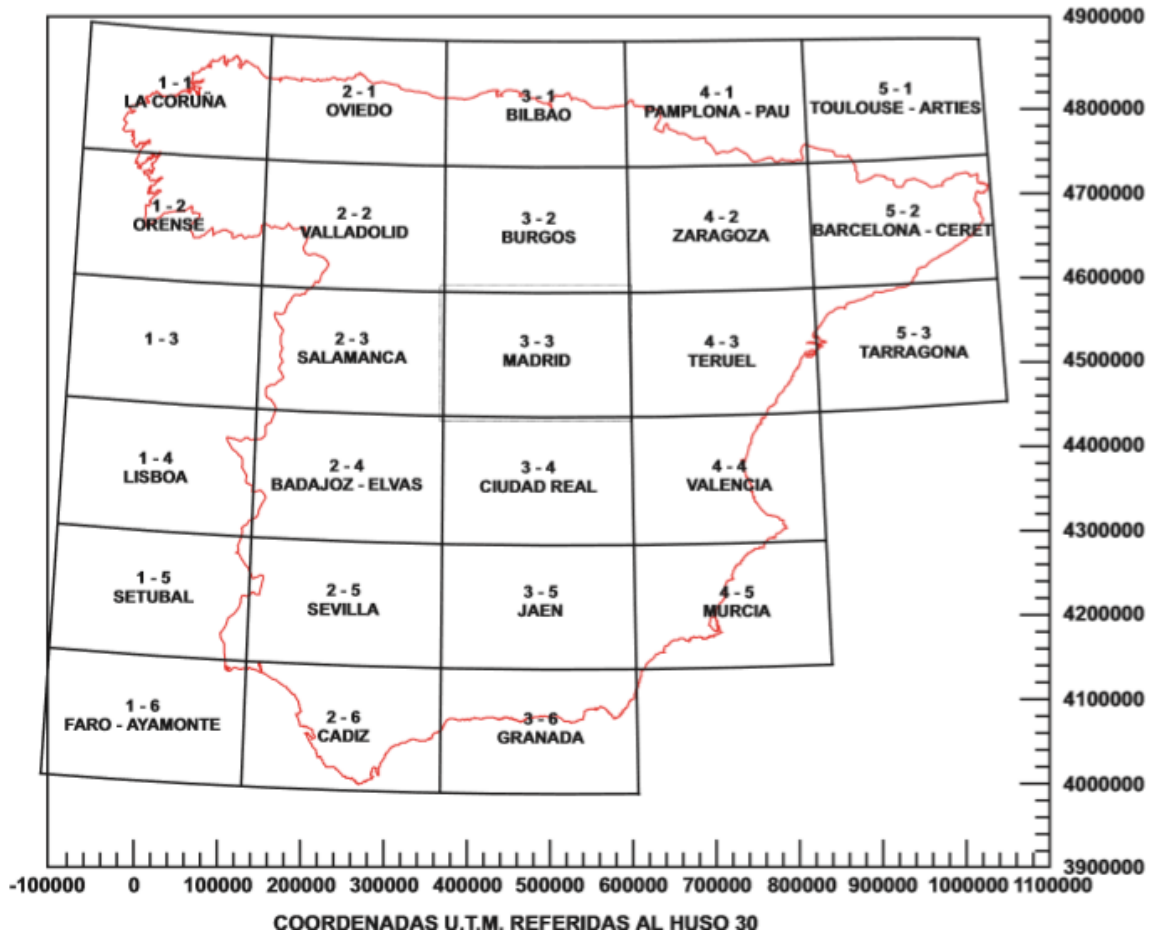


FIGURA 5 y 6. División de los Mapas y Mapa 4-4 ambos de “Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular” (1999).

4.1.1.1.2. CUANTIL REGIONAL Y_t

El cuantil regional Y_t o factor de amplificación K_t según la distribución SQRT – ET máx se obtiene a partir del C_v obtenido de los mapas de “Máximas Lluvias Esperadas en la España Peninsular” y según el periodo de retorno adoptado para el cálculo.

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 1. Cuantiles Y_t de la Ley SQRT – ET máx o factores de Amplificación K_t . Fuente: “Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular” Tabla 7.1. (1997).

4.1.1.2. FACTOR REDUCTOR ÁREA

A la precipitación máxima diaria para los distintos periodos de retorno en cuencas con una superficie superior a 1 km² se le establece el factor reductor área para compensar la no homogeneidad de la precipitación en toda la superficie de la cuenca. A este factor también se le denomina coeficiente corrector de simultaneidad, que actúa sobre los valores de precipitación máxima diaria.

$$K_a = 1 - \frac{\log A}{15}$$

Donde:

-K_a (adimensional) Factor reductor área.

-A (km²) Área o superficie de la cuenca.

4.1.2. ÍNDICE DE TORRENCIALIDAD

El índice de torrencialidad (I₁/I_d) se determina según la figura 2.4. de la Instrucción 5.2.- I.C. a partir de las isólinas elaborado por J.R. Témex. Este índice es el cociente entre la intensidad horaria y la diaria.

