

# DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DEL EXPONENTE $n$ DE LAS CURVAS IDF. APLICACIÓN PARA LA PENÍNSULA IBÉRICA.

Roberto MONCHO<sup>1</sup>, Fernando BELDA<sup>2</sup> y Vicente CASELLES<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física de la Tierra y Termodinámica. Universitat de Valencia.

<sup>2</sup>Delegación Territorial en Valencia. AEMET.

robert@temps.cat, fbelda@inm.es, vicente.caselles@uv.es

## RESUMEN

El régimen de precipitaciones intensas es una de las posibles variables sensibles al cambio climático, según los distintos informes del IPCC. Para poder estudiar la posible variación de dicho régimen, es necesario clasificarlo con criterios que hagan referencia a la distribución temporal de las precipitaciones.

Así pues, el análisis de las precipitaciones máximas suele llevarse a cabo mediante curvas IDF (Intensidad, Duración y Frecuencia de ocurrencia), que a su vez pueden expresarse como curvas IMM, cuyo exponente  $n$  indicaría la distribución temporal relativa de las intensidades máximas. Este índice, asociado a las curvas climáticas IDF, contendría información sobre el modo en que se alcanzan las precipitaciones máximas en una determinada zona climática.

**Palabras clave:** intensidad precipitación, curvas IDF, curvas IMM, índice regularidad.

## ABSTRACT

The rainfall intensity is one of the possible sensitive variables to climate change, according to various reports of the IPCC. In order to study the possible variation of this variable, it is necessary to sort with criteria which make reference to the temporal distribution of rainfall.

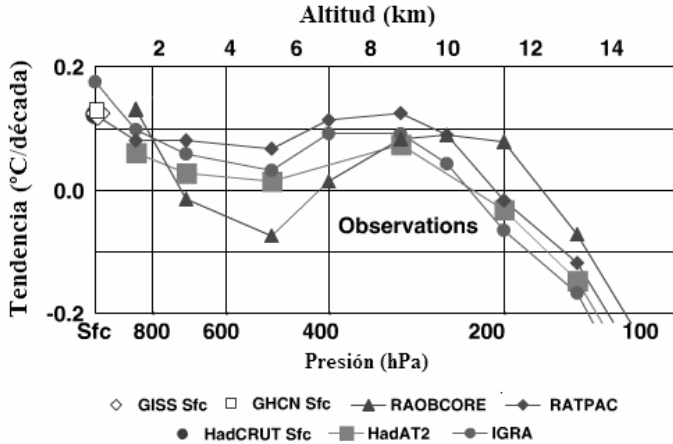
Thus, usually analysis of maximum rainfall is usually done through IDF curves (intensity, duration and frequency of occurrence), in turn which can be expressed as MMI curves, which exponent  $n$  indicate temporal distribution of the relative intensities. This index is associated with climatic curves IDF and it contain information on how to achieve maximum precipitation in a particular climate zone.

**Key words:** intense rainfall, IDF curves, MMI curves, regularity index.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la península Ibérica en general no se ha observado un cambio apreciable de las precipitaciones desde que se efectúan registros fiables. Si acaso en algunos puntos del norte se ha observado una ligera tendencia al incremento, mientras que en el sur y sureste observamos una tendencia ligera a la disminución, como es el caso de Gibraltar, San Fernando y Murcia (Martín-Vide, 2006). No obstante el régimen de precipitaciones intensas es una de las posibles variables sensibles al cambio climático, de hecho la intensidad de la lluvia, además de depender del contenido de agua precipitable de la atmósfera, también depende del gradiente

térmico vertical en los diferentes sistemas nubosos de precipitación. Diferentes organismos están midiendo con diferentes métodos la temperatura global en distintas capas de la atmósfera, entre la superficie y la estratosfera. En estas mediciones se está observando un incremento de la temperatura superficial de unos  $+0.5$  ó  $+0.6^{\circ}\text{C}$  en los últimos 30 años (NASA, 2008). Sin embargo, la estratosfera se ha enfriado en los últimos 30 años en unos  $-0.7$  ó  $-0.8^{\circ}\text{C}$  (NOAA, 2007).



**Figura 0.** Tendencia de la temperatura global en las últimas 3 décadas, según diversos organismos (Doiglass, D. H. *et al.*, 2007).

Por tanto, el gradiente vertical se está viendo modificado por tramos. Por una parte entre superficie y el nivel de 700hpa, el gradiente habría aumentado en unos  $0.1^{\circ}\text{C}/1000\text{m}$  en 30 años, mientras que entre 600 y 300 hPa el gradiente habría disminuido ligeramente, y entre 300 y 100 hPa habría aumentado considerablemente.

Entonces cabe esperar variaciones en el comportamiento de las intensidades máximas, que vendrán dadas por dos factores: la variabilidad natural e intrínseca de un clima y la variación del promedio del clima.

A modo de preámbulo para un posible estudio de la variación del régimen de intensidades, en el siguiente trabajo proponemos una manera de analizar la variabilidad natural de las intensidades máximas de un clima. El objetivo será identificar y cuantificar las características generales del régimen climático de las precipitaciones intensas a partir del modelo, propuesto a continuación, para la *distribución temporal de las Intensidades Medias Máximas de la precipitación (1)*.

Dicho modelo se aplica a las precipitaciones aisladas en el tiempo en forma de chubascos puntuales, sin embargo comprobaremos que lo podemos extender para aplicarlo a las curvas IDF. De hecho, podemos justificar que el modelo es aplicable para el caso climatológico, porque podemos encontrar otros modelos (Ghahraman, B. y Hoss Eini S. M., 2005) sobre la distribución temporal de las curvas IDF que se asemejan; por ejemplo los siguientes:

$$I = \frac{a}{t+b} \quad \text{Besson (1931)} \quad I = \frac{a}{(t+b)^c} \quad \text{Sherman (1931)} \quad I = \frac{a}{t^c + b} \quad \text{Chow (1962)}$$

## 2. CONCEPTOS PREVIOS

La distribución relativa de las **Intensidades Medias Máximas (IMM)** de la precipitación, respecto el tiempo de promedio, viene dada aproximadamente en función únicamente por el exponente  $n$  de la siguiente curva (Moncho, R., 2008):

$$\bar{I} = \bar{I}_o \left( \frac{t_o}{t} \right)^n \quad (1)$$

Donde  $\bar{I}$  es la IMM en  $t$  minutos y  $\bar{I}_o$  es la IMM en  $t_o$  minutos, y  $n$  es un parámetro ajustable a los datos.

