

NUEVA METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA VARIABLE INTENSIDAD MÁXIMA ANUAL DE PRECIPITACIÓN

LETICIA DE SALAS REGALADO¹ Y JOSÉ ANASTASIO FERNÁNDEZ YUSTE¹

RESUMEN

La estimación de caudales resulta fundamental en el diseño de infraestructuras, obras hidráulicas y en la planificación de usos de suelo. Con frecuencia no se encuentran disponibles estaciones de aforo en la zona de estudio, y los modelos hidrometeorológicos se convierten en una herramienta imprescindible para la estimación de caudales. Estos modelos requieren a su vez el dato de intensidad máxima anual para una duración y período de retorno o una ley IDF.

Las curvas IDF actualmente utilizadas en España fueron propuestas en los años setenta por lo que parece adecuado plantear una actualización tanto de los registros y de las nuevas estaciones disponibles como de la metodología, incorporando nuevas técnicas al estudio de esta variable.

En este trabajo se presentan los resultados de esta actualización, en el que se ha utilizado el método de regionalización del tipo índice de avenida para el análisis de frecuencias de intensidades máximas. Este método proporciona estimas más robustas que los métodos tradicionales, siendo esta propiedad especialmente importante en el caso de valores extremos, en los que las series son cortas, y cuando se requieran estimaciones de bajas frecuencias (altos períodos de retorno).

Para el ajuste se ha utilizado la función SQRT-ET máx frente a la función de distribución Gumbel actualmente utilizada – pues presentando esta última un coeficiente de asimetría fijo de 1,14, subestima los cuantiles de manera sistemática al menos en el área de influencia mediterránea.

Los autores desarrollan una nueva metodología para extender los resultados obtenidos en el análisis regional al resto del territorio español, proponiendo dos funciones, una que relaciona la intensidad con el período de retorno y otra que relaciona esta variable con la duración, de manera que, finalmente, se puede obtener la intensidad máxima para una duración y período de retorno en cualquier punto de la España peninsular.

Dado el carácter práctico de la investigación, los resultados se presentan en soporte informático, y se ha diseñado una aplicación gis, MAXIN, de libre difusión, que está disponible en: <http://www.forestales.upm.es/hidraulica/paginas/programas/programas.htm>

Palabras clave: Leyes IDF, regionalización, intensidades máximas de precipitación.

¹ Unidad de Hidráulica e Hidrología - Departamento de Ingeniería Forestal. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal - Universidad Politécnica de Madrid Ciudad Universitaria, 28040 MADRID. e-mail: leticia.salas.regalado@pm.es

Recibido: 26/06/2006.

Aceptado: 10/07/2006.

SUMMARY

Flood predictions are frequently the basis for engineering works, structures design, and land use planning. Quite often there are no gauged stations and hidrometeorological models become an essential tool. These models require annual maximum rainfall intensity of given duration and a return period or an IDF relationship.

IDF curves currently used in Spain were described in the seventies whereas it seems adequate to up-date series and new recording rain gauges, and its methodology, bringing new techniques into the study of annual maximum intensity.

This paper presents the results of up-dating data and regionalization type «index-flood» procedure was applied in gauged stations. This method provides more robust estimates than traditional methods, being this property especially valuable in the case of extreme values, when series are short and required estimates have low frequency (high return periods).

SQRT-ET max distribution has been chosen as Gumbel distribution- actually used -, with a 1,14 skewness coefficient, systematically underestimates quantiles in the Mediterranean area.

Authors develop a new methodology which allows incorporating regional analysis, used in gauged stations, into ungauged sites in Spain, proposing two functions, one relating rainfall intensity to return period, and another one relating this variable to duration, so that, finally, annual maximum rainfall intensity of given duration and different return periods can be obtained everywhere in the Spanish peninsular area.

According to practical character of this study, a GIS (geographical information system) application was developed – MAXIN - and it is available in <http://www.forestales.upm.es/hidraulica/paginas/programas/programas.htm>

Key words: IDF curves, regionalization, annual maximum rainfall intensity.

INTRODUCCIÓN

La ley Intensidad-Duración-Frecuencia actualmente utilizada en España se remonta a finales de los años setenta, TÉMEZ (MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE Y MEDIO AMBIENTE, 1978), aunque el mapa de isolíneas fue ligeramente modificado en 1987 (MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE Y MEDIO AMBIENTE, 1987). La metodología entonces propuesta supone el ajuste de cada una de las series de intensidad máxima anual, $I_{d,T}$ (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.

