

02-016

CRITICAL ANALYSIS OF DRAINAGE REGULATIONS IN FORCE APPLIED TO HYDROLOGY.

García Conde, Antonio Jesús ¹; Cortés Pérez, Juan Pedro ²; López Rodríguez, Fernando ²; Moral Gracia, Francisco Jesús ²

¹ Universidad Extremadura/ Diputación Badajoz, ² Universidad de Extremadura

The rules 5.1 IC and 5.2 IC of drainage constitute the framework for the calculation of flood flow for a period of return on hydrological studies in Spain. These rules were adopted some time ago and faced of the inevitable progress of science and the search for greater precision in the calculations have revealed that should make deep reflection of that legislation. Therefore, there are certain subjective conditions, one of which is the paradigmatic threshold runoff, which make the decision depending on the designer to estimate them throw different results. It is true that the rule makes an effort for fit it, but it fails if you want to set the calculation requirements established for modern times. In this way it aims to make a critical analysis of these regulations, describing these subjective parameters and not quantitatively determined to be taken by the designer and discuss the rules with a calculation of real situations to justify hydrological calculations in sensitive projects such as urban or other civil engineering works

Keywords: *Regulation; hydrology; civil engineering; urban planning*

ANÁLISIS CRÍTICO DE LA NORMATIVA DE DRENAJE EN VIGOR APLICADA A LA HIDROLOGÍA

Las normas 5.1 IC y 5.2 IC de drenaje constituyen el marco de referencia para el cálculo del caudal de avenida para un periodo de retorno determinado en los estudios hidrológicos realizados en España. Estas normas se aprobaron hace bastante tiempo e inevitable el avance de la ciencia y la búsqueda de mayor precisión en los cálculos han puesto de manifiesto que se debe hacer profunda reflexión de la citada normativa. Por esto, existen ciertos condicionantes subjetivos, unos de los cuales es el paradigmático umbral de escorrentía, que hacen que dependiendo de la decisión del proyectista al estimarlos arrojen resultados dispares. Es cierto que la norma hace un esfuerzo por objetivarlos, pero no lo consigue si se quieren establecer las exigencias de cálculo establecidas para los tiempos actuales. De esta forma se pretende hacer un análisis crítico de las citadas normativas, describiendo estos parámetros subjetivos y no determinados cuantitativamente que debe tomar el proyectista y analizar la normativa con un cálculo de situaciones reales para justificar los cálculos hidrológicos en proyectos tan sensibles como los urbanos u otras obras de ingeniería civil.

Palabras clave: *normativa; hidrología; ingeniería civil; urbanismo.*

Correspondencia: Antonio Jesús García Conde coligarcia@gmail.com

1. Introducción

Las Instrucciones 5.2 de Drenaje de carreteras y la parcialmente derogada 5.1 de Drenaje Superficial son los instrumentos normativos utilizados para el desagüe y drenaje de las carreteras, pero no solo se utilizan en este campo, las mencionadas instrucciones se utilizan para todo tipo de estudios hidrológicos en España. Es por esto que se han convertido en el marco de referencia en toda suerte de estudios e informes dedicados a calcular la máxima avenida que puede ocurrir en un punto concreto de la geografía española para un periodo de retorno (T) establecido.

Ante la mencionada situación y debido al avance de la ciencia es insoslayable advertir que las Instrucciones de Drenaje 5.1 y 5.2 IC se publicaron en el año 1965 y 1999 respectivamente por lo que irremediamente adolecen de ciertas indefiniciones.

Estas indefiniciones se corresponden fundamentalmente con decisiones que son necesarias tomar para estimar ciertos parámetros - de tal forma que la norma no acota de una manera cuantitativa, objetiva y taxativa- por lo deja cierto margen de subjetividad al proyectista.

Estas indefiniciones o insuficiencias de las normas influyen enormemente en el cálculo del caudal esperado y por lo tanto puede resultar un caudal de agua que no sea el correcto, tanto mayor como menor, con la consiguiente utilización de los recursos económicos necesarios que hay que destinar y el peligro que supone para las vidas humanas.

El objeto del presente artículo es dar a conocer las mencionadas subjetividades, de este modo se logrará que se proyecte el caudal esperado para un periodo de retorno elegido considerando estas insuficiencias y poder así evaluar de una manera cuantitativa la importancia de la toma de estas decisiones técnicas subjetivas que necesariamente se deben tomar para estimar el caudal de cálculo de la avenida a estudiar.