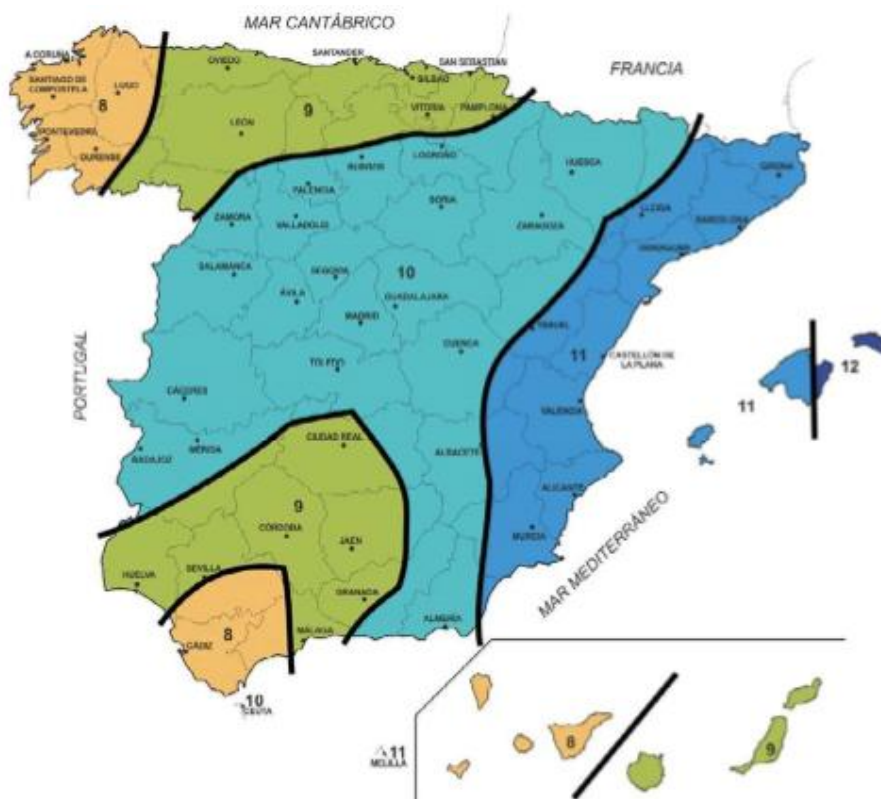


FIGURA 7. Mapa de isólinas.

Fuente: Instrucción 5.2.- IC. Figura 2.4. (1990).

4.1.3. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca hidrológica estén aportando de forma simultánea agua de escorrentía al punto de desagüe, y se determina por el tiempo que tarda en llegar el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado hasta el punto de desagüe.

El tiempo de concentración es un parámetro característico de cada cuenca y depende de:

- Tamaño de la cuenca (a mayor tamaño, mayor t_c).
- Topografía (mayor pendiente o accidentalidad, menor t_c).
- Forma (cuencas alargadas menores t_c que las apaisadas).

Su determinación se puede realizar por tablas o ecuaciones empíricas, donde en este caso se emplea la ecuación de la Dirección General de Carreteras:

$$t_c = 0,3 \cdot \left(\frac{L}{J^{\frac{1}{4}}} \right)^{0.76}$$

Donde:

- t_c (horas) Tiempo de concentración.
- L (km) Longitud del cauce principal .
- J (m/m) Pendiente media del cauce principal (H/L).
- H (m) Diferencia de cotas entre los puntos hidrológicos más alejados del cauce principal.

4.2. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

El coeficiente de escorrentía (C), define la parte de la precipitación de intensidad determinada para un tiempo de concentración y un periodo de retorno que genera un caudal de avenida en el punto de desagüe de la cuenca. El coeficiente de escorrentía se obtiene según la siguiente fórmula:

$$C = \frac{(Pd' - Po') (Pd' + 23Po')}{(Pd' + 11Po')^2}$$

Donde:

- C (adimensional) Coeficiente de escorrentía.
- Pd' (mm) Precipitación máxima diaria corregida para un periodo de retorno (T) considerado.
- Ka (adimensional) Factor reductor de la precipitación esperada por área de la cuenca.
- Po' (mm) Umbral de escorrentía corregido.

Si el cálculo de la escorrentía generada se produce en el punto de desagüe y no únicamente en una superficie de la cuenca, se debe de calcular el coeficiente de escorrentía total a partir de la ponderación de los distintos coeficientes obtenidos con respecto a su superficie ocupada, es decir:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Coeficiente de escorrentía } Si \cdot \text{Superficie } Si)}{\sum_{i=1}^n (\text{Superficie } Si)}$$

4.2.1. UMBRAL DE ESCORRENTÍA

Para poder calcular el coeficiente de escorrentía se precisa estimar el umbral de escorrentía P_0 , que representa la precipitación mínima que debe caer en la cuenca para generar escorrentía superficial. Para ello, se determina aplicando la siguiente fórmula:

$$P_0' = P_0 \cdot \beta$$

Donde:

- P_0' (mm) Umbral de escorrentía corregido.
- P_0 (mm) Valor inicial del umbral de escorrentía.
- β (adimensional) Valor medio del coeficiente corrector del umbral de escorrentía.

4.2.1.1. VALOR INICIAL DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA

El valor inicial del umbral de escorrentía se determina dependiendo de la clasificación del suelo de la cuenca según su uso o aprovechamiento, pendiente, características hidrológicas y grupo de suelo.

Primero se determinan los grupos hidrológicos del suelo presentes en la cuenca empleando la siguiente figura obtenida de la I.C.- 5.2. dónde las características hidrológicas de drenaje, textura, potencia e infiltración quedan recogidas según su clasificación.