En este trabajo se recogen los resultados de una propuesta de actualización (DE SALAS,

2005), incorporando los nuevos registros disponibles y las nuevas estaciones con pluviógrafo, la técnica de la regionalización al estudio de esta variable y la aplicación de la función SQRT-ET máx.

El método de regionalización se basa en el uso simultáneo de datos procedentes de estaciones próximas que puedan considerarse «homogéneas», y 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 a una función de distribución. La intensidad máxima anual para una duración (d) y un período de retorno (T), $I(d,T)$, se puede obtener a partir de la siguiente expresión:

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

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 & WALLIS, 1997).

Diversos estudios avalan la mejora de la robustez de las estimas al aplicar esta metodología en el estudio de precipitaciones y caudales, (WALLIS *et al.*, 1974; YUN & CHEN, 1998; HOSKING & WALLIS, 1997; CHIANG ET AL., 2002; PARIDA *et al.*, 1998; SAÉNZ DE ORMIJANA *et al.*, 1999; FERRER & MATEOS, 1999).

MATERIAL Y MÉTODOS

Datos

Los datos fueron suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología, INM, (2000), y provienen de la última digitalización de las bandas de pluviógrafo del conjunto de los 63 observatorios del INM en el territorio peninsular español, (Fig. 1). En cada estación se recogen las series de intensidades máximas anuales correspondientes a las mismas duraciones tradicionalmente utilizadas.

Métodos

El número de estaciones disponible resulta claramente insuficiente para formar regiones homogéneas de cierta entidad, máxime si, como sucede en España, la variabilidad climática es muy importante. Se propone formar regiones dentro de cada estación, agrupando las series de intensidades máximas anuales para distintas duraciones.



Figura 1. Situación de las estaciones con pluviógrafo disponibles en la España peninsular.

Figure 1. Available pluviograph stations in the Spanish peninsular area.

Diversos estudios ponen de manifiesto diferencias significativas en cuanto al comportamiento de esta variable al considerar ventanas temporales menores/mayores de una hora (HERSHFIELD, 1961; BELL, 1969; FERRERI & FERRO, 1990; PORRAS & PORRAS, 2001; y en España, LLASAT, 1998).

La regionalización, así planteada, puede suponer una solución ante la escasez de información espacial de esta variable en España y una ganancia de robustez en las estimas.

La metodología aplicada puede sintetizarse en las siguientes etapas:

a) Formación de regiones homogéneas

Se aplicará la metodología propuesta por HOSKING & WALLIS (1997) –basada en el análisis de los L-Momentos– que 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.*

b) Elección de la función de distribución

La muestra única, adimensional formada por el conjunto de las series correspondientes a distintas duraciones de la región homogénea,

se ajustará a la función de distribución SQRT-ET máx que presenta las siguientes ventajas, (FERRER Y ARDILES, 1994):

- Es más conservadora que la tradicional ley de Gumbel.
- Tiene buena capacidad descriptiva de la rama derecha de la distribución.
- Ha sido utilizada satisfactoriamente en España para la estimación de cuantiles de precipitaciones máximas diarias anuales.

c) Estimación de parámetros en cada región

Para la estimación de parámetros se utilizarán los métodos de momentos y de máxima verosimilitud, y se elegirá en cada caso aquel que proporcione 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 estarán basados en el Test de Kolmogorov-Smirnov y el análisis gráfico.

d) Validación

Se generarán 100 muestras sintéticas con la función de distribución elegida por el método de simulación de Montecarlo. Se calcularon la media, el coeficiente de variación (Cv) y el coeficiente de asimetría (Ca), y se compararán con los valores observados.

RESULTADOS Y VALIDACIÓN

- Se establecieron dos regiones 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.
- Con los criterios anteriormente mencionados se eligió en 86 casos el método de máxima verosimilitud y en 40 el método de momentos.
- Para proceder a la validación se seleccionaron 18 regiones - que caracterizan y reflejan

la variabilidad observada del Cv en todas las regiones-, y en cada una se aplicó el procedimiento descrito en material y métodos. Al estar los valores observados dentro de la nube de puntos generada con la simulación, se puede aceptar el adecuado comportamiento de la función de distribución ajustada para reproducir las propiedades estadísticas del modelo. La Figura 2 recoge la representación gráfica de Cv-Ca en la región «largas duraciones» de Sabadell (0225).

