

NOTA TÉCNICA

ESTIMACIÓN DE LEYES IDF EN LA ESPAÑA PENINSULAR MEDIANTE LA APLICACIÓN MAXIN

Leticia de Salas Regalado y Leticia Carrero Díez

Universidad Politécnica de Madrid (UPM), E.U.I.T. Forestal, Ciudad Universitaria s/n. 28040-MADRID (España). Correo electrónico: leticia.salas.regalado@upm.es

Resumen

MAXIN es una aplicación informática desarrollada a partir de un sistema de información geográfica, SIG, que permite calcular la intensidad máxima para cada duración y período de retorno en cualquier punto de la España peninsular marcando el punto de estudio en un mapa que se ofrece en la aplicación. MAXIN está basada en la utilización de una metodología más robusta, la regionalización, en las estaciones con pluviógrafo y de nueva metodología para extender los resultados obtenidos en las estaciones con pluviógrafo al resto del territorio. Esta aplicación, de libre difusión, está disponible en http://www.forestales.upm.es/unidad_enlaces.aspx.

Palabras clave: *Análisis de frecuencia, leyes IDF, Análisis regional*

ANTECEDENTES

La ley Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) actualmente utilizada en España, y recogida en la Instrucción 5.2-IC, se desarrolló a finales de los años setenta (TÉMEZ, 1978), modificándose ligeramente el mapa de isolíneas para la generalización a todo el territorio en 1987 (TÉMEZ, 1987). La metodología entonces propuesta supone el ajuste de cada una de las series de intensidades máximas anuales, Id, (series correspondientes a duraciones de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 180, 360, 720 minutos y 24 horas) a la función Gumbel, en las 21 estaciones con pluviógrafo disponibles en España.

Del párrafo anterior se deduce que la ley actual presenta una serie de limitaciones tanto por el número de datos y estaciones manejados como por la función elegida, pues en el área de

influencia mediterránea, la función Gumbel – con un coeficiente de asimetría fijo- subestima sistemáticamente.

Con estos antecedentes, de SALAS (2005) planteó en su Tesis Doctoral la necesidad de actualizar estas leyes, incorporando nuevas estaciones que ya disponen de un número adecuado de datos, y los nuevos registros recogidos en las estaciones ya utilizadas para desarrollar las leyes IDF en los años setenta, estaciones todas ellas del Instituto Nacional de Meteorología (INM).

El número de estaciones ha aumentado considerablemente, hasta 63 en el territorio peninsular, pero siguen siendo claramente insuficientes para caracterizar el territorio, máxime si, como ocurre en España, la variabilidad climática es tan importante, desde un clima semiárido en el sureste español, hasta atlántico en el norte. Con el fin de atenuar los problemas que plantea la ausencia de

datos y mejorar la robustez de las estimas, se propuso aplicar la técnica de regionalización. Básicamente esta técnica consiste en definir “regiones” con los datos procedentes de estaciones próximas que puedan considerarse “homogéneas”. Se considera que los datos de distintas estaciones son muestras que provienen de una misma población subyacente excepto el factor de localización, de manera que, eliminado de cada serie dicho factor, se pueden agrupar todas ellas en una muestra única para el ajuste. La intensidad máxima anual para una duración, d y un período de retorno, T , $I(d,T)$, se puede, así, obtener a partir de la siguiente expresión, expresión (1):

$$I(d,T)_{\text{estación}} = CA(T)_{\text{región}} * I_{d \text{ estación}} \quad (1)$$

Donde:

$CA(T)_{\text{región}}$, es el cuantil adimensional, para un período de retorno, T , obtenido en la región.

$I_{d \text{ estación}}$, es la media de las intensidades máximas anuales para una duración, d , obtenida en la estación.

El enfoque regional pretende resolver el problema de carencia de datos, “paliando la carencia en el tiempo con la abundancia en el espacio” (HOSKING Y WALLIS, 1997).

BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROCESO SEGUIDO EN LA MODELIZACIÓN ESTADÍSTICA

Regionalización

Al ser el número de estaciones insuficiente para aplicar la regionalización tal y como se plantea en el epígrafe anterior, se propuso su aplicación dentro de cada estación, agrupando en una región las series adimensionales correspondientes a distintas duraciones. Diversos estudios ponen de manifiesto diferencias significativas en cuanto al comportamiento de esta variable al considerar ventanas temporales menores o mayores de una hora (HERSHFIELD, 1961; BELL, 1969; FERRERI & FERRO, 1990; PORRAS & PORRAS, 2001; y en España, LLASAT, 1998).

La regionalización así planteada implicó una serie de pasos que brevemente se pueden sintetizar:

a) Definición de regiones “homogéneas” dentro de la misma estación utilizando la metodología propuesta por HOSKING & WALLIS (1997).

Esta metodología está basada en el análisis de los L-Momentos y establece tres filtros cada vez más exigentes en cuanto a control de la homogeneidad regional: Gráficamente, Test Medida de la Discordancia y Test de Heterogeneidad.

Se formaron dos regiones homogéneas en cada estación: “cortas duraciones” con las series correspondientes a duraciones ≤ 1 hora y la región “largas duraciones”, con las series de duraciones > 1 hora.

- b) Elección de una función de distribución. La muestra única y adimensional formada por el conjunto de las series correspondientes a distintas duraciones de la región homogénea, se ajustó a la función de distribución SQRT-ET máx porque es más conservadora que la tradicional ley de Gumbel (que presenta un coeficiente de asimetría fijo de 1,14), por tener buena capacidad descriptiva de la rama derecha de la distribución, y porque ha sido utilizada satisfactoriamente en España para la estimación de cuantiles de precipitaciones máximas diarias anuales (FERRER Y ARDILES, 1994).
- c) Estimación de los parámetros de la función en cada región. Se utilizaron los métodos de momentos y de máxima verosimilitud, y se adoptó en cada caso aquél que proporcionaba unas estimas lo más próximas a los valores observados, pero siempre del lado de la seguridad para los valores usuales de período de retorno que se manejan. Los criterios de decisión se basaron en el Test de Kolmogorov-Smirnov y el análisis gráfico.
- d) Validación. Se generaron 100 muestras sintéticas por el método de simulación de Montecarlo, y calculando una serie de parámetros se compararon con los valores observados.
- e) Finalmente se comprobó que este análisis “regional” proporcionaba estimas más robustas que el análisis “local”

Generalización

El siguiente paso consistió en extender los resultados obtenidos en las estaciones que disponen de pluviógrafo al resto del territorio peninsular

Para ello se estableció una relación entre $I(d,T)$ - obtenida tras el proceso de regionalización- y la $I(24,T)$ en la misma estación, dato dis-

ponible en todo el territorio peninsular a partir de las precipitaciones en 24 horas. Este cociente se puede expresar como la ecuación (2):

$$\left[\frac{I(d; T)}{I(24; T)} \right]_{PG} = \frac{CA^{PG}(T)_{cortas/largas} \cdot \bar{I}^{PG}_d}{CA^{PG}(T)_{Ferrer} \cdot \bar{I}^{PG}_{24}} \quad (2)$$

Donde:

PG hace referencia a una estación con pluviógrafo.

$CA^{PG}(T)_{cortas/largas}$ es el cuantil adimensional deducido en la región correspondiente (cortas o largas duraciones)

$CA^{PG}(T)_{Ferrer}$, es el cuantil adimensional obtenido tras el análisis regional de las precipitaciones máximas diarias, disponibles en "Máximas lluvias diarias en la España peninsular". El subíndice *Ferrer* hace referencia al autor principal de dicho trabajo.

PG_d , es la intensidad máxima media para la duración "d" obtenida en una estación con pluviógrafo

En las estaciones sin pluviógrafo, los dos términos del numerador no son conocidos, por lo que, en un intento de generalizar los resultados obtenidos en las estaciones con pluviógrafo, se analizaron dos funciones, una que relacionaría el cociente de cuantiles con el período de retorno, $h(T)$, y otra que relacionaría el cociente de intensidades medias con la duración, $g(d)$, ecuación 3.

$$\left[\frac{I(d; T)}{I(24; T)} \right]_{PG} = \frac{CA^{PG}(T)_{short/large} \cdot \bar{I}^{PG}_d}{CA^{PG}(T)_{Ferrer} \cdot \bar{I}^{PG}_{24}} \cong h(T) \cdot g(d) \quad (3)$$

Para la función $g(d)$ se propuso una función biparamétrica, ecuación 4

$$g(d) = \frac{\bar{I}_d}{\bar{I}_{24}} = K \frac{24^a - d^a}{24^a - 1} \quad (4)$$

Siendo K un parámetro con significación física e igual al cociente de las intensidades máximas medias en 1 hora y la correspondiente a 24 horas.