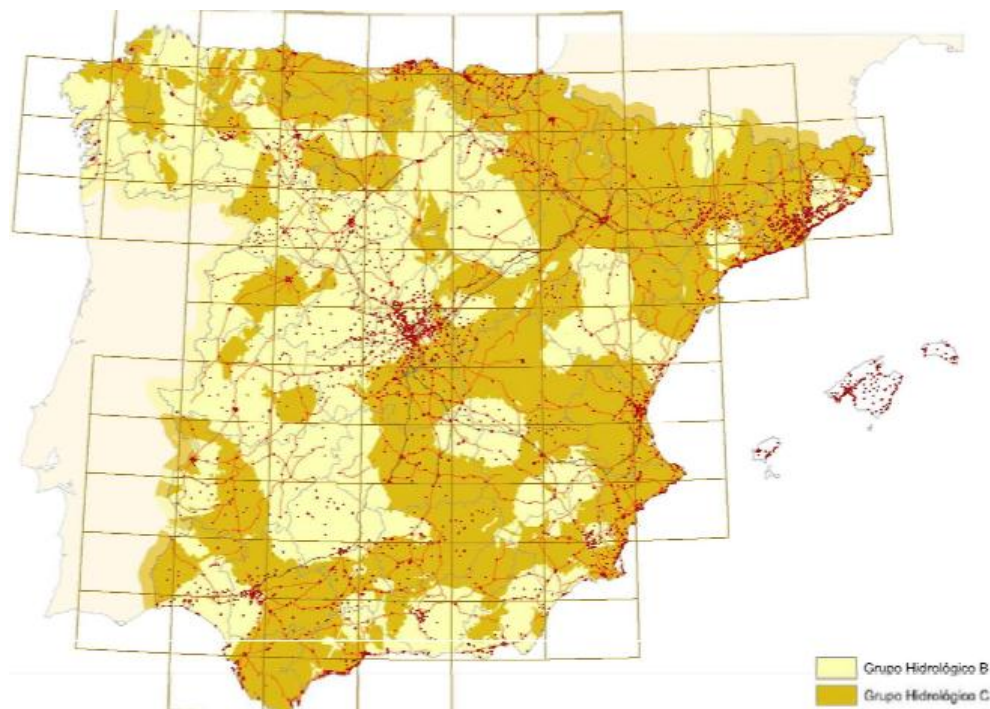


FIGURA 8. Mapa de grupos hidrológicos del suelo. Fuente: Instrucción 5.2.- IC. Figura 2.9. (1990).

En una determinada cuenca, el cambio del grupo hidrológico del suelo se puede realizar cuando se disponga de información más detallada, siguiendo los criterios de la **figura 9** y **tabla 2** facilitados por la instrucción, consultando mapas geológicos, hidrogeológicos y de suelos de la cuenca.

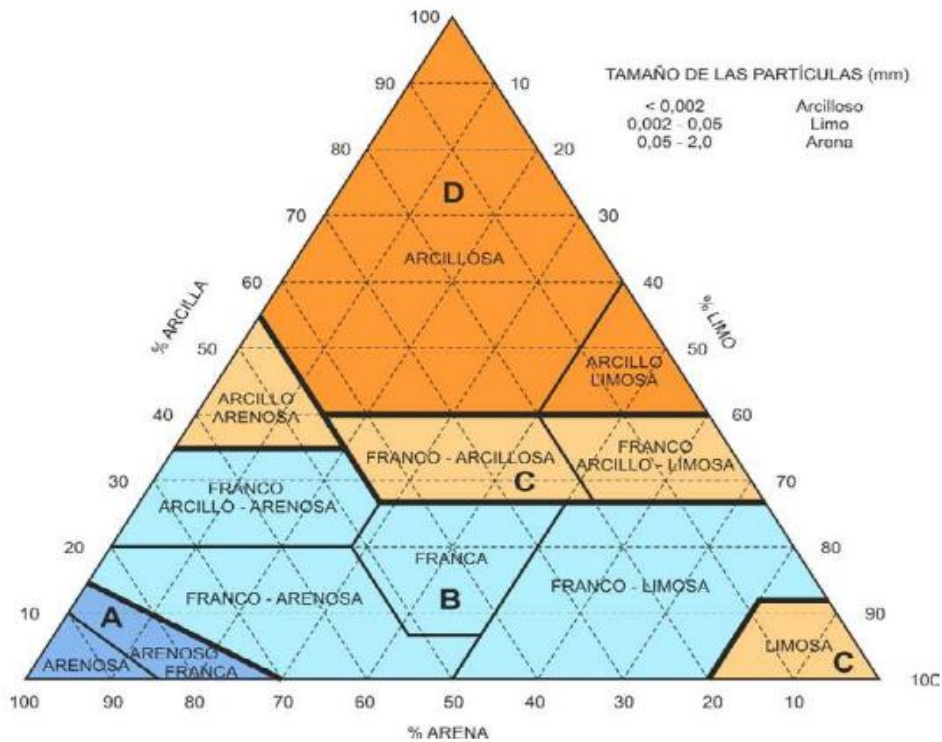


FIGURA 9. Diagrama triangular para determinación de la textura en materiales tipo suelo.

Fuente: Instrucción 5.2.- IC. Figura 2.8 (1990).

Grupo	Infiltración (cuando están muy húmedos)	Potencia	Textura	Drenaje
A	Rápida	Grande	Arenosa Areno-limosa	Perfecto
B	Moderada	Media a grande	Franco-arenosa Franca Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa	Bueno a moderado
C	Lenta	Media a pequeña	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto
D	Muy lenta	Pequeño (litosuelo) u horizontes de arcilla	Arcillosa	Pobre o muy pobre

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

TABLA 2. Grupos hidrológicos de suelo a efectos de la determinación del valor inicial del umbral de escorrentía.