2. Objetivos

Se pretende en el presente texto poner en conocimiento de los redactores de estudios hidrológicos ciertos vicios subjetivos que la normativa actual aboga y que pueden pasar desapercibidos en el cálculo del caudal.

De esta manera el proyectista tendrá una visión más amplia de las normas y de las consecuencias de las decisiones no acotadas cuantitativamente que tiene que tomar y que son decisiones que pueden dar lugar a una importante variación del caudal final dependiendo del criterio adoptado.

3. Estado actual del conocimiento

La instrucción 5.2 IC de Drenaje Superficial (Ministerio de Obras Públicas, 1990) y la parcialmente derogada 5.1 de Drenaje de carreteras (Ministerio de Obras Públicas, 1964) en lo que concierne a drenaje superficial dictaminan de manera específica como se debe proceder para averiguar la intensidad máxima de lluvia para un periodo de retorno concreto, en adelante T.

De esta manera en la mencionada la normativa se establece el método Racional para de manera general para calcular el caudal para un determinado T, y cuya formulación es la que sigue:

$$Q_c = \frac{C * I_{t_c}^T * S}{K} \quad (1)$$

donde:

Q_c es el caudal de cálculo para el período de retorno considerado,

$I_{t_c}^T$ es la intensidad de lluvia máxima para una duración de aguacero igual al tiempo de concentración de la cuenca, para el periodo de retorno considerado,

S es la superficie de la cuenca en estudio, y

K es un coeficiente que mayor a el caudal en un 20% para prever posibles puntas de precipitación. Su valor es 3 si se quiere obtener Q_c en m³/sg, introduciendo S en Km²

y $I_{t_c}^T$ en mm/h.

El tiempo de concentración que establece la Instrucción 5.2-IC se define como el tiempo que tarda la lluvia en llegar desde el punto más alejado de la cuenca al punto de estudio. Su fórmula en minutos es la siguiente:

$$t_c = 0,3 \left[\left(\frac{L}{j^4} \right)^{0.76} \right] \quad (2)$$

Donde:

L: Longitud de la cuenca en Km.

j: Pendiente media en m/m.

También se requieren los datos de la cuenca afluente que se está estudiando. Estos datos son la relación $\left(\frac{I_1}{I_d} \right)$ que se extrae del mapa correspondiente de la Instrucción

5.2-IC, el área o superficie de la cuenca en Km² y por último según la localización de la zona de estudio el umbral de escorrentía P_0 de la cuenca, el cual se calcula multiplicando el valor inicial a extraer de las tablas 2.1 y 2.2 de la Instrucción 5.2-IC en función del tipo de suelo de la cuenca, por el coeficiente corrector que se obtiene del mapa correspondiente de la mencionada Instrucción.

El coeficiente de escorrentía se obtiene por la fórmula:

$$C = \frac{\left[\frac{P_{24}^T}{P_0} - 1 \right] * \left[\frac{P_{24}^T}{P_0} + 23 \right]}{\left[\frac{P_{24}^T}{P_0} + 11 \right]^2} \quad (3)$$

Si la razón P_{24}^T/P_0 fuera inferior a la unidad, el coeficiente C de escorrentía podrá considerarse nulo. En caso contrario el valor de C podrá obtenerse mediante la expresión indicada (96).

Las cuencas heterogéneas deberán dividirse en áreas parciales cuyos coeficientes de escorrentía se calcularán por separado, reemplazando luego el término C*S de la fórmula de cálculo (94) por sumatorio de (C*S).

La intensidad de lluvia en mm para un aguacero que dure el tiempo de concentración de la cuenca y para el periodo de retorno considerado viene dada por la expresión:

$$I_{t_c}^T = I_d^T \left[\frac{I_1}{I_d} \right]^{\frac{28^{0,1-t_c^{0,1}}}{28^{0,1}-1}} \quad (4)$$

Donde:

t_c es el tiempo de concentración de la cuenca en horas.

$\frac{I_1}{I_d}$ es la relación obtenida de la Instrucción 5.2-IC.

I_d^T es la intensidad máxima diaria para el periodo de retorno considerado igual a $P_{24}^T / 24$ en mm/h.