$\left(\frac{\bar{I}_1}{\bar{I}_{24}}\right)$ y "a" es el otro parámetro.

Para la función $h(T)$ se hizo un análisis previo del cociente de cuantiles y se comprobó que su comportamiento era diferente – creciente o decreciente con el período de retorno- según la estación considerada. Por lo tanto se definieron

dos zonas en cada región y se ajustó una función logarítmica, $h(T)$, en cada zona.

Finalmente el valor de $I(d,T)$ en cualquier punto podría estimarse a partir de la ecuación (5)

$$I(d,T)_{punto} = I(24,T)_{punto} \cdot h(T) \cdot g(d) = \frac{P(24,T)_{punto}}{24} \cdot h(T) \cdot g(d) \quad (5)$$

RESULTADOS

La aplicación MAXIN permite estimar $I(d,T)$ en cada punto de la España peninsular a partir de la expresión 5.

Para cada uno de los parámetros implicados en la estima de la $I(d,T)$ se generó una capa digital bajo el mismo sistema de proyección, UTM referidas al huso 30 Datum ED-50 y elipsoide Hayford, adoptando una resolución espacial de 1.000 m x 1.000 m.

Las capas de información utilizadas fueron:

PMDA Precipitación máxima diaria anual.
Mapa de isolíneas obtenido mediante método Kriging, resolución 1.000 m, y malla de 2.500 m obtenido en "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular".

Cv: Coeficiente de variación. El mapa de isolíneas de este parámetro fue obtenido mediante interpolación espacial por el método del inverso del cuadrado de la distancia, con las 12 estaciones más próximas, y una resolución de 1.000 m. Los datos utilizados para la interpolación fueron las 1.545 estaciones "básicas" (obtenido en "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular"). El coeficiente de variación está vinculado al valor del cuantil adimensional para cada período de retorno, dato necesario para determinar la precipitación máxima diaria de dicho período de retorno.

$K = \frac{\bar{I}_1}{\bar{I}_{24}}$: parámetro de la función $g(d)$, obtenido en 63 estaciones con pluviógrafo distribuidas en toda la España peninsular, (Tabla 1). Para la generalización de los resultados se trazó un mapa de isolíneas de K, utilizando el método de interpolación SPLINE, con 6 estaciones de referencia y una resolución de 1.000 m.

En la (Figura 1) se puede observar el mapa de isolíneas resultante.

Estación	Período de retorno (años)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
Madrid(3195)	0,039	0,498	0,833	0,377	0,993	0,974	0,583	0,503
Soria(2030)	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464
Murcia(7228)	-0,378	1,259	1,525	2,410	2,365	2,184	2,523	3,245
Vigo(1495)	-0,081	0,965	2,713	3,158	3,955	4,221	4,831	5,369
Molina(3013)	-0,446	-0,131	0,462	0,931	1,057	0,685	1,156	1,000
Huelva(4605)	1,930	-0,484	-0,705	-1,406	-1,973	-2,507	-2,490	-3,155
Caldas(0222)	0,671	-1,096	-1,258	-2,084	-2,544	-2,531	-2,848	-3,046
Santander(1110)	-0,602	0,887	2,462	2,558	2,872	3,341	3,846	4,450
Salamanca(2867)	-0,926	-0,488	-0,846	-1,765	-1,876	-1,760	-2,370	-2,364
Algeciras(6006)	-1,094	1,239	1,164	2,111	2,376	2,623	3,308	3,404
León(2661)	0,438	2,340	2,941	3,893	4,201	5,063	4,612	5,245
Castellon(8550A)	0,864	-0,094	0,704	0,155	0,286	-0,014	-0,179	-0,194
Lérida(9771)	0,526	0,741	1,048	1,746	1,383	1,278	1,707	1,799
Media	0,108	0,469	0,885	0,965	1,043	1,078	1,165	1,286
Cv	0,13	0,51	0,67	0,51	0,48	0,45	0,44	0,43

Tabla 1. Valores medios de los residuos “S(%)” para las duraciones más usuales, $30 < d$ (minutos) < 720 , en cada estación

a: parámetro de la función $g(d)$, obtenido en 63 estaciones con pluviógrafo distribuidas en toda la España peninsular. El trazado del mapa de isolíneas (Figura 2) se realizó mediante el método de interpolación del inverso del cuadrado de la distancia con 12 estaciones de referencia y resolución 1.000m.

