



**Proyecto de Permeabilización Piscícola del Azud de Protección del
Viaducto de la Carretera N-502 sobre el Río Tiétar.
T.M. Arenas de San Pedro (Ávila)**



INGENIERÍA AMBIENTAL

ANEJO I. ESTUDIO HIDROLÓGICO

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. CALCULO DE LOS CAUDALES MÁXIMOS.....	2
2.1. MÉTODO RACIONAL MODIFICADO	2
2.2. CÁLCULOS.....	6
2.2.1. Características físicas de la cuenca.....	6
2.2.2. Máximas Precipitaciones Diarias	7
2.2.3. Cálculo de las Intensidades	10
2.2.4. Umbral de Escorrentía (P_o).....	12
2.3. APLICACIÓN DEL MÉTODO A LA CUENCA VERTIENTE AL AZUD EN ESTUDIO	14
2.4. CONCLUSIONES	15

1. INTRODUCCIÓN

Este Apartado tiene por objeto el estudio de las leyes de frecuencia (relación entre los caudales máximos que se pueden generar, y su probabilidad de ocurrencia en el tiempo) de los caudales máximos correspondientes a la cuenca del río Tiétar vertiente al azud en estudio.

Aunque existe una estación de aforos (3161) a 2,7 kilómetros aguas abajo del punto seleccionado, la cuenca carece de registros de caudales en el punto seleccionado, por lo que es necesario aplicar métodos hidrometeorológicos de cálculo, basados en los datos de precipitaciones máximas y en las características físicas de la cuenca.

El método aplicado para el cálculo de caudales de escorrentía de la cuenca alta del Tiétar es el expuesto en la instrucción 5.2.IC “Drenaje Superficial”

El procedimiento utilizado en la obtención de las precipitaciones máximas de cálculo es el basado en el documento “MÁXIMAS LLUVIAS DIARIAS EN LA ESPAÑA PENINSULAR” editado por la Dirección General de Carreteras.

2. CALCULO DE LOS CAUDALES MÁXIMOS.

2.1. MÉTODO RACIONAL MODIFICADO

Para realizar el cálculo de los caudales punta se utiliza el Método Racional Modificado, al cual se le aplican las variaciones propuestas por J.R Témez en el XXIV Congreso de la Asociación Internacional de Investigaciones Hidráulicas (Madrid, 1991).

Este método supone un aguacero con las siguientes características:

- ✦ Intensidad de la lluvia neta constante: se intenta corregir mediante un coeficiente corrector.
- ✦ Duración del aguacero igual al tiempo de concentración: Es la duración mas desfavorable, puesto que una duración menor provocaría que no toda la cuenca este generando escorrentía y una duración mayor equivaldría a una menor intensidad de lluvia.
- ✦ Simultaneidad de la lluvia en la cuenca, se supone constante si bien se corrige este aspecto con un coeficiente.

Para la aplicación del método se han definido y evaluado los siguientes parámetros básicos:

a) **Características físicas de la cuenca:**

Área de la cuenca, longitud del curso principal y pendiente del curso principal.

b) **Tiempo de concentración:**

Es el tiempo transcurrido desde el final de la lluvia neta hasta el final de la escorrentía superficial provocada en la cuenca. La expresión utilizada para la determinación de este tiempo es la siguiente:

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{J^{1/4}} \right)^{0.76}$$

Dónde:

T_c = Tiempo de concentración (horas)

L = Longitud del curso principal.

J = Pendiente media del curso principal

c) Coeficiente de Uniformidad:

La hipótesis de lluvia neta constante se va alejando de la realidad e infravalorando caudales al incrementarse el T_c . Por ello se aplica el Coeficiente de Uniformidad, que refleja la variación de la lluvia neta durante la duración del aguacero.

$$K = 1 + \frac{T_c^{1,25}}{T_c^{1,25} + 14}$$

Dónde:

T_c = Tiempo de Concentración (horas)

d) Régimen de precipitaciones extremas:

La ley de precipitaciones máximas diarias areales sobre la cuenca, deducida de los planos de isomáximas, o por otros métodos hidrometeorológicos, viene modificada por el Coeficiente de simultaneidad de la lluvia, factor aplicado para corregir la no simultaneidad de la lluvia en cuenca en cuencas mayores de 1 Km². Su expresión es la siguiente

$$K_A = 1 - \frac{\text{Log}_{10} A}{15}$$

Dónde:

A= Área de la cuenca.

