



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

Estima de precipitaciones máximas por el método de Gumbell

Apellidos, nombre	Ibáñez Asensio, Sara (sibanez@prv.upv.es) Moreno Ramón, Héctor (hecmoda@prv.upv.es) Gisbert Blanquer, Juan Manuel (jgisbert@prv.upv.es)
Departamento	Producción Vegetal
Centro	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural



1 Resumen

Cuando se produce una precipitación pluvial en una zona pocas veces es exactamente igual a la anterior lluvia precipitada días atrás. Aunque estemos en el mismo lugar y no hayan transcurrido muchos días desde entonces la duración de la lluvia es diferente, y su intensidad o agresividad también.

La variabilidad de la lluvia es enorme, tanto espacial como temporalmente, pero el uso y gestión del terreno y de todo tipo de recurso (suelo, agua, biomasa, etc...), nos exige un conocimiento previo de la precipitación que podemos esperar en una zona. De otro modo, ¿cómo vamos a ser capaces de calcular el riego que debemos aplicar a los plantones en las primeras fases de una reforestación? y ¿cómo sabremos cuándo será el momento más apropiado para programar una entresaca?

El análisis de las series de precipitación de suficiente longitud nos permite disponer de información fiable relativa a tres preguntas fundamentales: ¿cuál es la intensidad de precipitación máxima que podemos esperar en una zona?, ¿cada cuánto tiempo es posible que se produzca un fenómeno de dicha intensidad? , y ¿existe la posibilidad de estimar intensidades máximas de tormentas de duración inferior a 24 horas en todas las zonas de España? Durante estas líneas te guiaremos para que seas capaz de responder a estas cuestiones y puedas prever la lluvia que recibirás en tu zona de trabajo en la situación más desfavorable.

2 Objetivos

Con el presente artículo docente se pretende que el lector sea capaz de:

- Entender la relación que existe entre la intensidad de una precipitación pluvial (I), su tiempo de duración (t) y la probabilidad de que se vuelva a repetir en un futuro (periodo de retorno T)
- Entender el concepto de periodo de retorno (T)
- Estimar la intensidad de una tormenta producida en una zona en concreto en función de su tiempo de duración y con una probabilidad de recurrencia dada.

3 Estructura e introducción

El presente artículo docente se estructura en los siguientes puntos:

1. Resumen de ideas clave
2. Objetivos
3. Estructura e introducción
4. Desarrollo
 - 4.1. Relación Intensidad-Duración-Frecuencia
 - 4.2. Concepto de Intensidad Máxima Esperada
 - 4.3. Concepto de frecuencia o periodo de retorno (T)
 - 4.4. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia



- 4.5. Ecuación de Témez
5. Cierre
6. Bibliografía

Definir la lluvia característica de una zona es una tarea compleja. Datos como la precipitación media anual o la distribución estacional de las lluvias aportan información muy valiosa en muchos ámbitos que incluso es válida para clasificar climáticamente los territorios, pero que resulta claramente insuficientes cuando tratamos de dimensionar, por ejemplo, un canal de desagüe en una carretera, una zanja de desviación en una explotación agrícola, una presa o, simplemente, uno de sus aliviaderos.

En éstas y otras muchas situaciones en las que trabajamos con escorrentías lo que necesitamos saber es cómo va a responder el suelo frente a la lluvia y si va a ser superada o no su capacidad de infiltración, y esto no depende exclusivamente de la cantidad total de agua recibida sino más bien de en cuánto tiempo se recibe y cómo se recibe (tamaño de gota, velocidad de caída, etc...).

Como bien sabes la relación entre lluvia caída y el tiempo que dura la precipitación es lo que conocemos como intensidad de la precipitación (I). La intensidad se mide en mm/h y su valor se deduce de las bandas de los pluviógrafos o de los registros de las estaciones meteorológicas automáticas. Es un dato muy importante en hidrología puesto que junto con la capacidad de infiltración del suelo determina la cantidad de escorrentía generada por un aguacero. Considerando despreciable las pérdidas de agua debidas a la evaporación y a la transpiración de las plantas, la expresión simplificada del ciclo del agua refleja esta relación:

$$E = P - I, \quad \text{siendo } E = \text{escorrentía}$$

P = Precipitación

I = Infiltración

A partir de ésta expresión y con los conocimientos previos de los que disponemos seríamos capaces de, por ejemplo, calcular la escorrentía generada en una parcela cerrada de 1 ha de superficie por un aguacero de 43 mm/h de intensidad y 15' de duración sabiendo que la capacidad de infiltración del suelo es de 23 mm/h y que éste se encontraba completamente saturado al inicio de la tormenta. Veamos:

Tasa de escorrentía= 43-23= 20 mm/h

Volumen de escorrentía del aguacero de 15' de duración: $\frac{20(\text{mm / h}) \times 15(\text{'})}{60(\text{'})} = 5\text{mm} = 5 \text{ l/m}^2$

Escorrentía a la salida de la parcela: $Q = \frac{5(\text{l / m}^2) \times 10.000(\text{m}^2)}{15(\text{'})} = 3,33 \text{ m}^3 / 5$

Asumamos ahora que el enunciado del problema anterior se refiere realmente a "nuestra parcela" y que queremos dimensionar su canal de desagüe. Tendremos claro entonces que la parcela es lo grande que es (1 ha en el ejemplo), y tiene el suelo que tiene (con una tasa de infiltración de 23 mm/h en el ejemplo), pero la lluvia es tremendamente variable y la intensidad lo mismo pudiera ser de 43 mm/h (en el ejemplo) como de 25 mm/h o cualquier otra (por lo que entonces los cálculos anteriores no nos valdrían). De hecho, si analizáramos las precipitaciones producidas durante todo un año en un mismo lugar difícilmente encontraríamos muchas coincidencias entre ellas, ni en cuanto a la cantidad ni en cuanto a la duración.

Queda claro que cuando comienza una precipitación es muy difícil predecir en qué cantidad y durante cuánto tiempo lloverá, pero según el tipo de tormenta que sea sí podremos hacernos una idea de cómo serán sus características: las lluvias débiles suelen ser prolongadas y pocas veces producen inundaciones mientras que cuando las precipitaciones son de elevada intensidad su duración es menor. No en vano quien más o quien menos ha sufrido alguna vez la experiencia de resultar totalmente empapado por un cortísimo pero muy intenso chaparrón.

Lo bien cierto es que sea cual sea nuestra localidad de residencia esta premisa siempre se cumple, y es precisamente el significado que recogen las denominadas curvas de Intensidad-Duración de las precipitaciones cuya estudio vamos a abordar a continuación.

4 Desarrollo

4.1 Relación Intensidad-Duración-Frecuencia

En estas curvas sobre el eje de las abscisas se representa la duración de la tormenta (expresada en minutos o en horas) y en el eje de las ordenas la intensidad (expresada en mm/h).

Son características de cada lugar en particular, pero en todas las regiones climáticas del mundo siguen la misma tendencia (figura nº 1):

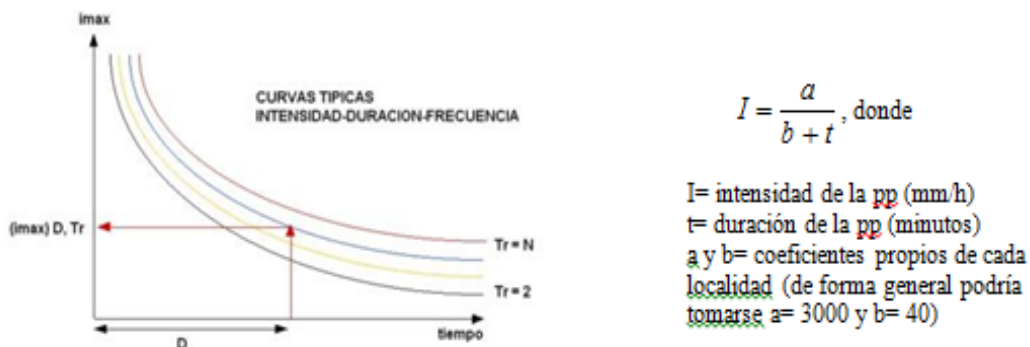


Figura nº 1.- Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia y relación I/t



Lógicamente los coeficientes a y b son característicos de cada estación meteorológica, obteniéndose a partir de series de datos lo suficientemente completas. De no disponer de suficientes datos podríamos utilizar unos valores genéricos ($a=3.000$ y $b=40$), pero en cualquier caso queda claro que una vez formulada la ecuación se establece una relación biunívoca entre el tiempo de duración de una tormenta y su intensidad (a cada valor de t le corresponde un único valor de I).