Zona 1-2, Zonas en las que se dividió cada región – cortas o largas duraciones- para mejorar los ajustes de la función $h(T)$. En las Figuras 3 y 4 se muestran las zonas en cada una de las regiones

En la región “cortas duraciones” (≤ 1 hora), la función $h(T)$ adopta las siguientes expresiones para cada zona:

Zona 1

$$hC-1(T) = -0,0004*(\ln(T))^2 + 0,0092*\ln(T) + 1,0044$$

Zona 2

$$hC-2(T) = -0,007*(\ln(T))^2 + 0,1066*\ln(T) + 0,9086$$

En la región “largas duraciones” (> 1 hora), la función $h(T)$ presenta las siguientes expresiones:

Zona 1

$$hL-1(T) = 0,0012*(\ln(T))^2 - 0,0136*\ln(T) + 1,0218$$

Zona 2

$$hL-2(T) = -0,0037*(\ln(T))^2 + 0,055*\ln(T) + 0,9536$$

Finalmente, con el objetivo de dar la mayor difusión posible a esta metodología y resultados, se transformó las capas de información geográfica estáticas a una aplicación

MAXIN v.2 presenta, por un lado una guía de usuario en donde se describe la metodología desarrollada para realizar esta aplicación, y por otro lado, se aporta un mapa interactivo en el que localizando con el cursor el punto en estudio, se muestran los valores de los distintos parámetros (Figura 5).

Para facilitar la ubicación de la zona objeto de estudio, la España peninsular se muestra por provincias y dentro de éstas por municipios. De esta forma el área objetivo se localiza bien por simple acercamiento visual, bien por búsqueda en el listado de municipios.

Los parámetros mostrados en el mapa de la pantalla deberán introducirse en las celdas correspondientes en la hoja de cálculo preparada en la opción “Cálculo de valores de $I(d,T)$ y, automáticamente se actualiza una tabla que calcula la intensidad máxima para distintas duraciones y períodos de retorno en dicho punto.

En la hoja de cálculo aparece también una celda bajo el título “F” factor de mayoración que permite pasar de precipitaciones máximas diarias a máximas en 24 horas, y será el usuario el que elija el factor. A falta de información, se puede aceptar un valor orientativo de 1,13 propuesto por la Organización Mundial de Meteorología.