Fuente: Instrucción 5.2.- IC. Tabla 2.4. (1990).

Después, se determina el valor del umbral de escorrentía según la siguiente tabla y los mapas topográficos y de aprovechamiento del suelo de la zona de afección de la cuenca.

USO DE LA TIERRA	PENDIENTE (%)	CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	≥ 3	R	15	8	6	4
		N	17	11	8	6
	< 3	R/N	20	14	11	8
Cultivos en hileras	≥ 3	R	23	13	8	6
		N	25	16	11	8
	< 3	R/N	28	19	14	11
Cereales de invierno	≥ 3	R	29	17	10	8
		N	32	19	12	10
	< 3	R/N	34	21	14	12
Rotación de cultivos pobres	≥ 3	R	26	15	9	6
		N	28	17	11	8
	< 3	R/N	30	19	13	10
Rotación de cultivos densos	≥ 3	R	37	20	12	9
		N	42	23	14	11
	< 3	R/N	47	25	16	13
Praderas	≥ 3	Pobre	24	14	8	6
		Media	53	23	14	9
		Buena	70	33	18	13
		Muy buena	80	41	22	15
	< 3	Pobre	58	25	12	7
		Media	80	35	17	10
		Buena	120	55	22	14
		Muy buena	250	100	25	16
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	≥ 3	Pobre	62	26	15	10
		Media	80	34	19	14
		Buena	100	42	22	15
	< 3	Pobre	75	34	19	14
		Media	95	42	22	15
		Buena	150	50	25	16
Masas forestales (bosques, monte bajo, etc.)		Muy clara	40	17	8	5
		Clara	60	24	14	10
		Media	75	34	22	16
		Espesa	90	47	31	23
		Muy espesa	120	65	43	33
Rocas permeables	≥ 3		3			
	< 3		5			
Rocas impermeables	≥ 3		2			
	< 3		4			

R = Cultivo en líneas de máxima pendiente; N = Cultivo siguiendo curvas de nivel
 Las zonas abancaladas se incluyen entre aquéllas de pendiente menor que el 3%.
 A las superficies impermeables debe asignarse un umbral $P_0 \approx 0$ mm.

TABLA 3. Valor inicial del umbral de escorrentía. Fuente: “Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales” (MOPU, 1987)

4.2.1.2. COEFICIENTE CORRECTOR DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA

Una vez determinado un valor inicial del umbral de escorrentía para cada tipo de suelo, se caracteriza el coeficiente corrector del umbral dependiendo de la región objetivo empleando la siguiente figura:



FIGURA 10. Regiones consideradas para la caracterización del coeficiente corrector del umbral de escorrentía. Fuente: Instrucción 5.2.- IC. Figura 2.9. (1990).

4.3. COEFICIENTE UNIFORMIDAD

El coeficiente de uniformidad (K) tiene en cuenta el reparto temporal de la lluvia que favorece el desarrollo de los caudales punta y se realiza su cálculo a partir del tiempo de concentración de la cuenca.

$$K = 1 + \left(\frac{t_c^{1.25}}{t_c^{1.25} + 14} \right)$$

Donde:

-K (adimensional) Coeficiente de uniformidad.

- t_c (horas) Tiempo de concentración.

5. CAUDAL MÁXIMO DE REFERENCIA DE LA CUENCA

5.1.INTENSIDAD MÁXIMA DE PRECIPITACIÓN

La intensidad máxima de precipitación correspondiente a un periodo de retorno (T) y a una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca (t_c) siguiendo la fórmula:

$$I = Id \cdot \left(\frac{I_1}{Id} \right)^{3.529 - 1.679 t_c^{0.1}}$$

Donde:

- I (mm/h) Intensidad máxima de precipitación para un periodo de retorno (T) considerado tiempo de concentración (t_c) dado.
- Id (mm/h) Intensidad máxima diaria.
- I_1 (mm/h) Intensidad de precipitación para una duración de 1 hora.
- I_1/Id (adimensional) Índice de torrencialidad según mapa de isolíneas.
- t_c (horas) Tiempo de concentración de la cuenca.

5.1.1. INTENSIDAD MÁXIMA DIARIA

La intensidad máxima diaria de precipitación se obtiene a partir de la precipitación máxima diaria corregida para un periodo de retorno repartiéndose en las 24 horas que componen el día, es decir:

$$Id = \frac{Pd \cdot Ka}{24}$$

Donde:

- Id (mm/h) Intensidad máxima diaria de precipitación correspondiente al T considerado.
- Pd (mm) Precipitación máxima diaria correspondiente al T considerado.
- Ka (adimensional) Factor reductor área.

5.1.1.1. PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA

La precipitación máxima diaria para el periodo de retorno adoptado se estima siguiendo el método de las “Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular” editado en el año 1999 por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento y el Centro de Estudios Hidrográficos del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

5.1.1.1.1. LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS Y COEFICIENTE DE VARIACIÓN C_v

Se localiza en el mapa 4-4 Valencia de “Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular” la zona de trabajo y a partir de las dos líneas (roja/morada) se determinan las dos variables citadas en la metodología.