De este modo, para clasificar cuantitativamente una precipitación, necesitaremos teóricamente tres valores:

- Una intensidad media máxima de referencia cualquiera,  $\bar{I}_o(t_o)$
- La duración del chubasco asociado a un máximo relativo de intensidad,  $t$
- La variabilidad de la intensidad, según el valor del exponente  $n$

Así pues, queremos clasificar la precipitación según la **variabilidad de la intensidad**, y para ello nos fijaremos en el exponente de la curva de Intensidad Media Máxima.

Este criterio de clasificación es independiente de la intensidad máxima absoluta, de tal modo que se centra en describir **cuánto de constante es la intensidad de las precipitaciones**, pudiendo tomar valores entre 0 y 1, ambos excluidos. De este modo, podemos encontrar precipitaciones poco o muy intensas, tanto de intensidad constante como muy variable.

## 3. METODOLOGÍA

Cada una de las curvas IDF representa una distribución temporal de las Intensidades Medias Máximas (en función del tiempo de promedio) asociadas a un período de retorno determinado. Así pues, mediante una nomenclatura adecuada de las variables, necesariamente una curva IDF ha de poderse expresar de la misma forma que una curva IMM.

$$I(t, p) = I_o(t_o, p) \left( \frac{t_o}{t} \right)^{n(p)} \quad (2)$$

Donde  $I(t, p)$  es la intensidad correspondiente a una curva IDF de duración parcial  $t$ , período de retorno  $p$ , e intensidad de referencia  $I_o(t_o, p)$ , que se corresponde con la precipitación media durante  $t_o$  minutos, es decir  $P_o/t_o$ .

Por tanto, uno de los objetivos del trabajo consistirá en encontrar las características de la expresión de la intensidad de referencia,  $I_o(t_o, p)$ , y del exponente,  $n(p)$ , ambos en función del período de retorno.

Si nos fijamos en las formas empíricas de la curva IDF, podemos encontrar una expresión general para la curva IDF-IMM (Moncho *et al.*, 2008)

$$I(t, p) \approx I(t_o, p_o) \left( \frac{p}{p_o} \right)^m \left( \frac{t_o}{t} \right)^n \quad (3) \quad \text{donde} \quad n \approx n(p_o) \cdot \left( \frac{p_o}{p} \right)^x \quad (4)$$

La dependencia de la expresión (3) con el tiempo de promedio viene justificado por la ley de atenuación (2), de tal modo que la intensidad de referencia depende del período de retorno según:

$$I(t_o, p) = I(t_o, p_o) \cdot \left( \frac{p}{p_o} \right)^m \quad (5)$$

Esta dependencia con el período de retorno teóricamente se ajusta a la ley de Gumbel, por lo que deberíamos de observar una semejanza con la ley empírica (5). Así pues, para un período de retorno  $p \gg I$ , tenemos que para la ley de Gumbel:

$$Y(p) = u - \frac{1}{\alpha} \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{p} \right) \right] \approx u + \frac{1}{\alpha} \ln p = k + \frac{1}{\alpha} \ln \frac{p}{p_o} \quad (6)$$

Donde  $Y(p)$  es la precipitación máxima esperada, mientras que  $\square$  y  $u$  son parámetros con .

$$k = u + \ln p_o$$

Por otra parte, para exponentes  $m$  pequeños, siempre podemos hacer la transformación  $X^m \approx a(m) \cdot \ln X + b(m)$ , por lo que podemos cambiar la ecuación (5) a la forma de la expresión (6)

$$I(t_o, p) \approx bI_o + aI_o \ln \frac{p}{p_o} \quad (5c)$$

Nótese que esta expresión (5) es muy similar a la que usan Viera (1985) y Aparicio (1997):

$$I(t, p) = \frac{k \cdot p^m}{(t + c)^n} \quad (7) \quad \longrightarrow \quad I(t, p) \approx \frac{k \cdot p^m}{t^n} \quad (8)$$

Donde  $I(t, p)$  es la intensidad de precipitación para una duración  $t$ , en minutos, y un período de retorno  $p$ , en años, mientras que  $k$ ,  $c$ ,  $m$  y  $n$  son constantes que se calculan mediante un análisis de regresión lineal múltiple,

De hecho, podemos encontrar fácilmente una relación entre la ecuación (8) de Aparicio (1997) y la expresión (5):

$$I(t, p) \approx \frac{k \cdot p^m}{t^n} \quad \xrightarrow{\text{e lim inando } k} \quad I(t, p) \approx I(t_o, p_o) \left( \frac{p}{p_o} \right)^m \left( \frac{t_o}{t} \right)^n \quad (5)$$

$$I(t_o, p_o) \approx \frac{k \cdot p_o^m}{t_o^n}$$

De tal modo que pasamos de ajustar 4 parámetros iniciales de Aparicio (k, m, n, c) a **necesitar el valor de n para cada estación**, y un valor cualquiera de referencia  $I(t_o, p_o)$ .

#### 4. ESTUDIO DE LAS CURVAS IDF PARA LA PENÍNSULA IBÉRICA

Ajustando las curvas IDF de 67 estaciones de la Agencia Estatal de Meteorología (ver **Apéndice**) a la expresión (3), hemos obtenido los siguientes valores medios de los tres parámetros adimensionales:

$$x = -0'02 \pm 0'02 \approx 0 \qquad m = 0'24 \pm 0'03 \qquad n_{med} \approx 0'63 \pm 0'07$$

Donde los índices x, m y n quedan definidos por las expresiones (4) y (5)

Podemos observar que los promedios de las 67 estaciones sugieren que los índices son aproximadamente constantes ya que la desviación típica para cada estación es similar a la desviación típica para el conjunto de estaciones, sin embargo, si nos fijamos en los valores del índice  $n_{med}$  varía bastante de una estación a otra en las 67 estaciones, por lo que en general no lo consideraremos constante.