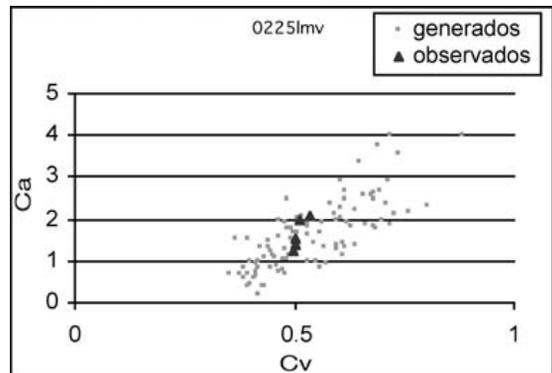


Figura 2. Representación Cv -Ca de muestras observadas y generadas en Sabadell (0225).

Figure 2. Cv-Ca in observed and generated samples in Sabadell (0225).

- En cada estación con pluviógrafo, se puede obtener I(d,T), a partir de la expresión:

$$I(d, T)_{estación} = CA(T)_{cortas/l arg as.estación} * \bar{I}_{d estación} \quad (2)$$

DISCUSIÓN

Se compararon las estimas obtenidas en un análisis «local» y en el análisis «regional» propuesto en este trabajo; no observándose diferencias significativas. Sin embargo, la ventaja fundamental de la técnica de regionalización es la mejora de la robustez de las estimas. En la Figura 3 se comparan los cuantiles adimensionales deducidos por ambas metodologías –análisis local y regional– utilizando todos los datos y los que se obtienen al eliminar el año extremo de la serie en Figueras (0429). Se puede observar como disminuyen los cuanti-

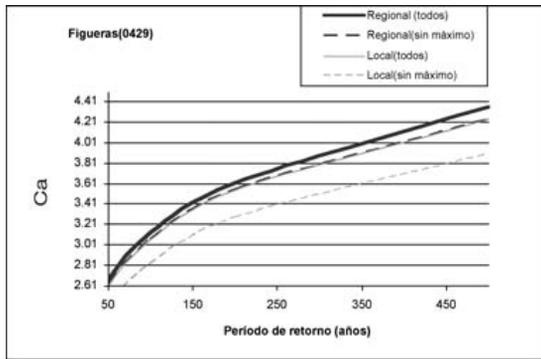


Figura 3. Cuantiles adimensionales obtenidos en Figueras (0429) en un análisis local y regional con todos los datos y eliminando el año extremo.

Figure 3. Regional and local dimensionless quantiles obtained in Figueras (0429) with every data and when eliminating the highest one.

les adimensionales al eliminar el año extremo, siendo este efecto más importante a medida que aumenta el período de retorno, y afectando en mayor medida a los cuantiles adimensionales deducidos en el análisis local.

GENERALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN ESTACIONES CON PLUVIÓGRAFOS AL RESTO DEL TERRITORIO

En estaciones con pluviógrafo se define el cociente que relaciona las intensidades máximas para cada duración y la correspondiente a 24 horas para el mismo período de retorno:

$$\left[\frac{I(d;T)}{I(24;T)} \right]_{PG} = \frac{CA^{PG}(T)_{cortas/largas} \cdot \overline{I^{PG}_d}}{CA^{PG}(T)_{cortas/largas} \cdot \overline{I^{PG}_{24}}} \quad (3)$$

Donde, PG hace referencia a una estación con pluviógrafo.

La intensidad máxima en 24 horas está relacionada con la precipitación máxima diaria, por lo que resulta más adecuado definirla a partir de la regionalización de las precipitaciones máximas diarias, al ser la red de estaciones con

pluviómetro más abundante, y las series de registros más largas.

$$\left[\frac{I(d;T)}{I(24;T)} \right]_{PG} \cong \frac{CA^{PG}(T)_{cortas/largas} \cdot \overline{I^{PG}_d}}{CA^{PG}(T)_{FERRER} \cdot \overline{I^{PG}_{24}}} \quad (4)$$

Donde,

$CA^{PG}(T)_{FERRER}$ es el cuantil adimensional en la estación con pluviógrafo, para el período de retorno T (años), deducido tras aplicar el proceso de regionalización a la variable precipitación máxima diaria anual en España, y disponible en todo el territorio peninsular (MINISTERIO DE FOMENTO, 1999). El subíndice *FERRER* hace referencia al autor de dicho trabajo.