Log A = Logaritmo decimal de la superficie de la cuenca A (Km²)

Por lo que las precipitaciones máximas reales sobre la cuenca tendrán la expresión siguiente:

$$Pd^* = Pd(Ka)$$

Dónde:

Pd* = Precipitación máxima diaria modificada, en mm, correspondiente a un periodo de retorno T

Pd = Precipitación máxima diaria calculada, en mm, correspondiente al periodo de retorno T

El aguacero a efectos de cálculo quedará definido por la Intensidad I (mm/hora) de la precipitación media, función de la duración del intervalo considerado y de la intensidad de la precipitación media diaria (Pd*/24) para un periodo de retorno de referencia.

e) Intensidad de la lluvia:

El valor medio de intensidad a lo largo de un intervalo de tiempo es función del tiempo de respuesta de la cuenca. Se calcula a partir de las curvas Intensidad-Duración.

$$I_{Tc} = \frac{P_d^*}{24} \cdot \left(\frac{I_l}{I_d} \right)^{\frac{28^{0.1} - Tc^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

Dónde:

It = Intensidad media correspondiente al intervalo de duración t. (mm/h)

Id = Intensidad media diaria de precipitación (mm/h)

Pd* = Precipitación máxima diaria modificada, en mm, correspondiente a un periodo de retorno T (mm)

I_1/I_d = Cociente entre la intensidad horaria y la diaria. Se encuentra regionalizado a nivel nacional.

t = Duración de intervalo de tiempo de I_t (horas)

f) **Coefficiente de Escorrentía:**

El coeficiente de escorrentía es otro de los factores que intervienen en la fórmula del cálculo de los caudales punta.

La ley utilizada está ligada a aquella otra de transferencia “precipitación - escorrentía superficial” deducida por el Soil Conservation Service de EEUU.

La expresión que evalúa el valor del coeficiente de escorrentía es la siguiente:

$$C = \frac{(P_d^* - P_o)(P_d^* + 23P_o)}{(P_d^* + 11P_o)^2}$$

Dónde:

C = Coeficiente de Escorrentía

P_d^* = Precipitación máxima diaria modificada correspondiente al periodo de retorno considerado.

P_o = Umbral de escorrentía.

g) **Caudal punta:**

El caudal punta de avenida, Q (en m^3/s), para un período de retorno dado se obtiene mediante la expresión:

$$Q = \frac{C I A}{3.6} K$$

Dónde:

A = Superficie de la cuenca (en Km²)

K = Coeficiente de uniformidad.

I = Intensidad de lluvia , en mm/h, correspondiente a la duración y período de retorno considerados.

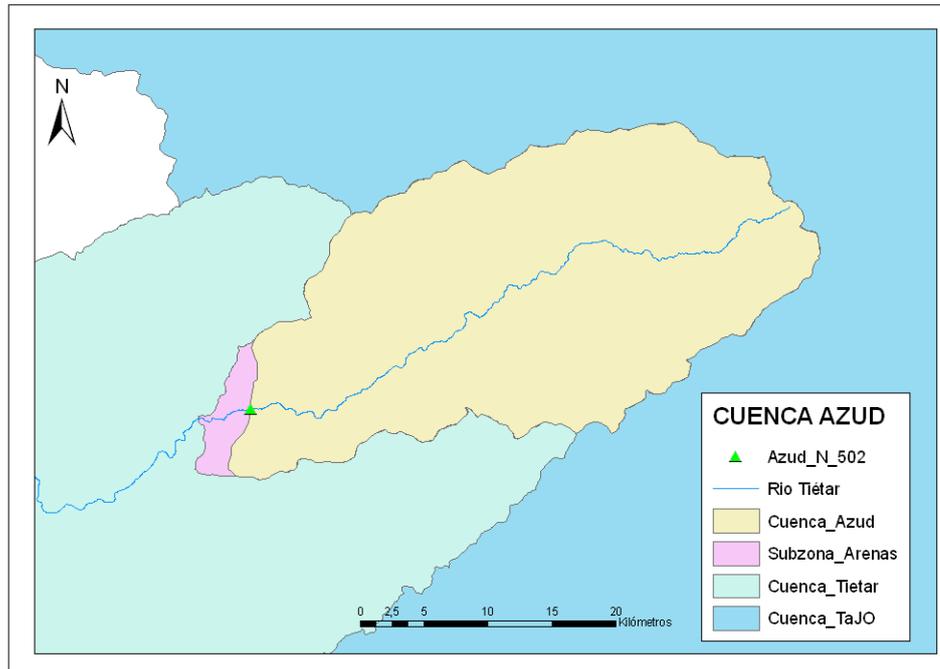
C = Coeficiente de escorrentía.