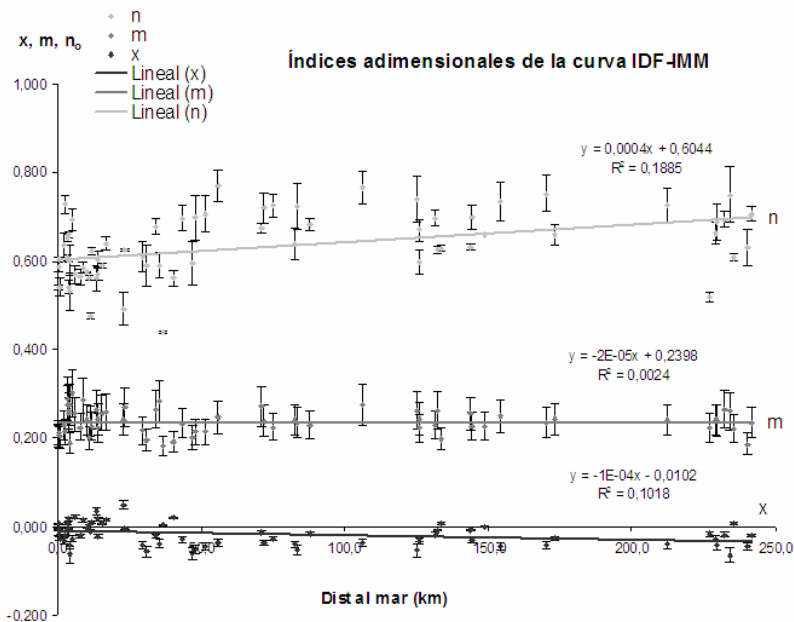


Figura 1. Comparación entre los índices de la curva IDF-IMM.

Por tanto, resulta una buena aproximación decir que, para expresar cualquier curva IDF de cualquier estación, sólo necesitamos 1 punto y 1 parámetro, respectivamente: (a) Una intensidad de referencia cualquiera,  $I(t_o, p_o)$ , y (b) el exponente medio  $n_{med}$ . Ambos valores son característicos del clima local.

En general existe una gran variabilidad del índice  $n$  reflejado también en la desviación típica del mismo en cada una de las estaciones. Es fácil ver que cuanto más distinto de cero sea el índice  $x$ , más variable será el exponente  $n$  de una estación. Por ello podríamos pensar que, para corregir esto, lo mejor sería no despreciar la dependencia del índice  $n$  con el período de retorno, sin embargo pensamos que dicha dependencia no es real sino una consecuencia de la diferencia de criterios al definir la curva IDF y la IMM, a pesar de ser equivalentes en climatología. Que el índice  $n$  fuese realmente diferente en función del período de retorno significaría que la tipología de las lluvias extremas variaría de convectividad a advectividad o viceversa, y sin embargo no se observa una tendencia general clara que defina la dirección de esa transformación en función del período de referencia. Es decir, **no se ha observado una norma que establezca que la extremidad de una precipitación tienda a desplazar su tipología hacia la convectividad ( $n\uparrow$ ) o la advectividad ( $n\downarrow$ )**, sino que dichas propiedades responden únicamente de la dominación estadística de cada clima local. Cualquier diferencia climática respecto al índice medio  $n_o$  (asociado a la extremidad pluviométrica) será una anomalía, por definición y por tanto supondrá una variación climática local, en base probablemente al régimen de vientos, ya que éste es el patrón principal de la *advectividad*. Por todo ello, seguiremos optando por usar el exponente medio  $n_{med}$  para cada estación.

En conclusión, las curvas IDF de cualquier estación de España pueden escribirse de la forma

$$I(t, p) \approx I(t_o, p_o) \left( \frac{p}{p_o} \right)^{0.24} \left( \frac{t_o}{t} \right)^{n_{med}} \quad (5)$$

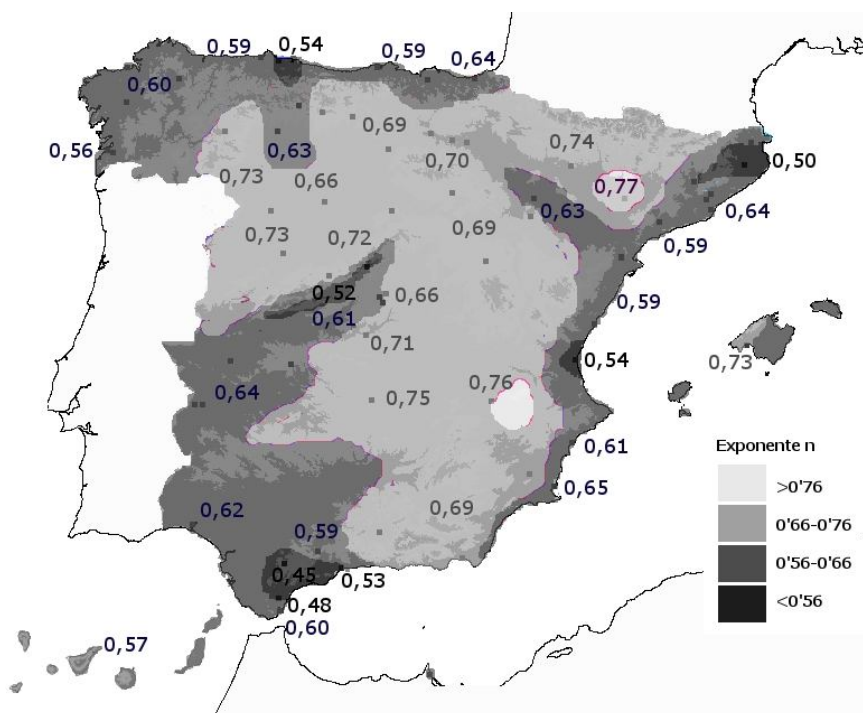
Donde  $I(t, p)$  es la intensidad media máxima en función de la duración,  $t$ , y el período de retorno,  $p$ . Mientras que  $I(t_o, p_o)$  es la intensidad de referencia, y el exponente  $n_{med}$  es característico de la climatología local. Si representamos geográficamente dicho índice  $n_{med}$  para la Península Ibérica, obtenemos el siguiente mapa:

Las curvas IDF representan distribuciones temporales de “precipitaciones máximas” en función del período de retorno, curvas que a su vez se relacionan entre sí como curvas IMM, así pues, cuanto menor es el exponente  $n$  de la IMM asociada, las precipitaciones máximas se obtienen más por persistencia que por intensidad, mientras que para índices  $n$  grandes, las precipitaciones máximas se obtienen más por intensidad que por persistencia.