La expresión (4) no es generalizable a cualquier punto del territorio peninsular puesto que los dos factores del numerador sólo están disponibles para estaciones con pluviógrafo. En este trabajo se estudia una función $h(T)$ –que relacione los cuantiles adimensionales para cada período de retorno T– y una función $g(d)$ –que relacione las intensidades máximas medias para cada duración– en las estaciones con pluviógrafo y, admitiendo que las funciones $h(T)$ y $g(d)$ recogen el comportamiento de esos cocientes en todo el territorio peninsular, utilizarlas para obtener $I(d,T)$ en un punto cualquiera del territorio peninsular español a partir de la expresión:

$$\left[\frac{I(d;T)}{I(24;T)} \right]_{punto} \cong h(T) * g(d) \quad (5)$$

Esta expresión es acorde con la bibliografía consultada (KOUTSOYIANNIS, D. *et al.*, 1998) respecto a la ventaja que supone separar en dos funciones independientes la vinculación de la intensidad con el período de retorno y con la duración.

A) FUNCIÓN «h(T)»

Se analizó si los cuantiles adimensionales, $CA^{PG}(T)_{cortas/largas}$ están sistemáticamente relacionados con los $CA^{PG}(T)_{FERRER}$ en las estacio-

nes con pluviógrafo, buscando ecuaciones que describan adecuadamente esa relación,

$$\frac{CA^{PG}(T)_{cortas/largas}}{CA^{PG}(T)_{FERRER}} = h(T) \quad (6)$$

B) FUNCIÓN g(d)

Para elegir el modelo más adecuado se analizaron dos funciones:

Modelo 1. Función de tres parámetros:

Donde:

$$g(d) = \left(\frac{b}{d+a}\right)^m$$

a, b, y m son parámetros
d, duración

Modelo 2. Función potencial de dos parámetros, generalización de la expresión actualmente utilizada en España,

Donde:

$$g(d) = (b)^{(24^a - d^a)}$$

a, y b son parámetros
d, duración

RESULTADOS DE LA GENERALIZACIÓN

A) FUNCIÓN h(T)

Al representar en coordenadas semilogarítmicas Ln(T) - en abscisas- y h(T) - en ordenadas - se pudo comprobar que, tanto para cortas como para largas duraciones, se podían establecer dos zonas donde la tendencia de h(T) era distinta- negativa para un conjunto de estaciones y positiva o nula para el resto.

Con este criterio se establecieron las correspondientes zonas, y se ajustaron funciones de tipo logarítmico.

Región «cortas duraciones»

Zona 1C

$$h_{C-1}(T) = -0,0004*(Ln(T))^2 + 0,0092*Ln(T) + 1,0044; \\ R^2 = 0,991$$

Zona 2C

$$h_{C-2}(T) = -0,007*(Ln(T))^2 + 0,1066*Ln(T) + 0,9086; \\ R^2 = 0,998$$

Región «largas duraciones»

Zona 1L

$$h_{L-1}(T) = 0,0012*(Ln(T))^2 - 0,0136*Ln(T) + 1,0218 \\ R^2 = 0,9907$$

Zona 2L

$$h_{L-2}(T) = -0,0037*(Ln(T))^2 + 0,055*Ln(T) + 0,9536 \\ R^2 = 0,9588$$

Donde,

T, es el período de retorno en años.

Generalización de la función h(T) a todo el territorio

En las Figuras 4 y 5 se reflejan las zonas 1 y 2 de cada región, y se adoptará una expresión u otra en función de la situación del punto en estudio.

B) FUNCIÓN g(d)

– Se elige el modelo 2 similar al actual que presenta coeficientes de correlación muy altos.

- Respecto al modelo actualmente en uso, expresión (8), el modelo 2, expresión (7), también depende de un parámetro «K», que representa el porcentaje de intensidad máxima media en una hora respecto a la intensidad



Figura 4. Mapa de zonas en la región «cortas duraciones».
Figure 4. Zone map in «short durations» region.



Figura 5. Mapa de zonas en la región «largas duraciones».
Figure 5. Zone map in «large durations» region.

máxima media diaria, \bar{I}_1/\bar{I}_{24} . Este parámetro, con significación física, facilita el diseño de un mapa de iso-líneas, pero el modelo elegido incorpora un nuevo parámetro «a» que recoge la variabilidad observada en las estaciones con pluviógrafo (en la expresión actualmente en uso adopta un valor fijo e igual a 0,1)

$$g(d) = \frac{\bar{I}_d}{\bar{I}_{24}} = K \frac{24^a - d^a}{24^a - 1} \quad (7)$$

$$g(d) = \frac{I(d,T)}{I(24,T)} = K \frac{28^{0,1} - d^{0,1}}{28^{0,1} - 1} \quad (8)$$

Donde, d, es la duración en horas.