Con todos estos datos se obtiene el valor del caudal de cálculo Q_c en m³/sg correspondiente al período de retorno deseado y al tiempo de concentración de la cuenca afluente mediante la fórmula expuesta (4).

Para cuencas mayores de 1 km² y de hasta 3.000 km² o para tiempos de concentración superiores a seis horas, se aconseja utilizar el Método Racional Modificado (Témez, 1991) y (Ferrer, 1993). Este método es igual al anterior pero introduciendo tres coeficientes correctores:

- Elimina la mayoración del caudal del 20% al dividir por 3,6 en vez de 3 quedando la fórmula para el cálculo del caudal con la siguiente expresión:

$$Q_c = \frac{C * I_{t_c}^T * S}{3,6} * K \quad (5)$$

- Un coeficiente de uniformidad K, que corrige el hecho de que la lluvia no es uniforme en el tiempo. Se aplica al final para mayorar el caudal resultante Q_c :

$$K = 1 + \frac{t_c^{1,25}}{t_c^{1,25} + 14} \quad (6)$$

Con t_c en horas

- Un coeficiente reductor por área, ARF, que corrige el hecho de que la lluvia no es uniforme geográficamente. Se aplica al principio minorando el valor de P_{24}^T con lo que minorará el valor del coeficiente de escorrentía y de la intensidad de lluvia correspondiente:

$$ARF = 1 - \frac{\log[S]}{15} \quad (7)$$

Con S en km².

Así mismo, está disponible un método para el cálculo de la intensidad máxima para distintas duraciones de lluvia y períodos de retorno y se elaboró un mapa de isolíneas. Dicho trabajo se realizó en las estaciones que contaban con pluviógrafo por lo que elaboró el mapa de isolíneas para adaptarlo al resto de España. Esta metodología se recoge posteriormente en la Instrucción 5.2-IC, y en ella incorpora como novedad un mapa actualizado de isolíneas.

Por esto, los datos que se están utilizando actualmente son los mismos que se dedujeron a partir de un análisis "local" de las 21 estaciones existentes por todo el territorio Español, con los datos existentes de las 21 estaciones hasta los años setenta, y ajustándolos posteriormente mediante la distribución de (Gumbel, 1960).

Algunos autores (Salas, 2008) plantea una profunda revisión del método e incorpora las nuevas series que se han producido, utiliza nuevas funciones de distribución ya que parece que en suelo mediterráneo la distribución de Gumbel produce valores por defecto, y además aplica el análisis "regional" al estudio de esta variable utilizando los 63 estaciones con pluviógrafo repartidos actualmente en España, metodología que permite mejorar la fiabilidad de los resultados.

En la formulación propuesta por Salas las fórmulas empleadas se detallan a continuación:

$$I_t = I_{24} \left(\frac{I_1}{I_{24}} \right)^{\frac{24^a - t^a}{24^a - 1}} * h(T) \quad (8)$$

Donde:

I_t = Intensidad media en el periodo t, (la I_{tc}^T del método racional)

I_{24} = intensidad media diaria = $P_{24}^T / 24$

I_1 = Intensidad media en la hora más lluviosa de ese día

$\frac{I_1}{I_{24}}$ Se obtiene directamente del mapa nº 1 de la Fig. 21

t = periodo de tiempo (horas) para el que se quiere evaluar la intensidad, coincidente con el tiempo de concentración de la cuenca de los otros métodos expuestos.

T = periodo de retorno al que se refiere la intensidad diaria I_{24}

a = valor que se obtiene de los mapas que acompañan a la formulación y que no se exponen en el presente artículo.

$h(T)$ = función que se calcula con las fórmulas que se indican más abajo.

El valor de $h(T)$ se obtiene según la siguiente formulación:

- Para $t < 1$ hora, punto situado en Zona 1 de los mapas

$$h(T) = -0,0004 * (Ln(T))^2 + 0,0092 * Ln(T) + 1,0044 \quad (9)$$

- Para $t < 1$ hora, punto situado en Zona 2 de los mapas.

$$h(T) = -0,007 * (Ln(T))^2 + 0,1066 * Ln(T) + 0,9086 \quad (10)$$

- Para $t > 1$ hora, punto situado en Zona 1 de los mapas.

$$h(T) = 0,0012 * (Ln(T))^2 - 0,0136 * Ln(T) + 1,0218 \quad (11)$$

- Para $t > 1$ hora, punto situado en Zona 2 de los mapas.

$$h(T) = -0,0037 * (Ln(T))^2 + 0,055 * Ln(T) + 0,9536 \quad (12)$$

El caudal de cálculo se obtiene mediante una fórmula similar a la empleada en la Instrucción 5.2-IC:

$$Q_c = \frac{C * I_t * S}{3} \quad (13)$$

Existe información publicada con posterioridad a las Instrucciones 5.1 y 5.2 IC para lograr una mejor catalogación del suelo y que sin llegar a resolver del todo el problema planteado si que puede limitar significativamente la estimación.