Este juego entre la persistencia y la intensidad de las “precipitaciones máximas” se refleja en el clima, de tal modo que en general podemos distinguir dos grandes grupos:

- A. Los climas cuyas precipitaciones máximas están dominadas por la **advección marítima** (corriente zonal, lateral y antizonal) presentan un **índice  $n$  más bajo**, indicando una mayor persistencia de las intensidades más altas. Podemos distinguir aproximadamente tres grupos: mitad oeste (zonal), litoral cantábrico (lateral) y litoral mediterráneo (antizonal). En el litoral mediterráneo encontramos tres zonas con especial persistencia: golfo de Valencia, Gerona y Málaga, las tres dominadas por vientos de levante.

En el litoral cantábrico encontramos una zona con índice  $n$  muy bajo, al este de Asturias, que se corresponde con vientos del norte. Y por último, en la franja atlántica encontramos una zona muy importante, el Sistema Central, que presenta una importante persistencia de la lluvia con los vientos del sur de los típicos frentes atlánticos.



**Figura 2.** Distinción entre climas con lluvias máximas persistentes (azul) y antipersistentes (rojo), a partir del exponente  $n$  que ajusta las curvas IDF de 66 estaciones de la Agencia Estatal de Meteorología.

B. Los climas cuyas precipitaciones máximas están dominadas por **convección** (climas del interior) presentan **índices más altos** indicando una menor extensión temporal de las precipitaciones máximas.

En este caso encontramos dos grandes áreas: el interior del este y el interior del norte peninsular. Así mismo cabe destacar que en el sur de los Pirineos, y en el noreste de la Cordillera Subbética encontramos dos zonas con un índice  $n$  muy elevado; posiblemente se deba a que presentan una persistencia pluviométrica escasa, al menos durante las precipitaciones máximas.

## 5. CONCLUSIONES

Las curvas IDF de cualquier estación de España pueden escribirse de la forma:

$$I(t, p) \approx I(t_o, p_o) \left( \frac{p}{p_o} \right)^{0.24} \left( \frac{t_o}{t} \right)^{n_{med}}$$

Donde  $I(t, p)$  es la intensidad media máxima en función de la duración,  $t$ , y el período de retorno,  $p$ . Mientras que  $I(t_o, p_o)$  es la intensidad de referencia, y el exponente  $n_{med}$  es característico de la climatología local.

Existen muchas formas equivalentes, pero esta expresión tiene ventajas respecto a las demás:

- Es sencilla. Sólo necesita un parámetro  $n_{med}$  y un punto arbitrario  $I(t_o, p_o)$ .
- Contiene tanto la dependencia con el período de retorno como la de la duración de la precipitación.
- Existe una conexión aproximada con todas las expresiones alternativas, mediante transformaciones matemáticas.
- Es intuitiva. Contiene significado físico respecto a la atenuación con el tiempo, mediante un índice entre 1 y 0, al igual que la distribución temporal de un chubasco aislado.

Si atendemos al índice  $n$  característico, podemos distinguir dos grandes grupos de climas en la Península Ibérica:

- Los climas cuyas precipitaciones máximas están dominadas por la **advección marítima** (corriente zonal, lateral y antizonal) presentan un **índice  $n$  más bajo**, indicando una mayor persistencia de las intensidades más altas. Podemos distinguir aproximadamente tres grupos: mitad oeste (zonal), litoral cantábrico (lateral) y litoral mediterráneo (antizonal).
- Los climas cuyas precipitaciones máximas están dominadas por **convección** (climas del interior) presentan **índices más altos** indicando una menor extensión temporal de las precipitaciones máximas.

Por tanto, por definición climática del índice de distribución temporal relativa,  $n$ , asociado a la extremidad pluviométrica local, entendemos que cualquier diferencia climática respecto al índice medio  $n_o$  será una anomalía y por tanto supondrá una variación climática local, o en todo caso una variabilidad intrínseca.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de la Agencia Estatal de Meteorología por poner a disposición los diferentes datos de estaciones pluviométricas necesarios para elaborar el estudio comparativo de curvas IDF.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- APARICIO, F. (1997). Fundamentos de Hidrología de Superficie. Balderas, México: Limusa. p. 303
- ARON, G., DUNN, C. N., WALL, D. J. & WHITE, E. L. (1987). Regional rainfall intensity-duration-frequency curves for Pennsylvania. *Water Resour. Bull.*, 23(3), 479-486.