- Además se extrae del modelo el factor de mayoración que permite transformar la máxima precipitación diaria en máxima precipitación en 24 horas.

Generalización de la función g(d) a todo el territorio

Se plantean tres soluciones que el usuario deberá adoptar en función de las características de la zona en estudio:

- Si el punto en estudio se encuentra muy próximo a una estación con pluviógrafo, y las características de su situación, orienta-

ción... permiten deducir que las condiciones climáticas no varían entre ambas, se podrán asumir los valores puntuales de «K» y «a» deducidos en la estación con pluviógrafo.

- Si la estación se encuentra próxima a varias estaciones con pluviógrafo se podrán obtener los parámetros «K» y «a» necesarios para calcular g(d) ponderando en función de la distancia a cada una de las estaciones.
- La tercera opción consistirá en utilizar los mapas de isolíneas de los parámetros «K» y «a» que se han trazado a partir de los valores puntuales de las estaciones con pluviógrafo, (Figs. 6 y 7).

Discusión de la generalización

En este epígrafe se comparan las I(d,T) deducidas a partir de la regionalización en las estaciones con pluviógrafo, expresión(2), y las I(d,T) obtenidas a partir de las funciones h(T) y g(d), expresión (5).

Los resultados (DE SALAS, 2005) permiten comprobar que, en conjunto, las diferencias medias en porcentaje (entendidas como diferencia entre el valor real de la regionalización y el obtenido a partir del producto de las fun-



Figura 6. Mapa de iso-a en la España peninsular.

Figure 6. Iso-a map in the Spanish peninsular area.

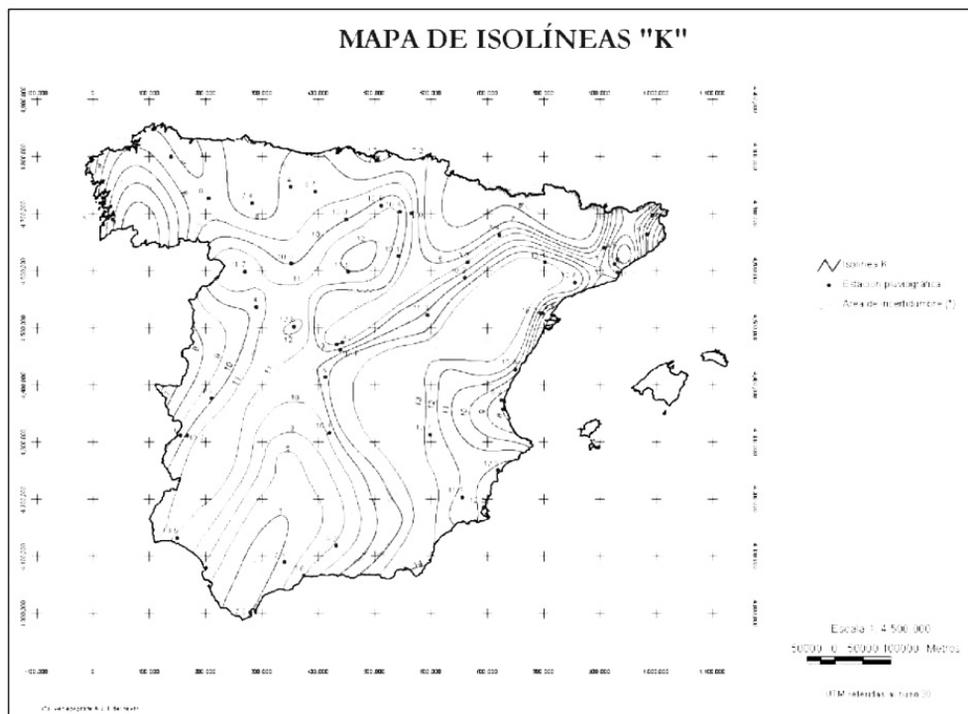


Figura 7. Mapa de iso-K en la España peninsular.

Figure 7. Iso-K map in the Spanish peninsular area.

ciones $h(T)$ y $g(d)$, respecto del valor real) no muestran una tendencia y son muy pequeñas, presentando una horquilla de valores más frecuente entre 0% y +10%, con un máximo de un -29,9%, por exceso, respecto al valor real, en la región «largas duraciones» de la estación de Murcia (Alcantarilla), 7228, y para largos períodos de retorno, y de un 19,3%, por defecto, para altos períodos de retorno en la región «largas duraciones» de la estación de Badajoz-Talavera (4452).