2.2. CÁLCULOS

2.2.1. Características físicas de la cuenca

Las características de la cuenca son las siguientes:

- ✦ El área de la cuenca es de 773,1 Km²
- ✦ La longitud del cauce principal es de 56,6 Km
- ✦ La pendiente media del cauce principal es de 0,0066
- ✦ El tiempo de concentración es de 16, 71 horas



Cuenca Vertiente al Azud en estudio.

Fuente: elaboración propia

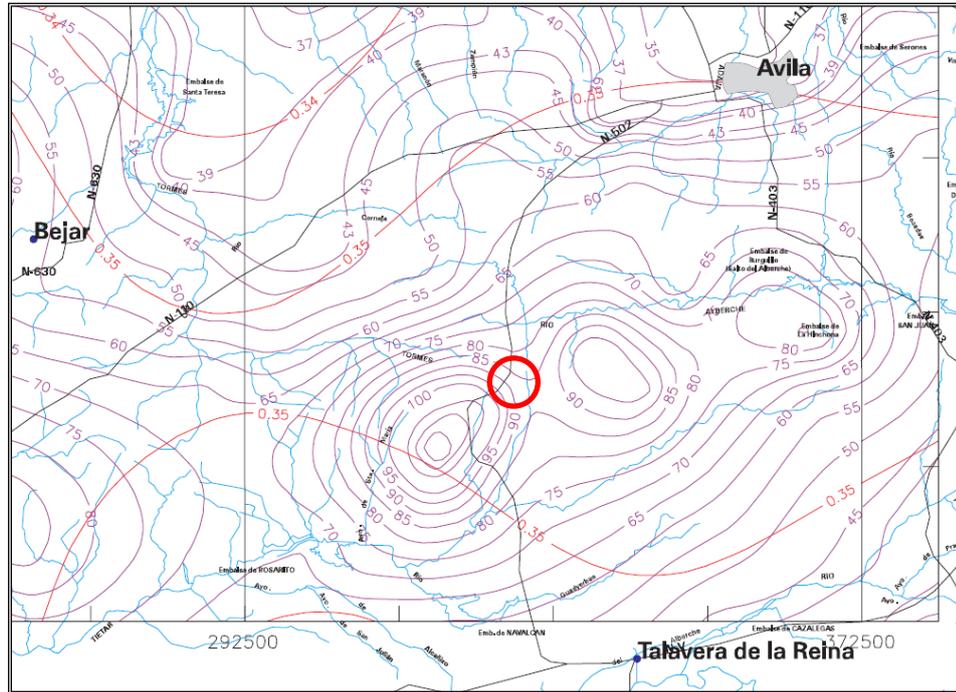
2.2.2. Máximas Precipitaciones Diarias

Los valores de las máximas precipitaciones diarias constituyen datos esenciales para el proceso de cálculo, tal como se puede comprobar en la descripción del método, hecha en el apartado anterior.

En su determinación se utilizará la publicación “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular”, editada por el Ministerio de Fomento (1999).

Pasos a seguir en el cálculo de las precipitaciones:

- ✦ Localización en los mapas del punto geográfico deseado:



Mapa de Isolíneas de la media de precipitación máxima anual (P) y Coeficiente de variación (C_v)

- Estimar mediante las isolíneas el coeficiente de variación C_v y el valor medio de P de la máxima precipitación diaria anual.
- Para el periodo de retorno deseado T y el Valor de C_v , obtener el factor de amplificación Y_T . El factor de amplificación Y_T (T, C_v) se obtiene de la siguiente tabla.