La tabla 1 proporciona la estimación del Umbral de escorrentía P_0 de (Surendra& Singh, 2003) que proporciona límites cuantitativos con la humedad previa del suelo

Tabla 1: Humedad previa del suelo

Humedad previa	Precipitación total en los 5 días anteriores	
	Plantas en periodo latente	Plantas en periodo de crecimiento
I (seco)	Menos de 13 mm	menos de 35 mm
II (normal)	De 13 a 32 mm	De 35 a 52 mm
III (húmedo)	Más de 32 mm	Más de 52 mm

Nota: Humedad previa del suelo en los cinco días anteriores para el estudio de la precipitación.

Para la estimación del Umbral de escorrentía proporcionado por las tablas de la Instrucción 5.2-IC a las condiciones de humedad I ó III se usan tablas numéricas de (Singh, 1992)

Se han elaborado (Sánchez San Román, 2008) las siguientes relaciones, que proporcionan unos resultados muy similares a las tablas:

$$(P0 I) = (P0 II) \cdot 2,31 \quad (14)$$

$$(P0 III) = (P0 II) \cdot 0,43 \quad (\text{para } (P0 II) > 35) \quad (15)$$

$$(P0 III) = (P0 II) \cdot 0,0072 + (P0 II) \cdot 0,167 \quad (\text{para } (P0 II) < 35) \quad (16)$$

(P0 II) = P0 calculado para condiciones de humedad previa II

(P0 I) = P0 para condiciones de humedad previa I

(P0 III) = P0 para condiciones de humedad previa III

Por lo tanto, las tablas de la Instrucción siempre proporcionan un valor para un estado de humedad intermedio o normal (grado II) por lo que su exactitud parece ser poca ya que no considera si la región es históricamente seca o húmeda, simplemente se limita a aplicar un factor corrector proporcionado por la Fig. 2.5 de la Instrucción 5.2-IC para considerar una humedad previa seca, siendo este factor claramente inexacto y claramente desfasado para una instrucción que modela todo un desarrollo tan importante como es el caudal de cálculo para el análisis de llanuras de inundación.

Existe así mismo la Tabla de (López Alonso, 2001) cuantificando la tasa de infiltración.

Tabla 2: Tasa de infiltración

SUELO	CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN CON HUMEDAD ELEVADA	TASA DE INFILTRACIÓN (mm·h ⁻¹)	PROFUNDIDAD	TEXTURA	DRENAJE
A	Alta	7,62-11,43	Elevada	Arenosa Areno-limosa	Excesivo
B	Moderada	3,81-7,62	Mediana a elevada	Franca-arenosa Franca Franco-arcillo-arenosa Franco-limosa	Buena a moderado
C	Escasa	1,27-3,81	Mediana a pequeña	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto
D	Muy escasa	0-1,27	Con horizontes arcillosos. Litosuelos. Suelos con nivel freático permanentemente alto	Arenosa	Pobre o muy pobre

Nota: Tabla de López Alonso para cuantificar la tasa de infiltración

Del mismo modo, se debe recurrir a los mapas forestales publicados por el Ministerio donde se dispone de información sobre la vegetación arbórea del MF-2005 y clasifica en tres grandes usos del parámetro del umbral de escorrentía:

Masas forestales: bosque o cuando es una plantación de aprovechamiento regular con una fracción de cabida cubierta total de como mínimo 65%.

Plantaciones de aprovechamiento regular: bosque de plantación.

Praderas: dehesa.

La caracterización de cada uno de estos usos se ha realizado a partir de los datos de la fracción de cabida cubierta según las normas de equivalencias que se muestran en la tabla 3 (Montserrat & Blanco & Ramírez, 2005).