CONCLUSIONES

– Se han obtenido dos funciones: una dependiente del período de retorno, $h(T)$, y otra de la duración, $g(d)$, que permiten estimar en cualquier punto la intensidad máxima anual para cualquier duración y período de retorno mediante la expresión:

$$I(d,T)_{\text{punto}} = I(24,T)_{\text{punto}} * h(T)_{\text{punto}} * g(d)_{\text{punto}}, \quad (10)$$

Donde,

$I(24,T)_{\text{punto}}$, es la PMDA(T)/24,

Siendo

PMDA(T), la precipitación máxima diaria anual, que puede estimarse con la metodología propuesta en la citada publicación (MINISTERIO DE FOMENTO, 1999)

– Los resultados de la discusión permiten deducir que las diferencias entre aplicar la regionalización o utilizar las funciones $h(T)$ y $g(d)$ no difieren, situándose en este último caso, las estimas de $I(d,T)$, en general, del lado de la seguridad para los períodos de retorno más usuales.

– En la generalización de estos resultados se conseguirán unas mejoras sustanciales respecto a la metodología que se viene utilizando debido a dos motivos:

– Incorpora la robustez de la metodología de la regionalización a partir de la función $h(T)$.

– Mejora de la función $g(d)$ tanto por el mayor número de estaciones - y mayor número de registros utilizados para el trazado de mapas de isolíneas como por la incorporación de un parámetro adicional, «a», que dota de mayor flexibilidad y recoge la variabilidad espacial observada.

– Para facilitar al usuario la estimación de la Intensidad máxima para una duración y período de retorno en cualquier punto de la España peninsular, los resultados se presentan en soporte informático, diseñándose una aplicación gis, MAXIN, de libre difusión, que está disponible en: <http://www.forestales.upm.es/hidraulica/paginas/programas/programas.htm>

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELL, F. C. (1969): Generalized rainfall-duration frequency relationship. Journal Hydraulic Div. ASCE 95(1), pp 311-327.
- CHIANG, S-M; TSAY, T-K.; YS NIX (2002): Hydrologic Regionalization of Watersheds II: Methodology Development. Journal of Water Resources Planning and Management. January/February 2002/3
- 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.
- FERRER, F. J.; ARDILES, L. (1994): Análisis estadístico de las series anuales de máximas lluvias diarias en España. Ingeniería Civil/95, pp 87-100.
- FERRER, F. J.; MATEOS, C. (1999): Análisis de máximas lluvias diarias. Un nuevo método regional de estimación de parámetros de la función de distribución SQRT-ET máx. Ingeniería Civil 115/1999, pp 109-118.

- FERRERI, G.B.; FERRO, V. (1990): Short Duration Rainfalls in Sicily. *Journal of Hydraulic Engineering* 116, 3, pp 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. 224 pp.
- KOUTSOYIANNIS, D.; KOZONIS, D.; MANETAS, A. (1998): A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. *Journal of Hydrology* 206, pp118-135.
- 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, pp 35-44.
- MINISTERIO DE FOMENTO. DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS (1999): Máximas lluvias diarias en la España Peninsular. Serie monografías. Centro de Publicaciones, pp 28, 2 h., 25 h pleg de map.
- 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, 123 pp.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE Y MEDIO AMBIENTE. Dirección General de Carreteras (1987): Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Alanmer, Madrid, 123 pp.
- PARIDA, B.; KACHROO, P. R. K.; SHRESTHA (1998): Regional Flood Analysis of Mahi-Sabarmati Basin (Subzone 3-1) using Index Flood Procedure with L-Moments. *Water Resources Management* 12 pp 1-12.
- PORRAS, P. J.; PORRAS, J. (2001): New Perspective on Rainfall Frequency Curves. *Journal of Hydrologic Engineering*, January / February, pp82-85.
- SAENZ DE ORMIJANA, F.; HIDALGO CASTRO, F. J.; SANTA PÉREZ, A. (1991): Estimación de la precipitaciones máximas mediante el método regional del índice de avenida. *Revista de Obras Públicas*, Feb, pp 9-22.
- WALLIS, J. R.; MATALAS, N. C.; SLACK, J. R. (1974): Just a moment; *Water Resources Research*, 10, 211-9 in Hosking J. R. M. y J. R. Wallis (1997) *Regional Frequency Analysis*. Ed. Cambridge University Press.
- YUN, P.; BURN, D.H. (1994): Flood frequency analysis for ungauged sites using a region of influence approach. *J.Hydrol.*, 153, pp1-21.