- BESSON (1931) in REMENIERAS, G. (1970). L'Hydrologie de L'ingénieur. Collection du Recherches et D'essais de Chatou. Translated to Persian by: H. Sedghi, Water Affair Publication. *Ministry of Energy, 1*, 383.
- CHOW, V. T. (1962). Hydrologic determination of waterway areas for drainage structures in small drainage basins. Bulletin No. 462, Engrg. Experimental Station, Univ. of Illinois, Urbana, 111.
- DOIGLASS, D. H.; CHRISTY, J. R.; PEARSON, D. D. & SINGER, S. F. (2007): *A comparison of tropical temperature trends. INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY. DOI:10.1002/joc.165.1 Royal Meteorology Society*
- ELÍAS, F. y RUIZ, L. (1979). *Precipitaciones máximas en España*. Madrid: ICONA. 545 p.
- FERRER POLO, F.J. y ARDILES (1994), L. Análisis estadístico de las series anuales de máximas lluvias diarias en España. *Ingeniería Civil*, n1 95, p. 87-100.
- GHAHRAMAN, B. y HOSS EINI, S. M. (2005): A new investigation on the performance of rainfall IDF models. *Iranian Journal of Science & Technology*, Transaction B, Engineering, Vol. 29, No. B3
- ETOH, T; A. MUROTA y M. NAKANISHI (1987).- SQRT-Exponential Type Distribution of Maximum, Hydrologic Frequency Modelling, *Proceedings of the International Symposium on Flood Frequency and Risk Analyses*, 14-17 May 1986, Louisiana State University, V. P. Shing (ed.), Reidel Pub. Com. U.S.A., pp. 253-264.
- FERRER F. J. (1993): *Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas*. CEDEX. Publicaciones del Mº de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 77 pp.
- FERRER F. J. (1996): *El modelo de función de distribución SQRT-ET max en el análisis regional de máximos hidrológicos : aplicación a lluvias diarias*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.
- LLASAT, M. C. (2001): An objective classification of rainfall events on the basis of their convective features. Application to rainfall intensity in the north-east of Spain. in *International Journal of Climatology*, 21, 1385-1400
- MARTÍN VIDE, J. (2005): Un decàleg del canvi climàtic i evidències a la Península Ibèrica. L'ATZAVARA, 16.
- MINISTERIO DE FOMENTO (1999) .- *Máximas Lluvias diarias en la España Peninsular*. (Incluye CD). 1ª reimpresión 2001
- M.O.P.U, (1990). Unidades hidrogeológicas de la España peninsular e Islas Baleares. Informaciones y estudios nº 52. Servicio Geológico. Madrid.
- MONCHO, R (2008). *Análisis de la intensidad de precipitación. Método de la intensidad contigua*. RAM3, enero 2008.
- MONCHO, R., BELDA, F. y CASELLES V. (2008). *Estudio climático del exponente N de las curvas IDF. Aplicación para la Península Ibérica*. Tethys.
- MCKAY, A. M. (1970). *Precipitation*. In: Handbook on the principles of hydrology. D. M. Gray (ed.), National Research Council of Canada, 2.1-2.111.

NASA (2008): Global Temperature Trends: 2007 Summation. *DATASETS & IMAGES* in GISS Surface Temperature Analysis.

NOAA (2008): “*Climate of 2007 Annual Report*”. National Climatic Data Center (15 January 2008).

SHERMAN (1931) in MURRAY, G. A. & RAO, G. N. S. (1978). Computer methods for rainfall intensity-duration-frequency relationships. *International Symposium on Urban Storm Water Management Proc.*, Lexington, Kentucky, 41-47.

VIERA, D. B. & SOUZA, C. Z. (1985). Analysis of the relation intensity-duration-frequency of heavy rains for Ribieraopreto. *ICID Bulletin*, 34(1), 49-55, 64.

ZORRAQUINO, C (2004).- La función SQRT-ET max. *Revista de Obras Públicas*, 3447: 33-37

## 8. APÉNDICE

Tabla de los ajustes IMM a las curvas IDF de un conjunto de 67 estaciones meteorológicas con pluviógrafo, de la Agencia Estatal de Meteorología. Los tiempos de referencia son 60 minutos para el tiempo de promedio ( $t_0$ ) y 25 años para el período de retorno ( $p_0$ ).

|    |          |            |                                       |
|----|----------|------------|---------------------------------------|
| 1  | ESTACIÓN | Ind: 0034  | Nombre: Valls (Tarragona)             |
| 2  | ESTACIÓN | Ind: 0111  | Nombre: Sallent Cabrianes             |
| 3  | ESTACIÓN | Ind: 0201  | Nombre: Barcelona centro              |
| 4  | ESTACIÓN | Ind: 0222  | Nombre: Caldes de Montbui             |
| 5  | ESTACIÓN | Ind: 0225  | Nombre: Sabadell                      |
| 6  | ESTACIÓN | Ind: 0370  | Nombre: Girona                        |
| 7  | ESTACIÓN | Ind: 0429  | Nombre: Figueres                      |
| 8  | ESTACIÓN | Ind: 1024E | Nombre: San Sebastián Igueldo         |
| 9  | ESTACIÓN | Ind: 1082  | Nombre: Bilbao Sondica                |
| 10 | ESTACIÓN | Ind: 1110  | Nombre: Santander Centro              |
| 11 | ESTACIÓN | Ind: 1208  | Nombre: Gijón                         |
| 12 | ESTACIÓN | Ind: 1212  | Nombre: Arnao                         |
| 13 | ESTACIÓN | Ind: 1387  | Nombre: La Coruña                     |
| 14 | ESTACIÓN | Ind: 1428  | Nombre: Santiago de Compostela        |
| 15 | ESTACIÓN | Ind: 1495  | Nombre: Vigo Peinador                 |
| 16 | ESTACIÓN | Ind: 1496  | Nombre: Gondomar (Pontevedra)         |
| 17 | ESTACIÓN | Ind: 1499  | Nombre: Lugo punto centro             |
| 18 | ESTACIÓN | Ind: 1549  | Nombre: Ponferrada                    |
| 19 | ESTACIÓN | Ind: 2030  | Nombre: Soria                         |
| 20 | ESTACIÓN | Ind: 2139  | Nombre: Linares del Arroyo (Segovia)  |
| 21 | ESTACIÓN | Ind: 2243  | Nombre: Pantano de Aguilar (Palencia) |
| 22 | ESTACIÓN | Ind: 2331  | Nombre: Burgos Villafria              |
| 23 | ESTACIÓN | Ind: 2363  | Nombre: Pantano de Compuerto (Palen.) |
| 24 | ESTACIÓN | Ind: 2422  | Nombre: Valladolid                    |
| 25 | ESTACIÓN | Ind: 2444  | Nombre: Avila                         |
| 26 | ESTACIÓN | Ind: 2462  | Nombre: Navacerrada puerto            |
| 27 | ESTACIÓN | Ind: 2614  | Nombre: Zamora                        |
| 28 | ESTACIÓN | Ind: 2633  | Nombre: Pantano de Porma (León)       |