Tabla 3: Humedad previa del suelo

Uso de suelo según P_0	Estructura en MF-2005	Tipo	Reglas de definición
Pradera	Dehesa	Media	$fccarb \leq 30$
		Buena	$fccarb > 30$
Plantación regular de aprovechamiento forestal	Bosque de plantación	Pobre	$fcct < 25\%$
		Media	$25 \leq fcct < 65$
Masa forestal	Bosque o bosque de plantación con $fcct \leq 65\%$	Muy clara	$fcct \leq 10\%$
		Clara	$10 < fcct \leq 30$
		Media	$30 < fcct \leq 65$
		Espesa	$65 < fcct \leq 90$
		Muy espesa	$fcct > 90$

Nota: Definición de las masas forestales y las plantaciones regulares de aprovechamiento forestal para el establecimiento de la condición hidrológica de los suelos. Donde $Fccarb$ es la fracción de cabida cubierta de la masa arbórea y $Fcct$ es la fracción de cabida cubierta total

4. Materiales y métodos

Se ha estudiado la influencia de varios factores que quedan a la buena estimación y decisión del proyectista a la hora de aplicar método Racional expresado en las Instrucciones 5.1 y 5.2 IC de drenaje de carreteras.

Por esto, un estudio hidrológico puede variar enormemente dependiendo de las decisiones que el ingeniero redactor tome. Ya que queda al arbitrio técnico del Proyectista- dentro de unos límites- valorar ciertos parámetros que entran en la formulación del Método racional. En concreto el primer dato que se debe estimar es el Umbral de escorrentía que es la cantidad de lluvia a partir de la cual se produce escorrentía superficial debido a que la instrucción supone que hasta que el terreno no está saturado de agua el agua de lluvia caída se infiltra en el terreno.

Como es lógico este Umbral de Escorrentía, P_0 , depende del tipo del terreno existente, así la Instrucción 5.1 IC expresa en su tabla 2.1 el Umbral de Escorrentía en función del tipo de terreno, y es aquí donde el caudal finalmente a calcular puede variar dependiendo de la elección del Proyectista.

La citada tabla 2.1 depende de cuatro factores:

- El uso de la tierra
- Pendiente
- Características hidrológicas

Grupo de suelo

A su vez, el grupo de suelo se obtiene por la tabla 2.2 de la Instrucción 5.2-IC.

A su vez, esta última tabla depende de otros cuatro factores:

1. Infiltración
2. Potencia
3. Textura
4. Drenaje

En efecto, la mencionada tabla 2.1 clasifica los terrenos en térreos en Barbecho, cultivos en hilera, Cereales de invierno, rotación de cultivos pobres, rotación de cultivos densos, praderas, Plantaciones regulares aprovechamiento forestal y Masas forestales (bosques, monte bajo, etc.). Depende del buen criterio del proyectista elegir un tipo de terreno u otro y dado que una cuenca no es homogénea y más en las cuencas grandes, no se puede marcar un punto exacto del paso de un tipo de terreno a otro. Es más, entre la elección de un tipo de terreno u otro, por ejemplo entre la elección de un terreno en rotación de cultivos pobres y otro en rotación de cultivos densos existe el albedrío acotado del proyectista. ¿Dónde se marca la diferencia que no explica la 5.1 IC?. El segundo parámetro de la tabla es la pendiente ya que diferencia entre terrenos de más del 3% y menos del 3% pero, ¿Qué ocurre en terrenos con una pendiente del 3% exactamente o muy próxima?, ¿varían mucho los resultados entre la elección de una pendiente u otra en este caso concreto?. Estas respuestas se deben resolver en el presente artículo.

El proyectista también debe estimar las características hidrológicas del suelo en N o R en los cinco primeros grupos de terreno es decir, Barbecho, cultivos en hilera, Cereales de invierno, rotación de cultivos pobres, rotación de cultivos densos, donde N denota cultivo según las curvas de nivel y R denota cultivo según la línea de máxima pendiente.

Debe clasificar también el tipo de terreno en pobre, medio, bueno y muy bueno en las praderas y en plantaciones regulares aprovechamiento forestal. Y por último según las características hidrológicas debe clasificar las masas forestales (bosques, monte bajo, etc.) en media, clara, muy clara, espesa o muy espesa.