Sin embargo la lluvia en realidad no se comporta de manera tan estricta y si analizáramos todas las precipitaciones ocurridas durante un año en una localidad probablemente todas serían distintas, y de encontrar varias de igual duración seguro que no serían de la misma intensidad. Si consideráramos un periodo de tiempo más prolongado habría más coincidencias pero en definitiva ocurriría lo mismo –a iguales duraciones diferentes intensidades- puesto que la variabilidad es enorme; entonces, para una t determinada ¿qué valor de todos los posibles podemos considerar como correcto?

4.2 Concepto de Intensidad Máxima Esperada

Desde la perspectiva de nuestro ámbito de trabajo para contestar correctamente a la pregunta anterior basta con plantearnos una sencilla reflexión: si lo que queremos es estar seguros de que la obra que dimensionemos (aliviadero, canal, etc.) “cumpla correctamente su cometido” deberemos tomar aquella intensidad que genere mayor escorrentía. Es decir, que de todas las posibles tormentas nos deberemos fijar únicamente en las más extremas, en las más torrenciales, que son las que aportan lluvias de intensidad máxima. Las curvas Intensidad-Duración se elaboran por tanto a partir de los datos de precipitaciones extremas, por lo que la intensidad correspondiente a una duración de tormenta determinada siempre es máxima.

Ahora bien, aunque la obra funcione correctamente durante algunos años es previsible que no siempre sea así, y no podemos estar seguros de que no se producirá una precipitación que rebase nuestros cálculos puesto que realmente no todos los años llueve de la misma manera y es posible que de vez en cuando ocurra una precipitación “anormalmente” elevada comparativamente con lo que consideremos como “normal” en un año cualquiera. No olvidemos que en todas las regiones climáticas del mundo (la mediterránea incluida) existe el riesgo de sufrir inundaciones, desde luego no todos los años pero sí periódicamente.

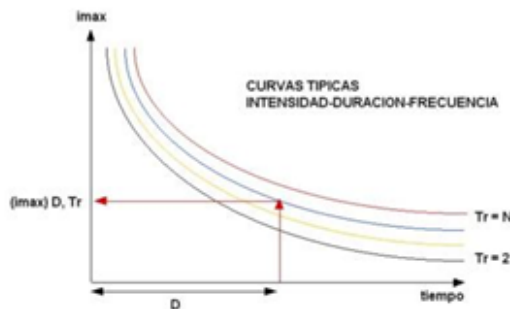
Se introduce así el concepto de frecuencia o periodo de retorno (T), que veremos a continuación.

4.3 Concepto de Periodo de Retorno (T)

El concepto de frecuencia o periodo de retorno (T) responde a la idea de que la probabilidad de que se produzca una lluvia de determinadas características (en intensidad y duración) siempre va asociada a un intervalo de tiempo concreto (la frecuencia o periodo de retorno T). Las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) son el conjunto de curvas que representan para cada periodo de retorno concreto



(hay una curva para cada T) los valores de las intensidades máximas medias de lluvia esperables en función de la duración del aguacero (figura nº 2).



$$I = \frac{KT^z}{t^n}, \text{ donde}$$

I= intensidad de la pp (mm/h)
t= duración de la pp (minutos)
T= periodo de retorno (años)

Ejemplo: una precipitación de 15' de duración tendrá una intensidad de:

- ♦ mm/h al menos 1 vez cada 2 años
- ♦ mm/h al menos 1 vez cada 5 años
- ♦ mm/h al menos 1 vez cada 10 años
- ♦ mm/h al menos 1 vez cada 50 años

Figura nº 2.- Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) y relación I-t-T

4.4 Curvas de intensidad-Duración-Frecuencia

Las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) son características para cada localidad y para obtenerlas se deben considerar todos los episodios de lluvia ocurridos en dicho sitio a lo largo de un gran número de años, siendo imprescindible tener registrados los datos correspondientes tanto a la cantidad de lluvia (mm) caída como a la duración de las tormentas (o disponer de sus correspondientes pluviogramas o hietogramas).