|             |            |                                       |
|-------------|------------|---------------------------------------|
| 29 ESTACIÓN | Ind: 2661  | Nombre: León                          |
| 30 ESTACIÓN | Ind: 2867  | Nombre: Salamanca Matacán             |
| 31 ESTACIÓN | Ind: 3013  | Nombre: Molina de Aragón              |
| 32 ESTACIÓN | Ind: 3195  | Nombre: Madrid Retiro                 |
| 33 ESTACIÓN | Ind: 3196  | Nombre: Cuatro Vientos Madrid         |
| 34 ESTACIÓN | Ind: 3200  | Nombre: Getafe base aérea             |
| 35 ESTACIÓN | Ind: 3259  | Nombre: Toledo                        |
| 36 ESTACIÓN | Ind: 3469  | Nombre: Caceres                       |
| 37 ESTACIÓN | Ind: 4121  | Nombre: Ciudad Real                   |
| 38 ESTACIÓN | Ind: 4245  | Nombre: Guadalupe (Cáceres)           |
| 39 ESTACIÓN | Ind: 4452  | Nombre: Talavera (Badajoz)            |
| 40 ESTACIÓN | Ind: 4478  | Nombre: Badajoz                       |
| 41 ESTACIÓN | Ind: 4605  | Nombre: Huelva                        |
| 42 ESTACIÓN | Ind: 5530  | Nombre: Granada                       |
| 43 ESTACIÓN | Ind: 5911  | Nombre: Grazalema                     |
| 44 ESTACIÓN | Ind: 6000A | Nombre: Melilla                       |
| 45 ESTACIÓN | Ind: 6006  | Nombre: Algeciras                     |
| 46 ESTACIÓN | Ind: 6024  | Nombre: Pantano Guadarranque (Cadiz)  |
| 47 ESTACIÓN | Ind: 6120  | Nombre: Pantano Guadalhorce (Málaga)  |
| 48 ESTACIÓN | Ind: 6172  | Nombre: Málaga 'jardín observatorio'  |
| 49 ESTACIÓN | Ind: 6325O | Nombre: Almeria                       |
| 50 ESTACIÓN | Ind: 7031  | Nombre: San Javier                    |
| 51 ESTACIÓN | Ind: 7228  | Nombre: Alcantarilla (Murcia)         |
| 52 ESTACIÓN | Ind: 8025  | Nombre: Alicante                      |
| 53 ESTACIÓN | Ind: 8175  | Nombre: Albacete                      |
| 54 ESTACIÓN | Ind: 8416  | Nombre: Valencia                      |
| 55 ESTACIÓN | Ind: 8500A | Nombre: Castellón                     |
| 56 ESTACIÓN | Ind: 9121  | Nombre: Haro (La Rioja)               |
| 57 ESTACIÓN | Ind: 9148  | Nombre: Logroño                       |
| 58 ESTACIÓN | Ind: 9171  | Nombre: Cabreja (Navarra)             |
| 59 ESTACIÓN | Ind: 9434  | Nombre: Zaragoza aeropuerto           |
| 60 ESTACIÓN | Ind: 9443  | Nombre: Pantano de Mezalocha (Zarag.) |
| 61 ESTACIÓN | Ind: 9771  | Nombre: Lérida                        |
| 62 ESTACIÓN | Ind: 9898  | Nombre: Huesca Monflorite             |
| 63 ESTACIÓN | Ind: 9980  | Nombre: Tortosa (Tarragona)           |
| 64 ESTACIÓN | Ind: 9981A | Nombre: Tortosa Roquetas              |
| 65 ESTACIÓN | Ind: B228  | Nombre: Palma ciudad                  |
| 66 ESTACIÓN | Ind: C447A | Nombre: Tenerife Norte Los Rodeos     |
| 67 ESTACIÓN | Ind: C449C | Nombre: Sta. Cruz de Tenerife         |

|             | $I(t_0, p_0)$ | $I(t_0, p_0)'$ | $m$   | $R^2(m)$ | $n_{med}$ | $\square(n_{med})$ | $n(p_0)$ | $n(p_0)'$ | $x$           | $R^2(x)$ |
|-------------|---------------|----------------|-------|----------|-----------|--------------------|----------|-----------|---------------|----------|
| Media       | 33,9          | 31,7           | 0,239 | 0,979    | 0,633     | 0,023              | 0,634    | 0,635     | <b>-0,018</b> | 0,931    |
| Desv típica | 11,0          | 10,2           | 0,027 | 0,004    | 0,072     | 0,015              | 0,073    | 0,074     | <b>0,025</b>  | 0,116    |

| $t_0$ | $p_0$ | $I(t_0, p_0)$ | $I(t_0, p_0)'$ | $m$   | $R^2(m)$ | $n_{med}$ | $\square(n_{med})$ | $n(p_0)$ | $n(p_0)'$ | $x$   | $R^2(x)$ |
|-------|-------|---------------|----------------|-------|----------|-----------|--------------------|----------|-----------|-------|----------|
| 60    | 25    | 57,7          | 73,2           | 0,256 | 0,977    | 0,592     | 0,006              | 0,591    | 0,591     | 0,007 | 0,934    |