Finalmente, se debe estimar también el grupo de suelo en A, B, C o D, siendo A un suelo con una infiltración Rápida, una potencia grande, una textura arenosa-limosa y un drenaje perfecto. Un grupo de suelo B es aquel con una infiltración moderada, una potencia de media a grande, una textura franco-arenosa y un drenaje de buena a moderada. Un suelo C consiste en una infiltración lenta, una potencia de media a pequeña, una textura Franco-arcillosa Franco-arcillo -limosa Arcillo-arenosa y un drenaje imperfecto. Y un suelo D tiene una infiltración muy lenta, una potencia pequeño (litosuelo) u horizontes de arcilla, una textura arcillosa y un drenaje pobre o muy pobre.

Como se apuntaba, todos estos parámetros son parámetros que se deben estimar ya que la instrucción no define cuantitativamente cuando un suelo tiene por ejemplo una masa forestal densa, muy densa o clara. También se debe estimar cuando un suelo tiene una característica hidrológica buena, pobre o media o cuando un terreno presenta un drenaje bueno, muy bueno, pobre o imperfecto.

También deja a la elección subjetiva del proyectista la textura del suelo, si es arenoso, franco arenoso, franco-arenoso-limoso, etc.

Es indudable a la vista de lo expuesto que la Instrucción 5.2 IC no es muy precisa en la estimación de estos parámetros ya que no fija criterios cuantitativos para catalogar un terreno y la estimación de los indicadores mencionados dependen de criterios cualitativos sometidos a la buena técnica y criterio del proyectista. Es por esto que se puede- siempre dentro de la lógica- catalogar un mismo terreno en dos clasificaciones diferentes, pudiendo ambas catalogaciones ser válidas y argumentarse técnicamente pero de una manera subjetiva.

Queda fuera de toda duda que para acotar estos márgenes de discrecionalidad y poder ofrecer un caudal de cálculo fidedigno y fiable se deben adoptar criterios cuantitativos en vez de cualitativos, y de esta manera delimitar de una manera eficaz el margen de discrecionalidad existente en la actualidad en los parámetros mencionados.

Por esto se deben establecer límites numéricos (cuantitativos) a los parámetros para catalogar un suelo y así establecer su umbral de escorrentía. Se debe definir, por ejemplo, a partir de cuantos mm se considera que un suelo presenta un drenaje muy bueno o a partir de cuantos mm el drenaje debe considerarse como pobre. Del mismo modo se deben establecer criterios numéricos en función de la densidad de la vegetación para catalogar un suelo como masa forestal densa, muy densa o clara, por ejemplo. Y así con todos los parámetros citados que se subordinan a un arbitrio del autor del estudio.

Además de todo lo anotado anteriormente, la Instrucción 5.1 IC presupone para todos los cálculos se realizan sobre un suelo húmedo existente, es decir, las tablas que proporcionan el valor del Umbral de escorrentía presuponen un grado medio de humedad (Sánchez San Román, 2008). Si en los días que anteceden a la precipitación estudiada para el periodo de retorno se produjeron lluvias fuertes el grado de infiltración del suelo será menor, por lo que el valor real de P_0 tendrá que ser corregido a la baja. En el caso extremo contrario, si los días anteriores no se ha producido precipitación, el grado de humedad del suelo será nulo y la capacidad de infiltración del suelo será mayor, por lo que hay que corregir el Umbral de escorrentía al alza.

Se toma como ejemplo la localidad de Manchita. Con sus datos de lluvias máximos anuales se obtienen los siguientes datos, en concreto la intensidad de máxima diaria para diferentes periodos de retorno.

En la Tabla 4 podemos observar los valores de la Precipitación en mm para diferentes periodos de retorno.

Tabla 4: Precipitación máxima diaria para un periodo de retorno.