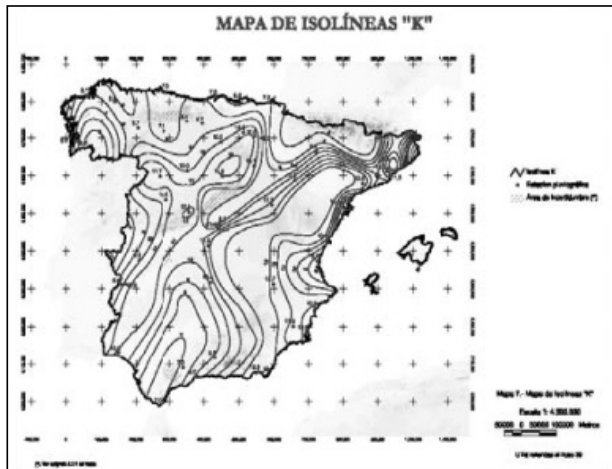


Figura 1. Mapa de isolinias de K en la España peninsular

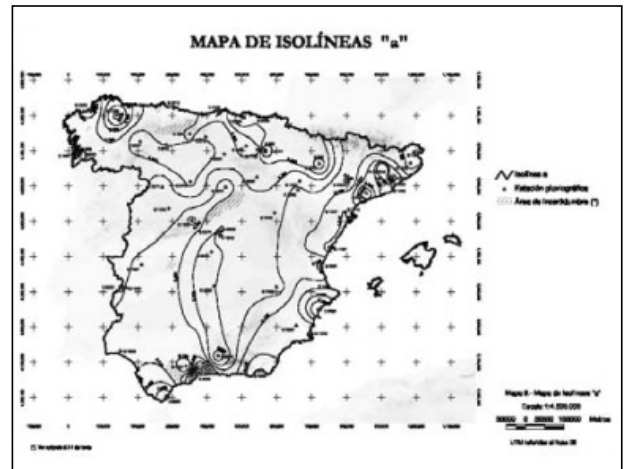


Figura 2. Mapa de isolinias de "a" en la España peninsular



Figura 3. Mapa de zonas 1-2 en la región "cortas duraciones". Figura 4.- Mapa de zonas 1-2 en la región "largas duraciones" en la España peninsular



Figura 4. Mapa de zonas 1-2 en la región "largas duraciones" en la España peninsular



Figura 5. Pantallas interactivas de la aplicación MAXIN

DISCUSIÓN

En este epígrafe se analizan las estimas obtenidas a partir de esta metodología-regionalización- en estaciones que disponen de pluviógrafo y las estimas obtenidas a partir del ajuste de cada serie de una duración determinada en dichas estaciones. Siendo los datos de partida los mismos, y el método de ajuste el mismo, las diferencias obtenidas se deben a la propia metodología.

Para centrar el análisis en las situaciones que se manejan más frecuentemente, se calculó para las duraciones más usuales $-30 < d$ (minutos) < 720 -. la diferencia entre el valor obtenido por esta metodología (R) y el valor puntual (INM), expresándolo en porcentaje, referido a esta metodología. (S%);

$$S\% = \frac{R - INM}{R} \times 100$$

. Los valores medios de S(%) para cada período de retorno se recogen en la tabla 1.

Si S(%) es positivo indica que la metodología de regionalización aplicada obtiene estimas más conservadoras que la estimación a partir del ajuste de cada serie.

NO obstante, quizás el aspecto más interesante a analizar es la robustez del método propuesto, o dicho de otra manera, la influencia que tiene la presencia o ausencia de un dato excepcional en la estima. Cuando se hace un análisis de cada serie correspondiente a cada duración en cada estación, es posible que no se haya producido un valor extraordinario en la serie de registros recogida, máxime si la serie es corta, pero que sin embargo tiene gran influencia en las estimas sobre todo

para altos períodos de retorno. En el método de regionalización, se utiliza una función de distribución para un conjunto de series adimensionales (series correspondientes a cortas duraciones o largas duraciones), y al ajustar con un mayor número de datos, la probabilidad de que se incluyan valores excepcionales es mayor. Además, el hecho de que un valor se incluya o no, influye en menor medida en la estima de los cuantiles adimensionales ya que habrá otros valores altos, –procedentes de otra serie–, pero que constituyen una serie única para el ajuste ya que forman una región homogénea- que limitarán el efecto de la eliminación o no eliminación de un único dato.

Para el análisis se ha elegido una estación en la que el coeficiente de variación es alto, 0,44, con objeto de que el efecto sea más visible. Se ha hecho el ajuste con todos los datos, y eliminando el máximo de la serie, considerando el análisis regional(reg) y el de la serie con el dato extraordinario (local) –que eleva el coeficiente de variación–. En la tabla 2 y en la figura 6 se aprecia que el efecto de la presencia/ausencia de un dato, es mayor en el análisis de cada serie (local).

CONCLUSIONES

La aplicación MAXIN permite estimar a escala nacional en el territorio peninsular español, la intensidad máxima anual para distintas duraciones y períodos de retorno mediante nueva tecnología que aporta las siguientes modificaciones respecto a anteriores trabajos:

Actualización de la información pluviográfica hasta 2000 (aunque no se han planteado nue-

T	Reg (todos)	Reg (sin)	Local (todos)	Local (sin)
2	0,90	0,90	0,90	0,93
5	1,31	1,31	1,30	1,31
10	1,62	1,63	1,60	1,60
25	2,06	2,06	2,02	2,00
50	2,39	2,41	2,35	2,31
100	2,78	2,76	2,71	2,67
200	3,17	3,17	3,10	3,02
500	3,72	3,72	3,62	3,53