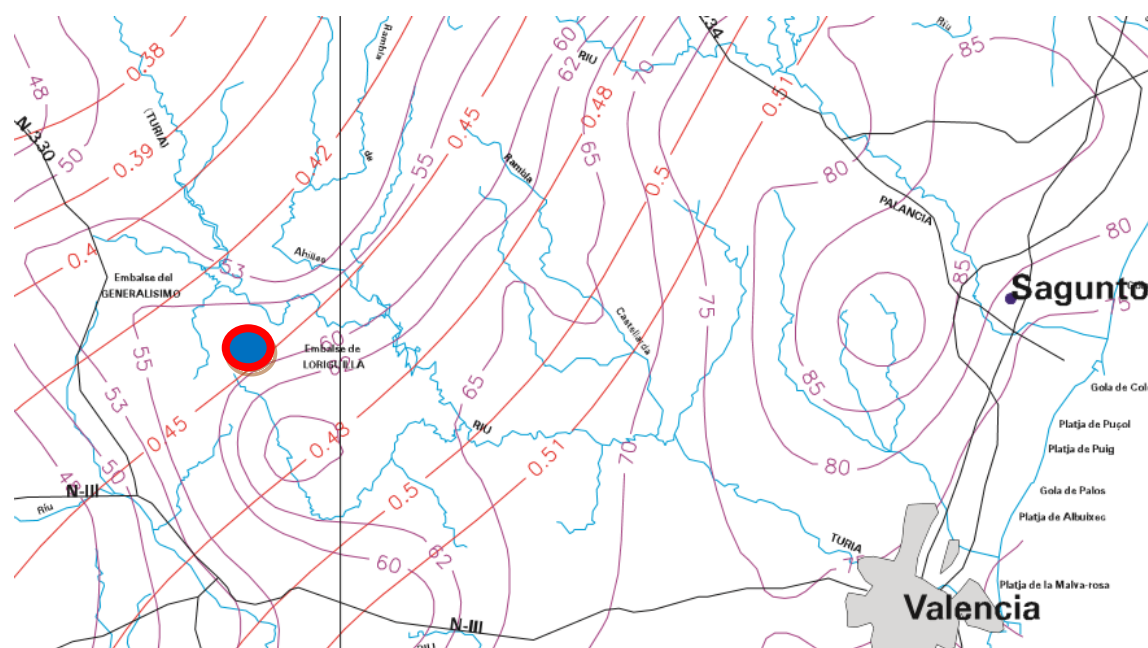


FIGURA 11. Mapa 4-4 ampliado para determinar la zona de trabajo.

Fuente: “Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular” (1997).

El valor medio anual de la máxima precipitación es 58 mm/ día (líneas moradas) y su C_v (coeficiente de variación) es 0.45 (líneas rojas).

La hoja 4-4 Valencia de los mapas de “Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular” (1997) se encuentra en el **Anexo N°8 “Hoja 4-4 Valencia**, donde se observa con mayor precisión la zona de trabajo, el valor medio anual de la máxima precipitación y su coeficiente de variación.

5.1.1.1.2. CUANTIL REGIONAL Y_t

A partir de la **tabla 1** y el valor del coeficiente de variación ($C_v=0.45$) se obtienen los cuantiles regionales o factores de amplificación (Y_t) para proceder al cálculo de la precipitación máxima diaria correspondiente a los distintos periodos de retorno.

Cv	PERIODO DE RETORNO							
	2	5	10	25	50	100	200	500
0.45	0.896	1.274	1.549	1.945	2.251	2.586	2.937	3.433

Siendo el valor medio anual de la precipitación máxima diaria de 58 mm/ día, la precipitación máxima diaria para los distintos periodos de retorno es:

Periodo de retorno (T=años)	Pm(mm/día)	Y_t	Pd(mm en 24 horas)
10	58	1.549	89.84
50		2.251	130.56
100		2.586	149.99
500		3.433	199.11

5.1.1.2. FACTOR REDUCTOR ÁREA

Aplicando la fórmula:

$$K_a = 1 - \frac{\log A}{15}$$

Donde:

- K_a (adimensional) Factor reductor área o superficie de la cuenca.
- A (km^2) Área o superficie de la cuenca.

$$K_a = 1 - \frac{\log 22.1410}{15}$$

El factor reductor área de la precipitación para la cuenca es 0,131.

Por lo que las intensidades máximas esperadas para los distintos periodos de retorno son:

Periodo de retorno (T=años)	Pd (mm en 24 horas)	K_a (adimensional)	Pd corregida (mm/h)	Id (mm/h)
10	89.84	0.9131	82.12	3.42
50	130.56		119.18	4.97
100	149.99		136.95	5.71
500	199.11		181.80	7.58

5.1.2. ÍNDICE DE TORRENCIALIDAD

A partir de la **figura 7** que refleja el mapa de isolíneas, se determina el índice de torrencialidad (I_1/I_d) para la zona de trabajo.

Índice de torrencialidad (I_1/I_d) (adimensional)	11
---	----

5.1.3. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Se emplea la ecuación de la Dirección General de Carreteras:

$$t_c = 0,3 \cdot \left(\frac{L}{J^{\frac{1}{4}}} \right)^{0.76}$$

Donde:

- t_c (horas) Tiempo de concentración.
- L (km) Longitud del cauce principal.
- J (m/m) Pendiente media del cauce principal (H/L).
- H (m) Diferencia de cotas entre los dos puntos hidrológicamente más alejados.

$$t_c = 0,3 \cdot \left(\frac{7.685}{71.05^{\frac{1}{4}}} \right)^{0.76}$$

El tiempo de concentración es 0,629 horas ó 37,72 minutos.