Periodo de Retorno T	Frecuencia $F(x)=1-(1/T)$	Precipitación máxima diaria P_{24}^T (mm)	Intensidad media diaria máxima $I_d^T = P_{24}^T/24$ (mm/h)	Intensidad máx. horaria $I_{60}^T = I_d^T * (1/10)^{1/(exp-1)}$ (mm/h)	Precipitación máxima diaria P_{24}^T (mm)	Frecuencia (probabilidad de que se produzca el caudal en el próximo año)	Riesgo de fallo (probabilidad de que se produzca el caudal en el T)	Riesgo de fallo en 30 años (probabilidad de que se produzca el caudal en 30 años)
2	0.5	38.68	1.61	16.12	38.68	50.00%	75.00%	100%
5	0.8	49.02	2.04	20.42	49.02	20.00%	67.23%	99.88%
10	0.9	55.87	2.33	23.28	55.87	10.00%	65.13%	95.76%
20	0.95	62.43	2.60	26.01	62.43	5.00%	64.15%	78.54%
25	0.96	64.52	2.69	26.88	64.52	4.00%	63.96%	70.61%
50	0.98	70.93	2.96	29.56	70.93	2.00%	63.58%	45.45%
100	0.99	77.30	3.22	32.21	77.30	1.00%	63.40%	26.03%
500	0.998	92.03	3.83	38.34	92.03	0.20%	63.25%	5.83%

Nota: Cálculo de la precipitación máxima diaria para un periodo de retorno, y otros valores a destacar.

El umbral de escorrentía P_0 se obtiene de la tabla 2.1 de la instrucción multiplicando los valores en ella contenidos por el coeficiente corrector correspondiente, en este caso 2,5.

De una manera correcta, pero sin lograr eliminar cierta subjetividad personal, se estima que el terreno existente se clasifica como Pradera con una característica hidrológica pobre y grupo de suelo C. Con estos parámetros obtenemos un umbral de escorrentía P_0 de 30 mm según se indica en la tabla 5.

Tabla 5: Umbral de escorrentía

CUENCA	
Relación I_1/I_3 :	10
Area (Km ²)	1,125
Longitud (Km)	1,8
Pend.media (m/m)	0,07
Umbral escorrentía (P_0)	30

Nota: Umbral de escorrentía y otros parámetros.

Como se puede comprobar en la Tabla 5 el umbral de escorrentía P_0 obtenido es de 30 mm.

En la Tabla 6 se puede observar el caudal Q_c para un Periodo de Retorno T de 500 años.

Tabla 6: Precipitación máxima diaria para un periodo de retorno.

Para T=500 años:

Precipitación máxima diaria P_{24}^T (mm)	92,03
Tc (minutos)	46,63
Coef. Escorrentía	0,272344455

Duración aguacero = tiempo concentración (min)	Int. Lluvia $I_c^T = I_3^T * (I_1/I_3)^{k_{exp}}$ (mm/h)	exponente	CAUDAL m ³ /sg
5	138,06	1,56	14,10035225
10	99,66	1,41	10,17811300
20	70,27	1,26	7,177019554
30	56,63	1,17	5,783523742
40	48,33	1,10	4,935501585
50	42,60	1,05	4,350481490
60	38,34	1,00	3,916073294
70	35,03	0,96	3,57740591
80	32,35	0,93	3,304054298
90	30,13	0,90	3,077602107
100	28,26	0,87	2,886160325
110	26,65	0,84	2,72166482
120	25,25	0,82	2,578427113
46,63	44,32	1,06	4,526656819

Nota: Estimación del caudal para un T y Tc= D.

En la Tabla 6 se puede comprobar que el Caudal Q_c para un periodo de retorno T= 500 años y una duración del aguacero D igual al tiempo de concentración de la cuenca es 4,526 m³/s.

Al no haber límites cuantitativos podemos variar los parámetros de las características del mismo suelo sin caer en ningún error técnico, simplemente variamos nuestro grado de apreciación del terreno (subjetividad) y clasificar el terreno como pradera con característica hidrológica media y grupo C, obteniéndose un umbral de escorrentía P_0 de 42.5 mm, un 41,6% más.

El Caudal de cálculo se obtiene de la tabla 7.

Tabla 7: Caudal de cálculo

Para T=500 años:

Precipitación máxima diaria P_{24}^T (mm)	92,03
Tc (minutos)	46,63
Coef. Escorrentía	0,16919472

Duración aguacero = tiempo concentración (min)	Int. Lluvia $I_c^T = I_d^T * (I_d/I_c)^{n,exp}$ (mm/h)	exponente	CAUDAL m3/sg
5	138,06	1,56	8,75988153
10	99,66	1,41	6,32317991
20	70,27	1,26	4,458742584
30	56,63	1,17	3,593029585
40	48,33	1,10	3,066193553
50	42,60	1,05	2,702748256
60	38,34	1,00	2,432871002
70	35,03	0,96	2,222472985
80	32,35	0,93	2,052652565
90	30,13	0,90	1,911968536
100	28,26	0,87	1,793034817
110	26,65	0,84	1,690841545
120	25,25	0,82	1,601854737
46,63	44,32	1,06	2,81219765

Nota: Tabla Caudal de cálculo variando la características del terreno.