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

***Factor de amplificación $Y_T(T, C_v)$ del mapa de máximas lluvias diarias
en la España Peninsular***

- ✦ Realizar el producto del factor de amplificación Y_T por el valor medio P obteniéndose el cuantil de la precipitación diaria máxima para el periodo de retorno deseado X_T .

En las siguientes tablas se muestran los datos utilizados y los resultados obtenidos de la aplicación del método descrito:

Localización	Mapa de Isolíneas	
	Media de las máximas P	Cv
Azud carretera N-502 (Río Tiétar)	79 mm/día	0,35

Periodo Retorno	Yt (factor de amplificación)	Media de las máximas P	Máxima Precipitación diaria (mm/día)
2	0,92	79	72,76
5	1,22	79	96,14
10	1,44	79	113,60
25	1,73	79	136,83
50	1,96	79	154,92
100	2,22	79	175,38
200	2,48	79	195,92
500	2,83	79	223,65

2.2.3. Cálculo de las Intensidades

El cálculo de las Intensidades también es clave para el proceso de cálculo, tal como se puede comprobar en la descripción del método, hecha en el apartado anterior.

Los pasos a seguir en el cálculo de las Intensidades son los siguientes:

- ✦ Se determina el valor de I_1/I_d según el mapa de isolíneas que se muestra a continuación. A la zona del proyecto se le asigna el valor de $I_1/I_d = 10$. Este valor es característico de la cuenca e independiente del periodo de retorno:



Mapa de Isohietas I₁/I_d

- La duración del aguacero se toma igual al tiempo de concentración.
- Aplicando la fórmula los resultados son los siguientes:

Periodo retorno	Pd*	(I ₁ /I _d)	T _c	Intensidad en el Tiempo de Concentración
2	58,75	10	16,71	3,68
5	77,63	10	16,71	4,87
10	91,73	10	16,71	5,75
25	110,48	10	16,71	6,93
50	125,09	10	16,71	7,84
100	141,61	10	16,71	8,88
200	158,20	10	16,71	9,92
500	180,59	10	16,71	11,32

2.2.4. Umbral de Escorrentía (P_0)

El umbral de escorrentía P_0 es el parámetro que de acuerdo con las leyes de Soil Conservation Service determina la componente de la lluvia que escurre por la superficie. Su valor depende de las características del complejo suelo-vegetación de las cuencas y de las condiciones iniciales de humedad, y necesita ser conocido para aplicar el método de cálculo descrito en el primer apartado, pues interviene en la fórmula del coeficiente de escorrentía.

Su estimación se hace en función de una serie de factores, tales como uso de la tierra, pendiente del terreno, características hidrológicas y grupo de suelo (A, B, C o D)

En el caso que nos ocupa se ha considerado en el valor de $P_0 = 19$, basándonos en las siguientes consideraciones:

- ✦ El Río Tiétar recoge una serie de arroyos y gargantas de cierta entidad que constituyen una red de cauces definidos, por lo que el efecto de flujos difusos por tramos urbanos con red de drenaje propia, resulta despreciable.
- ✦ Los terrenos de la cuenca están constituidos por granito y arenas de granito, y los cauces discurren por terrenos aluviales, por lo que el tipo de suelo a considerar según las tablas del S.C.S sería de tipo B o C, es decir de infiltración moderada a lenta.
- ✦ La cuenca vertiente al Río Tiétar antes del azud en estudio, abarca zonas de montaña (Sierra de Gredos) que presentan grandes formaciones de matorral denso y bosques de conífera dispersos como uso de suelo mayoritario. En las zonas medias y bajas aparecen los bosques de frondosas perennifolias y pastizales mediterráneos y pastizales con arbolado adhesionado.

Según los datos antes descritos y teniendo en cuenta una pendiente media menor al 3%, los resultados varían entre 17-22 para praderas en suelos tipo C y entre 17-24 para masas forestales (suelos y monte bajo) para suelos tipo B, teniendo en cuenta que los usos minoritarios como puedan ser suelos en barbecho o mosaico de cultivos reducirían estos valores, se toma $P_0 = 19$ como valor más representativo de la zona de estudio.