Tabla 2. Cuantriles adimensionales obtenidos tras análisis local y regional con todos los datos, y eliminando el mayor en la estación de Valls (0034)

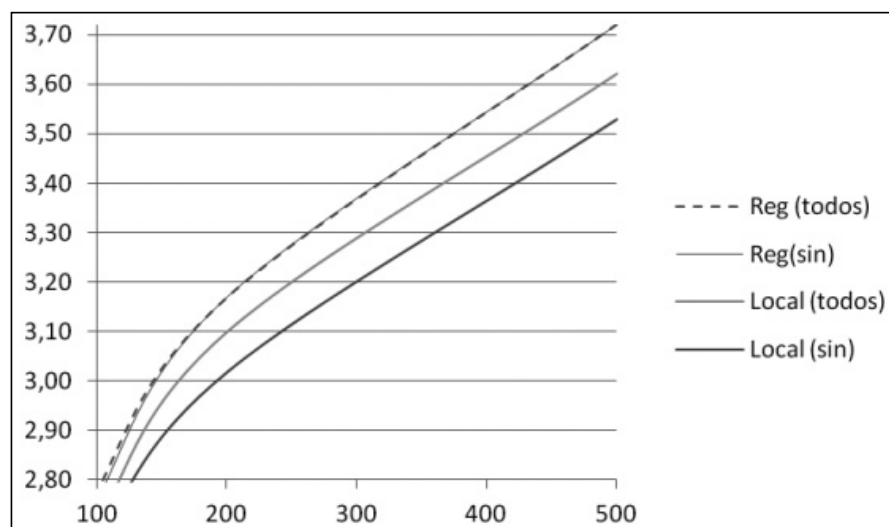


Figura 6.- Cuantiles adimensionales obtenidos tras análisis regional y local obtenidos con todos los datos, y eliminando el mayor en la estación de Valls (0034) para altos períodos de retorno

vas digitalizaciones de la información disponible desde entonces).

Análisis “regional” de la información

Utilización de una función de distribución, SQRT-ET más desarrollada específicamente para el análisis de precipitaciones máximas.

Aplicación de una nueva metodología para la generalización de resultados obtenidos en estaciones pluviográficas al resto del territorio peninsular.

Utilización de un SIG que ha permitido el desarrollo de una aplicación sencilla y fácil de utilizar para el usuario.

BIBLIOGRAFÍA.

- BELL, F.C.; 1969. Generalized rainfall-duration frequency relationship. *Journal Hydraulic Div. ASCE* 95(1): 311-327.
- DE SALAS REGALADO, L.; 2005. *Regionalización de leyes IDF para el uso de modelos hidrometeorológicos de estimación de caudales*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- FERRER, F.J. Y ARDILES, L.; 1994. Análisis estadístico de las series anuales de máximas lluvias diarias en España. *Ingeniería Civil*: 87-100.
- FERRERI, G.B. & FERRO, V.; 1990. Short Duration Rainfalls in Sicily. *Journal of Hydraulic Engineering* 116 (3): 430-435.
- HERSHFIELD, D.M.; 1961. Rainfall frequency Atlas of the United States for durations from 30 minutes to 24 hours and return periods from 1 to 100 years. *Tech. Paper 40*. U.S. Weather Bureau. Washington, D.C.
- HOSKING, J.R.M. & WALLIS, J.R.; 1997. *Regional Frequency Analysis*. Cambridge University Press.
- LLASAT, M.C.; 1998. Una clasificación de los episodios pluviométricos para su utilización en hidrología. Aplicación a la serie de intensidad de lluvia en Barcelona. *Ingeniería Civil* 112: 35-44.
- PORRAS, P.J. & PORRAS, J.; 2001. New Perspective on Rainfall Frequency Curves. *Journal of Hydrologic Engineering*: 82-85.
- TÉMEZ Y MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE Y MEDIO AMBIENTE. DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS; 1978. *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Secretaría de Publicaciones. Madrid.
- TÉMEZ Y MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE Y MEDIO AMBIENTE. DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS; 1987. *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Alanmer. Madrid.