|    |    |      |      |       |       |       |       |       |       |        |       |    |
|----|----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|----|
| 60 | 25 | 40,1 | 46,9 | 0,192 | 0,986 | 0,563 | 0,018 | 0,562 | 0,561 | 0,021  | 0,983 | 2  |
| 60 | 25 | 48,4 | 50,9 | 0,276 | 0,974 | 0,657 | 0,006 | 0,658 | 0,658 | -0,007 | 0,946 | 3  |
| 60 | 25 | 59,1 | 75,3 | 0,270 | 0,975 | 0,625 | 0,004 | 0,625 | 0,625 | -0,004 | 0,792 | 4  |
| 60 | 25 | 52,6 | 57,6 | 0,259 | 0,976 | 0,643 | 0,015 | 0,641 | 0,641 | 0,016  | 0,951 | 5  |
| 60 | 25 | 62,3 | 67,9 | 0,242 | 0,978 | 0,498 | 0,037 | 0,493 | 0,492 | 0,049  | 0,968 | 6  |
| 60 | 25 | 47,1 | 50,4 | 0,265 | 0,975 | 0,566 | 0,029 | 0,562 | 0,562 | 0,035  | 0,961 | 7  |
| 60 | 25 | 43,7 | 45,5 | 0,229 | 0,980 | 0,632 | 0,027 | 0,634 | 0,635 | -0,031 | 0,958 | 8  |
| 60 | 25 | 36,2 | 35,8 | 0,242 | 0,979 | 0,574 | 0,002 | 0,574 | 0,575 | -0,003 | 0,901 | 9  |
| 60 | 25 | 32,5 | 33,2 | 0,224 | 0,982 | 0,598 | 0,028 | 0,599 | 0,599 | -0,032 | 0,956 | 10 |
| 60 | 25 | 28,6 | 28,2 | 0,207 | 0,984 | 0,544 | 0,005 | 0,542 | 0,541 | 0,007  | 0,935 | 11 |
| 60 | 25 | 24,3 | 20,2 | 0,205 | 0,985 | 0,590 | 0,012 | 0,589 | 0,587 | -0,014 | 0,931 | 12 |
| 60 | 25 | 25,3 | 24,6 | 0,214 | 0,983 | 0,602 | 0,005 | 0,603 | 0,604 | -0,005 | 0,977 | 13 |
| 60 | 25 | 30,0 | 29,1 | 0,195 | 0,984 | 0,587 | 0,046 | 0,589 | 0,590 | -0,056 | 0,966 | 14 |
| 60 | 25 | 33,1 | 30,5 | 0,225 | 0,982 | 0,563 | 0,016 | 0,564 | 0,565 | -0,020 | 0,977 | 15 |
| 60 | 25 | 29,7 | 33,0 | 0,203 | 0,985 | 0,540 | 0,020 | 0,541 | 0,541 | -0,026 | 0,977 | 16 |
| 60 | 25 | 29,8 | 32,6 | 0,217 | 0,982 | 0,607 | 0,035 | 0,610 | 0,611 | -0,042 | 0,949 | 17 |
| 60 | 25 | 23,3 | 22,8 | 0,236 | 0,979 | 0,717 | 0,053 | 0,722 | 0,724 | -0,053 | 0,957 | 18 |
| 60 | 25 | 26,5 | 27,4 | 0,229 | 0,982 | 0,693 | 0,018 | 0,696 | 0,698 | -0,018 | 0,942 | 19 |
| 60 | 25 | 24,8 | 26,1 | 0,249 | 0,977 | 0,729 | 0,043 | 0,734 | 0,735 | -0,043 | 0,956 | 20 |
| 60 | 25 | 23,7 | 23,2 | 0,216 | 0,982 | 0,703 | 0,043 | 0,706 | 0,707 | -0,043 | 0,957 | 21 |
| 60 | 25 | 26,2 | 27,2 | 0,229 | 0,981 | 0,684 | 0,014 | 0,684 | 0,683 | -0,014 | 0,959 | 22 |
| 60 | 25 | 28,4 | 33,3 | 0,216 | 0,982 | 0,693 | 0,050 | 0,697 | 0,699 | -0,051 | 0,963 | 23 |
| 60 | 25 | 24,9 | 24,8 | 0,227 | 0,980 | 0,662 | 0,001 | 0,661 | 0,661 | 0,000  | 0,032 | 24 |
| 60 | 25 | 28,8 | 32,0 | 0,266 | 0,975 | 0,696 | 0,017 | 0,696 | 0,695 | -0,017 | 0,944 | 25 |
| 60 | 25 | 29,7 | 23,9 | 0,225 | 0,981 | 0,517 | 0,012 | 0,518 | 0,518 | -0,017 | 0,957 | 26 |
| 60 | 25 | 20,4 | 22,1 | 0,235 | 0,979 | 0,749 | 0,042 | 0,753 | 0,753 | -0,040 | 0,953 | 27 |
| 60 | 25 | 24,1 | 19,8 | 0,202 | 0,982 | 0,591 | 0,049 | 0,595 | 0,596 | -0,060 | 0,949 | 28 |
| 60 | 25 | 21,7 | 19,1 | 0,241 | 0,979 | 0,630 | 0,035 | 0,636 | 0,639 | -0,040 | 0,968 | 29 |
| 60 | 25 | 27,3 | 27,2 | 0,242 | 0,979 | 0,721 | 0,040 | 0,724 | 0,725 | -0,040 | 0,932 | 30 |
| 60 | 25 | 29,7 | 30,7 | 0,228 | 0,981 | 0,695 | 0,027 | 0,699 | 0,700 | -0,029 | 0,954 | 31 |
| 60 | 25 | 25,7 | 26,2 | 0,240 | 0,979 | 0,683 | 0,040 | 0,687 | 0,688 | -0,043 | 0,938 | 32 |
| 60 | 25 | 25,3 | 25,7 | 0,222 | 0,983 | 0,609 | 0,008 | 0,609 | 0,609 | 0,008  | 0,932 | 33 |
| 60 | 25 | 23,9 | 25,4 | 0,241 | 0,979 | 0,658 | 0,024 | 0,662 | 0,664 | -0,026 | 0,931 | 34 |
| 60 | 25 | 25,5 | 25,1 | 0,236 | 0,979 | 0,705 | 0,017 | 0,707 | 0,707 | -0,018 | 0,968 | 35 |
| 60 | 25 | 31,5 | 32,7 | 0,244 | 0,979 | 0,658 | 0,023 | 0,660 | 0,660 | -0,025 | 0,973 | 36 |
| 60 | 25 | 24,2 | 24,3 | 0,260 | 0,974 | 0,741 | 0,062 | 0,749 | 0,750 | -0,063 | 0,947 | 37 |
| 60 | 25 | 27,5 | 19,6 | 0,188 | 0,984 | 0,627 | 0,040 | 0,630 | 0,631 | -0,045 | 0,960 | 38 |
| 60 | 25 | 31,8 | 32,9 | 0,256 | 0,978 | 0,630 | 0,007 | 0,632 | 0,632 | -0,008 | 0,916 | 39 |
| 60 | 25 | 28,5 | 30,7 | 0,198 | 0,985 | 0,628 | 0,007 | 0,628 | 0,629 | 0,008  | 0,926 | 40 |
| 60 | 25 | 36,8 | 42,2 | 0,227 | 0,981 | 0,621 | 0,010 | 0,621 | 0,622 | 0,010  | 0,903 | 41 |
| 60 | 25 | 20,6 | 20,4 | 0,234 | 0,980 | 0,694 | 0,028 | 0,696 | 0,696 | -0,028 | 0,956 | 42 |
| 60 | 25 | 43,5 | 38,9 | 0,183 | 0,986 | 0,442 | 0,003 | 0,441 | 0,440 | 0,004  | 0,926 | 43 |
| 60 | 25 | 35,5 | 37,2 | 0,255 | 0,977 | 0,573 | 0,019 | 0,570 | 0,570 | 0,023  | 0,950 | 44 |
| 60 | 25 | 31,6 | 34,6 | 0,190 | 0,986 | 0,601 | 0,035 | 0,602 | 0,602 | -0,040 | 0,953 | 45 |
| 60 | 25 | 33,4 | 32,2 | 0,238 | 0,980 | 0,474 | 0,006 | 0,476 | 0,476 | -0,009 | 0,963 | 46 |
| 60 | 25 | 32,1 | 29,6 | 0,284 | 0,973 | 0,583 | 0,029 | 0,589 | 0,591 | -0,038 | 0,932 | 47 |
| 60 | 25 | 42,3 | 46,9 | 0,275 | 0,973 | 0,523 | 0,043 | 0,530 | 0,531 | -0,062 | 0,924 | 48 |
| 60 | 25 | 29,0 | 32,5 | 0,301 | 0,969 | 0,689 | 0,024 | 0,693 | 0,694 | -0,026 | 0,924 | 49 |