El Umbral de escorrentía se ve afectado por un coeficiente corrector, o factor regional β , de acuerdo con el siguiente mapa:



*Mapa del coeficiente corrector del umbral
de escorrentía.*

2.3. APLICACIÓN DEL MÉTODO A LA CUENCA VERTIENTE AL AZUD EN ESTUDIO

Cuenca	Cota Sup. (m)	Cota Inf. (m)	L.Cauce mas largo (Km)	Pendiente media (m/m)	Area (Km ²)	Tc (h)	K	Ka	β
Azud N-502	746	370	56,600	0,007	773,100	16,711	1,707	0,807	2,4

CÁLCULO DE LOS CAUDALES PUNTA:

Superficie	T (Años)	Pd (mm)	Pd* (mm)	Tc (h)	P0 (mm)	β	P0* (mm)	I1/Id (mm/h)	I (mm/h)	Pd*/P0*	C	K	Q (m ³ /s)
773,10	2	72,76	58,75	16,71	19	2,40	45,60	10	3,68	1,29	0,05	1,71	62,64
773,10	5	96,14	77,63	16,71	19	2,40	45,60	10	4,87	1,70	0,11	1,71	191,90
773,10	10	113,60	91,73	16,71	19	2,40	45,60	10	5,75	2,01	0,15	1,71	315,10
773,10	25	136,83	110,48	16,71	19	2,40	45,60	10	6,93	2,42	0,20	1,71	509,86
773,10	50	154,92	125,09	16,71	19	2,40	45,60	10	7,84	2,74	0,24	1,71	683,16
773,10	100	175,38	141,61	16,71	19	2,40	45,60	10	8,88	3,11	0,28	1,71	899,24
773,10	200	195,92	158,20	16,71	19	2,40	45,60	10	9,92	3,47	0,31	1,71	1135,20
773,10	500	223,65	180,59	16,71	19	2,40	45,60	10	11,32	3,96	0,36	1,71	1480,21

2.4. CONCLUSIONES

El método racional modificado por Témez es un método muy útil para cuencas de pequeño tamaño con características homogéneas y con tiempos de concentración relativamente pequeños.

En el caso de la cuenca vertiente al azud de la carretera N-502 sobre el río Tiétar, aunque su superficie (773,1 Km²) entra dentro de los límites aplicables al modelo, la cuenca es bastante heterogénea, no solo en los usos de suelo, sino también en las pendientes medias, que varían enormemente desde las zonas montañosas de la Sierra de Gredos hasta la zona de Inundación del río Tiétar, haciendo variar los valores de algunas de las variables estudiadas como el Umbral de escorrentía P_0 .

Otra característica a tener en cuenta es el tiempo de concentración, $T_c = 16,71$ horas, tiempo que resulta muy elevado para esperar unos resultados óptimos en la aplicación del método racional a la cuenca objeto de estudio.

Tales observaciones conducen a calibrar los resultados obtenidos con los caudales máximos establecidos en la “Aplicación cartográfica CauMax: Mapas de caudales máximos de la cuenca del Tajo”, elaborado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX en 2008, para asegurar como adecuados los valores de caudales punta para periodos de retorno elevados ($T=200$, $T=500$), sobre los que se basará el diseño hidráulico de las obras.

La comparativa de resultados es la siguiente:

CAU MAX		M.R.M Témez	
m ³ /s		m ³ /s	
T = 2	218	T = 2	62,64
T = 5	375	T = 5	191,9
T = 10	487	T = 10	315,1
T = 25	656	T = 25	509,86
T = 50	592,3	T = 50	683,16
T = 100	955	T = 100	899,24
T = 500	1.355	T = 500	1.480



**Proyecto de Permeabilización Piscícola del Azud de Protección del
Viaducto de la Carretera N-502 sobre el Río Tiétar.
T.M. Arenas de San Pedro (Ávila)**



INGENIERÍA AMBIENTAL

Aunque los resultados para periodos de retorno bajo difieren, a medida que aumenta el período de retorno estudiado los resultados comienzan a ajustarse.

Se toman finalmente los caudales de la aplicación CauMax como los adecuados para los cálculos hidráulicos de la futura rampa.