Como se puede examinar en la tabla 7, el caudal Q_c obtenido es de 2,812 m³/s, es decir, un 37,87 % menos. Lógico ya que anteriormente había aumentado el umbral de escorrentía P_0 .

5. Resultados

En el presente artículo se han realizados varios cálculos donde se realizan distintas clasificaciones razonadas del terreno para un mismo suelo, siempre estando dentro de la lógica y jugando con el arbitrio que permiten las normas la norma 5.1 y 5.2 IC. Así, dentro de estos criterios lógicos se han ido variando los distintos parámetros y se puede observar la variación del Umbral de escorrentía y por lo tanto del caudal de cálculo final en función de dichos parámetros.

De este modo, se pretende dar un resultado de la proporción de cuánto puede variar el resultado (P_0, Q_c) de un estudio hidrológico en función de las arbitrariedades “razonadas” que permite la normativa al no acotar cuantitativamente y con valor numérico los parámetros anteriormente mencionados.

En el presente estudio se puede comprobar que se pasa de un umbral de escorrentía P_0 de 30 mm y un caudal Q_c de 4,526 m³/s a un umbral de escorrentía P_0 de 42,5 mm, un 41,6% más, y a un caudal Q_c de 2,812 m³/s, un 37,87 % menos.

Se ha estudiado, a modo de ejemplo, una localidad y una variación de los parámetros descritos, pero se han realizado más simulaciones y se constata que una pequeña variación en la estimación subjetiva de uno de los parámetros de clasificación del suelo y de sus características pueden variar de una manera muy significativa el umbral de escorrentía y por tanto el caudal para un periodo de retorno considerado. Por lo tanto, la elección de estos parámetros influye enormemente en los resultados de los estudios hidrológicos y por tanto en la estimación de las crecidas de los ríos y en los drenajes de las distintas obras aplicadas a la ingeniería civil.

Así mismo, es necesario acentuar que existen otros factores que influyen enormemente en los resultados, como el grado de humedad del suelo en los días anteriores o la potencia del suelo clasificado, factores que son imprevisibles y que alterar profundamente el caudal estimado.

Por último, como se ha apuntado anteriormente, es imprescindible destacar que existen datos ajenos a la mencionada normativa que pueden ayudar a la hora de estimar con mejor precisión el tipo de terreno y sus características para la evaluación del caudal de cálculo de una determinada avenida.

BIBLIOGRAFÍA

Instrucción de Carreteras, Norma 5.2-IC de Drenaje Superficial. Orden de 14 de mayo de 1990. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. BOE núm. 123 de 23 de mayo de 1990.

Instrucción 5.1-IC Drenaje. (1965). Madrid. BOE de 21 de junio de 1965.

Gumbel, E. J. (1960). Multivariate Extremal Distributions. Bull. Inst. Internat. de Statistique.

López Alonso, R. (2001). Consideraciones acerca de los límites de aplicación del método del número de curva del SCS. Montes.

Ministerio de Fomento. (1999) Máximas Lluvias diarias en la España Peninsular. Madrid. Fomento.

Montserrat Ferrer J., Javier Blanco, J.(2005). Tecnosylva Pol.Ind. León CEEI, 24231 Onzonilla.

Salas Regalado, L; Carretero Díez, L. (2008). Regionalización de leyes IDF para el uso de modelos hidrometeorológicos de estimación de caudales. Universidad Politécnica de Madrid EUIT. Forestal U.D. Hidráulica e Hidrología.

<http://web.usal.es/~javisan/hidro/> Sánchez San Román, F.J. Hidrología e hidrogeología Disponible en Universidad de Salamanca. Consultada por primera vez el 20 de junio de 2008.

Singh, V.P. (1992). Elementary Hydrology. Prentice Hall. New York. USA.

Surendra Kumar, M., Singh, V.(2003). Soil Conservation Service (SCS) Curve number methodology. Water science and Technology Library. New York.

Témez, J.R. (1991). Extended and improved rational method. Version of the highways administration of Spain". Madrid. XXIV Congreso Internacional de la IAHR.