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DEL EXPONENTE N DE LAS CURVAS IDF. APLICACIÓN PARA LA

| 60    | 25    | 41,5          | 44,5           | 0,291 | 0,972    | 0,654     | 0,007              | 0,653    | 0,653     | 0,007  | 0,799    | 50 |
|-------|-------|---------------|----------------|-------|----------|-----------|--------------------|----------|-----------|--------|----------|----|
| 60    | 25    | 41,3          | 44,6           | 0,266 | 0,976    | 0,676     | 0,018              | 0,678    | 0,678     | -0,020 | 0,938    | 51 |
| 60    | 25    | 50,4          | 55,7           | 0,275 | 0,974    | 0,606     | 0,006              | 0,608    | 0,608     | -0,007 | 0,910    | 52 |
| 60    | 25    | 39,1          | 38,6           | 0,277 | 0,973    | 0,760     | 0,037              | 0,765    | 0,765     | -0,036 | 0,930    | 53 |
| 60    | 25    | 54,6          | 51,9           | 0,255 | 0,977    | 0,545     | 0,015              | 0,543    | 0,541     | 0,019  | 0,960    | 54 |
| 60    | 25    | 60,1          | 71,4           | 0,262 | 0,977    | 0,602     | 0,004              | 0,602    | 0,602     | -0,005 | 0,968    | 55 |
| 60    | 25    | 21,3          | 21,9           | 0,272 | 0,974    | 0,674     | 0,012              | 0,674    | 0,673     | -0,013 | 0,981    | 56 |
| 60    | 25    | 28,3          | 29,6           | 0,240 | 0,979    | 0,712     | 0,035              | 0,717    | 0,719     | -0,035 | 0,964    | 57 |
| 60    | 25    | 24,3          | 21,2           | 0,225 | 0,981    | 0,723     | 0,027              | 0,725    | 0,726     | -0,026 | 0,967    | 58 |
| 60    | 25    | 28,0          | 28,4           | 0,263 | 0,976    | 0,623     | 0,008              | 0,624    | 0,625     | -0,008 | 0,973    | 59 |
| 60    | 25    | 30,1          | 29,5           | 0,244 | 0,978    | 0,666     | 0,024              | 0,670    | 0,671     | -0,026 | 0,946    | 60 |
| 60    | 25    | 40,1          | 43,7           | 0,248 | 0,978    | 0,764     | 0,037              | 0,768    | 0,770     | -0,035 | 0,942    | 61 |
| 60    | 25    | 21,2          | 19,1           | 0,262 | 0,975    | 0,730     | 0,051              | 0,738    | 0,740     | -0,053 | 0,928    | 62 |
| 60    | 25    | 56,4          | 67,4           | 0,225 | 0,981    | 0,602     | 0,018              | 0,604    | 0,605     | -0,021 | 0,962    | 63 |
| 60    | 25    | 53,6          | 58,4           | 0,243 | 0,979    | 0,573     | 0,015              | 0,571    | 0,571     | 0,018  | 0,942    | 64 |
| 60    | 25    | 33,2          | 37,5           | 0,215 | 0,982    | 0,728     | 0,020              | 0,729    | 0,729     | -0,019 | 0,970    | 65 |
| 60    | 25    | 28,3          | 25,2           | 0,200 | 0,984    | 0,562     | 0,005              | 0,562    | 0,561     | 0,005  | 0,960    | 66 |
| 60    | 25    | 29,4          | 29,9           | 0,288 | 0,971    | 0,586     | 0,013              | 0,585    | 0,586     | 0,016  | 0,933    | 67 |
| $t_0$ | $p_0$ | $I(t_0, p_0)$ | $I(t_0, p_0)'$ | $m$   | $R^2(m)$ | $n_{med}$ | $\square(n_{med})$ | $n(p_0)$ | $n(p_0)'$ | $x$    | $R^2(x)$ |    |