Por lo que las intensidades máximas de precipitación correspondiente a los periodos de retorno adoptados y con una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca son:

Periodo de retorno (T) (años)	Intensidad máxima diaria (I_d) (mm/h)	Índice de torrencialidad (I_1/I_d) (adimensional)	Tiempo de concentración (T_c) (minutos)	Intensidad máxima de precipitación (I) (mm/h)
10	3.42	11	37.72	49.56
50	4.97			72.01
100	5.71			82.73
500	7.58			109.83

5.2. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

El coeficiente de escorrentía se obtiene según la siguiente fórmula:

$$C = \frac{(Pd' - Po')(Pd' + 23Po')}{(Pd' + 11Po')^2}$$

Donde:

- C (adimensional) Coeficiente de escorrentía.
- Pd' (mm) Precipitación diaria corregida para un periodo de retorno (T) considerado.
- Ka (adimensional) Factor reductor de la precipitación esperada por área de la cuenca.
- Po' (mm) Umbral de escorrentía corregido.

Se calcula la escorrentía generada en el punto de desagüe por lo que se calcula el coeficiente de escorrentía total a partir de la ponderación de los distintos coeficientes obtenidos con respecto a su superficie ocupada.

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Coeficiente de escorrentía } C_i \cdot \text{Superficie } S_i)}{\sum_{i=1}^n (\text{Superficie } S_i)}$$

Siendo la superficie ocupada en los distintos suelos según los distintos aprovechamientos existentes:

Fluvisol Usos Suelos	Superficie (S _i) (ha)
Urbano	7.26
Pastizal	37.42
Coníferas	13.13
Olivos	3.96
Viñedos	61.47
Cereal de Invierno	85.01
Barbecho	56.48

Leptosol Usos Suelos	Superficie (S _i) (ha)
Urbano	0.05
Vegetación de Ribera	4.01
Coníferas	97.41
Matorral	26.70
Olivos	1.94
Barbecho	1.69

Luvisol Crómico Lítico Usos Suelos	Superficie (S _i) (ha)
Pastizal	4.97
Coníferas	618.27
Matorral	143.93
Olivos	0.34
Viñedos	0.63
Cereal de Invierno	0.92
Barbecho	0.17

Luvisol Crómico Cálcico Usos Suelos	Superficie (S _i) (ha)
Pastizal	16.75
Coníferas	558.90
Matorral	249.31
Olivos	0.09
Viñedos	0.81
Cereal de Invierno	11.67
Barbecho	10.84

5.2.1. UMBRAL DE ESCORRENTÍA

El umbral de escorrentía se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$P_0' = P_0 \cdot \beta$$

Donde:

- P_0' (mm) Umbral de escorrentía corregido.
- P_0 (mm) Valor inicial del umbral de escorrentía.
- β (adimensional) Valor del coeficiente corrector del umbral de escorrentía.

5.2.1.1. VALOR INICIAL DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA

Se determina el valor inicial del umbral de escorrentía para los distintos suelos y sus distintos aprovechamientos.

Del Mapa de Suelos de la Comunidad Valenciana Hoja 666 (Chelva) se obtienen características de los perfiles de cada suelo obteniendo características tanto macromorfológicas como físicas y químicas, determinando con todas ellas, la textura más limitante. Todo ello, y junto con la **figura 9** y **tabla 2** se determina el grupo hidrológico perteneciente cada tipo de suelo de la cuenca.

Tipo Suelo	Perfil, horizonte y muestra	% A, L y Arc.	Textura	Grupo hidrológico
Fluvisol	Nº 1, Ap1, D-244	49-35-16	FRANCA	B
Leptosol	Nº 5, Ah, D-117	18-45-37	FRANCO ARCILLO LIMOSA	C
Luvisol Crómico/Lítico	Nº 17, 2Bt, D-166	36-16-48	ARCILLOSA	D
Luvisol Crómico/Cálcico	Nº 19, Bt1, D-155	55-15-30	FRANCO ARCILLO ARENOSA	B

Después, se determina el valor inicial del umbral de escorrentía según la **tabla 3** para cada uso o aprovechamiento del suelo, teniendo en cuenta la pendiente y las características hidrológicas.

Fluvisol Usos Suelos	Valor Inicial Umbral de Escorrentía (P_0) (mm)
Urbano	1
Pastizal	23
Coníferas	34
Olivos	19
Viñedos	19
Cereal de Invierno	21
Barbecho	14

Leptosol Usos Suelos	Valor Inicial Umbral de Escorrentía (P_0) (mm)
Urbano	1
Vegetación de Ribera	22
Coníferas	22
Matorral	8
Olivos	11
Barbecho	11

Luvisol Crómico Lítico Usos Suelos	Valor Inicial Umbral de Escorrentía (P_0) (mm)
Pastizal	9
Coníferas	16
Matorral	10
Olivos	8
Viñedos	8
Cereal de Invierno	10
Barbecho	8

Luvisol Crómico Cálcico Usos Suelos	Valor Inicial Umbral de Escorrentía (P_0) (mm)
Pastizal	23
Coníferas	47
Matorral	17
Olivos	16
Viñedos	16
Cereal de Invierno	19
Barbecho	14

5.2.1.2. COEFICIENTE CORRECTOR DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA

Con la **figura 10** se determina el coeficiente corrector del valor inicial del umbral de escorrentía siendo su valor de 2,8.

Coeficiente corrector del umbral escorrentía (β)	2.8
--	-----

Por lo que el umbral de escorrentía corregido:

Fluvisol Usos Suelos	Umbral de Escorrentía Corregido (P_0') (mm)
Urbano	2.8
Pastizal	64.4
Coníferas	95.2
Olivos	53.2
Viñedos	53.2
Cereal de Invierno	58.8
Barbecho	39.2

Leptosol Usos Suelos	Umbral de Escorrentía Corregido (P_0') (mm)
Urbano	2.8
Vegetación de Ribera	61.6
Coníferas	61.6
Matorral	22.4
Olivos	30.8
Barbecho	30.8

Luvisol Crómico Lítico Usos Suelos	Umbral de Escorrentía Corregido (P_0') (mm)
Pastizal	25.2
Coníferas	44.8
Matorral	28
Olivos	22.4
Viñedos	22.4
Cereal de Invierno	28
Barbecho	22.4

Luvisol Crómico Cálcico Usos Suelos	Umbral de Escorrentía Corregido (P_0') (mm)
Pastizal	64.4
Coníferas	131.6
Matorral	47.6
Olivos	44.8
Viñedos	44.8
Cereal de Invierno	53.2
Barbecho	39.2

Y se calcula el coeficiente de escorrentía total a partir de la ponderación de los distintos coeficientes obtenidos con respecto a su área para los distintos periodos de retorno (10, 50, 100 y 500 años), ya que será éste a aplicar en la fórmula del método racional modificado.

T= 10 años

Fluvisol Usos Suelos	Coficiente de escorrentía (C_i) (adimensional)
Urbano	0.0033
Pastizal	0.0008
Coníferas	-0.0002
Olivos	0.002
Viñedos	0.0026
Cereal de Invierno	0.0026
Barbecho	0.0045

Leptosol Usos Suelos	Coficiente de escorrentía (C_i) (adimensional)
Urbano	0.0
Vegetación de Ribera	0.0001
Coníferas	0.0026
Matorral	0.0044
Olivos	0.0002
Barbecho	0.0002

Luvisol Crómico Lítico	Coefficiente de escorrentía (C _i) (adimensional)
Usos Suelos	
Pastizal	0.0007
Coníferas	0.0385
Matorral	0.0184
Olivos	0.0001
Viñedos	0.0001
Cereal de Invierno	0.0001
Barbecho	0.0

Luvisol Crómico Cálcico	Coefficiente de escorrentía (C _i) (adimensional)
Usos Suelos	
Pastizal	0.0004
Coníferas	-0.0183
Matorral	0.0137
Olivos	0.0
Viñedos	0.0001
Cereal de Invierno	0.0005
Barbecho	0.0009

Coefficiente de escorrentía para T=10 años	0.0764
--	--------

T= 50 años

Fluvisol	Coefficiente de escorrentía (C _i) (adimensional)
Usos Suelos	
Urbano	0.0034
Pastizal	0.0024
Coníferas	0.003
Olivos	0.004
Viñedos	0.0055
Cereal de Invierno	0.0064
Barbecho	0.0076

Leptosol	Coefficiente de escorrentía (C _i) (adimensional)
Usos Suelos	
Urbano	0.0
Vegetación de Ribera	0.0003
Coníferas	0.0067
Matorral	0.0061
Olivos	0.0003
Barbecho	0.0003

Luvisol Crómico Lítico	Coefficiente de escorrentía (C _i) (adimensional)
Usos Suelos	
Pastizal	0.0010
Coníferas	0.0701
Matorral	0.0273
Olivos	0.0001
Viñedos	0.0001
Cereal de Invierno	0.0002
Barbecho	0.0002

Luvisol Crómico Cálcico	Coefficiente de escorrentía (C _i) (adimensional)
Usos Suelos	
Pastizal	-0.0001
Coníferas	0.0355
Matorral	0.0260
Olivos	0.0
Viñedos	0.0001
Cereal de Invierno	0.0010
Barbecho	0.0015

Coefficiente de escorrentía para T=50 años	0.2026
--	--------

T= 100 años

Fluvisol Usos Suelos	Coefficiente de escorrentía (C _i) (adimensional)
Urbano	0.0035
Pastizal	0.0031
Coníferas	0.0005
Olivos	0.0004
Viñedos	0.0067
Cereal de Invierno	0.0080
Barbecho	0.0088

Leptosol Usos Suelos	Coefficiente de escorrentía (C _i) (adimensional)
Urbano	0.0
Vegetación de Ribera	0.0006
Coníferas	0.0464
Matorral	0.0023
Olivos	0.0002
Barbecho	0.0004

Luvisol Crómico Lítico Usos Suelos	Coefficiente de escorrentía (C _i) (adimensional)
Pastizal	0.0012
Coníferas	0.0833
Matorral	0.0307
Olivos	0.0001
Viñedos	0.0002
Cereal de Invierno	0.0002
Barbecho	0.0

Luvisol Crómico Cálcico Usos Suelos	Coefficiente de escorrentía (C _i) (adimensional)
Pastizal	0.0014
Coníferas	0.0019
Matorral	0.0312
Olivos	0.0
Viñedos	0.0001
Cereal de Invierno	0.0013
Barbecho	0.0012

Coefficiente de escorrentía para T=100 años	0.2335
---	--------

T= 500 años

Fluvisol Usos Suelos	Coefficiente de escorrentía (C _i) (adimensional)
Urbano	0.0035
Pastizal	0.0046
Coníferas	0.0009
Olivos	0.0006
Viñedos	0.0194
Cereal de Invierno	0.0116
Barbecho	0.0115

Leptosol Usos Suelos	Coefficiente de escorrentía (C _i) (adimensional)
Urbano	0.0
Vegetación de Ribera	0.0005
Coníferas	0.0126
Matorral	0.0008
Olivos	0.0005
Barbecho	0.0004

Luvisol Crómico Lítico Usos Suelos	Coefficiente de escorrentía (C _i) (adimensional)
Pastizal	0.0014
Coníferas	0.1120
Matorral	0.0378
Olivos	0.0001
Viñedos	0.0002
Cereal de Invierno	0.0002
Barbecho	0.0001

Luvisol Crómico Cálcico Usos Suelos	Coefficiente de escorrentía (C _i) (adimensional)
Pastizal	0.0020
Coníferas	0.0168
Matorral	0.0426
Olivos	0.0
Viñedos	0.0001
Cereal de Invierno	0.0018
Barbecho	0.0022

Coefficiente de escorrentía para T=500 años	0.2816
---	--------

5.3. COEFICIENTE UNIFORMIDAD

Según el método racional modificado por Témez, el coeficiente de uniformidad (K) se define según la fórmula:

$$K = 1 + \left(\frac{t_c^{1.25}}{t_c^{1.25} + 14} \right)$$

Donde:

-K (adimensional) Coeficiente de uniformidad.

-t_c (horas) Tiempo de concentración.

$$K = 1 + \left(\frac{0.629^{1.25}}{0.629^{1.25} + 14} \right)$$

El coeficiente de uniformidad es 1,038.

Coefficiente uniformidad (K)	1.038
------------------------------	-------

5.4. CAUDAL MÁXIMO DE REFERENCIA

El cálculo hidrológico del Barranco de Los Carriles aplicando el Método Racional modificado por Témez muestra los caudales máximos de referencia para los distintos periodos de retorno (T) adoptados.

Periodo de retorno (T) (años)	Coefficiente de escorrentía (C) (adimensional)	Intensidad máxima (It) (mm/h)	Área de la cuenca (A) (ha)	Coefficiente (k)	Coefficiente de uniformidad (K) (adimensional)	Caudal Máximo de Referencia (Q) (m ³ /s)
10	0.0764	49.56	2014.10	360	1.038	21.99
50	0.2026	72.01				84.76
100	0.2335	82.73				112.26
500	0.2816	109.83				179.70

6. CONCLUSIONES

La escorrentía generada no es elevada cuando la intensidad máxima de precipitación es baja debido a que el agua se infiltra en el suelo a medida que se produce la precipitación. Cuando el periodo de retorno aumenta lo hace también su intensidad máxima y, esto hace que el suelo no pueda drenar el agua de lluvia y ocasione mayores caudales.

El método racional modificado por Témez se emplea para cuencas con un tiempo de concentración pequeño ($0,25h \geq t_c \geq 24h$) y con una superficie de hasta 3.000 km^2 . Este método para el cálculo hidrológico de la cuenca es adecuado ya que su superficie es de $20,14 \text{ km}^2$ y su tiempo de concentración de 0,629 horas.

Éste método corrige la precipitación máxima esperada con el factor reductor área, y el caudal máximo de referencia con coeficiente de uniformidad de la precipitación.

La precipitación máxima esperada corregida modifica tanto la intensidad máxima de precipitación como el coeficiente de escorrentía, y coeficiente de uniformidad ajusta esta corrección modificando ligeramente el caudal máximo de referencia en comparación con el método racional que no realiza ningún ajuste.

Por todo ello, aplicando el método racional modificado por Témez, el cálculo hidrológico del Barranco de Los Carriles para determinar el caudal máximo de referencia a los distintos periodos de retorno (10, 50, 100 y 500 años) se realiza con una mayor precisión obteniéndose unos valores más reales y exactos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- MOPU (1987).Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales.
- MOPU (1990). Instrucción de carreteras 5.2-IC "Drenaje superficial" (BOE núm. 123, de 23 de mayo de 1990).
- MOPU (1997). “Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular”.
- Ministerio de Fomento. (1999). “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular”. Serie Monografías. Dirección General de Carreteras.
- Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2011). Atlas Climático Ibérico.
- Instituto Geológico y Minero de España (1990). Mapa Hidrogeológico de España, hoja 55: Llíria. Escala 1:200.000.
- Instituto Geológico y Minero de España (1990). Mapa Geológico de España, hoja 666: Chelva. Escala 1:50.000.
- Servicio Geográfico del Ejército (1998). Mapa Geografía Militar de España, hoja 666: Chelva. Escala 1:50.000.
- Instituto Geográfico Nacional (2011). Mapa Topográfico Nacional, hoja 666-III: Chelva. Escala 1:25.000.
- Instituto Geográfico Nacional (2011). Mapa Ocupación del Suelo, hoja 666-III: Chelva. Escala 1:25.000.
- Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CIDE) y la Conselleria d’Agricultura i Mig Ambient.(1995).Mapa de Suelos, hoja 666: Chelva. Escala 1:100.000.
- Páginas Web:
 - [http:// www. aemet.es.](http://www.aemet.es)
 - [http:// www. hidrojing.com.](http://www.hidrojing.com)
 - [http:// es. climate-data.org.](http://es.climate-data.org)
 - [http:// www. terrasit.gva.es.](http://www.terrasit.gva.es)

8. ANEXOS