Una vez seleccionada la intensidad máxima anual para cada intervalo de tiempo (5', 10', 20', etc.) de todos los años de la serie climática, ajustaremos la nueva serie de datos a una ley de distribución de probabilidad a fin de obtener la ecuación de distribución correspondiente a nuestra estación. Para el caso de precipitaciones extremas se considera que la distribución que proporciona un mejor ajuste es la de Gumbell, encontrando una explicación más detallada sobre el método de ajuste en la publicación "Precipitaciones máximas en España" de Elías Castillo y Beltrán.

En el caso de no disponer de una serie de registros lo suficientemente larga para realizar nuestro propio ajuste podemos acudir a las curvas IDF correspondientes a otras localidades cercanas de características climáticas similares a nuestra zona; en el libro de Elías y Beltrán podemos encontrar una recopilación de esta información presentada en forma gráfica (curvas IDF) y numérica (ecuaciones de las curvas y tablas con los datos de las series pluviométricas y sus correspondientes resultados obtenidos aplicando Gumbell).

Concretamente la información ofrecida es:

- Cantidad de lluvia máxima esperada en 24 h para diferentes periodos de retorno (de 2 a 100 años) de diferentes estaciones pluviométricas del territorio nacional (Apéndice 1: 2150 estaciones organizadas por provincias, de la página nº 41 a la página nº 354) (figura 3)



- Cantidad de lluvia máxima esperada en precipitaciones de duraciones de entre 10 y 72 horas para diferentes periodos de retorno correspondientes a diferentes estaciones pluviométricas del territorio nacional (Apéndice 2: 71 estaciones situadas en capitales de provincias, de la página nº 356 a la página nº 457) (figura 4)
- Fórmulas o ecuaciones de altura (mm)-duración (horas)-Frecuencia (años) para lluvias de menos de 2 horas de duración y periodos de retorno inferiores a 50 años de diferentes capitales de provincia (mapa 1) del territorio nacional (Cuadro nº 1: 9 estaciones, páginas nº 528 y 529) (figura 5)
- Fórmulas o ecuaciones de altura (mm)-duración (horas)-Frecuencia (años) para lluvias de menos de 2 horas de duración y periodos de retorno inferiores a 50 años de diferentes capitales de provincia (Mapa 1) del territorio nacional (Cuadro nº 2: 11 estaciones, páginas nº 532 y 533)
- Fórmulas o ecuaciones de altura (mm)-duración (horas)-Frecuencia (años) para lluvias de duración de entre 2 horas y 72 horas y periodos de retorno inferiores a 50 años de diferentes capitales de provincia del territorio nacional (Cuadro nº 3: 20 estaciones, páginas nº 536 y 537) (figura 6)

1.- Tablas

1.1.- Cantidad de lluvia (mm) en 24 horas

Para diferentes estaciones climatológicas

ESTACIONES	AÑO	0-497	0-500	0-436	0-477	0-491	0-563	0-439	0-501
0-430 Albuñol	1961								
0-437 Alcoris	42								
0-500 Almazora	43	50	S						
0-438 Alzira (Ciudad Real)	44	73,2	S						
0-472 Alzira	45	60,2	N						
0-491 Alzira (C.R.)	46	63,3	A						
0-563 Cantalejo	47	42	F						
0-439 Cantalejo	48	79	D						
0-501 Cantalejo (C.R.)	49	62,8	M						
0-504 Cella	50	62,3	My						
0-477 Cofre de Arzobispo	1961	122,0	S						
0-520 Frutier	52	41,7	O						
0-435 Jilón	53	68,3	O						
0-436 Lucena del Cid	54	71,4	M						
0-430 María Cristina (Palencia)	55	63,6	O						
0-562 Miranda	56	95,8	O						
0-430 Nájera (N.)	57	120	O						
0-434 Onda (D. Cantabria)	58	76,4	O						
0-432 Onda (D. Cantabria)	59	70	N						
0-434 Puebla de Tormes	60	62,4	D						
0-510 Mata de San Is	1961	95,8	N						
0-430 Sagunto	62	102,0	O						
0-430 Utiel	63	45,0	S						
0-480 Valbu	64	50,0	O						
0-457 Villarreal	65	45,0	O						
0-515 Villarreal (C.R.)	66	65,0	O						
0-434 Vitor	67	59,0	Ag						
0-470 Zúñiga	68	42,0	M						
	69	120,0	O						
	70	62,0	O						
N		93,0							
M		90,6							
X ₂		76,9	61,6	65,4	71,8	42,2	74,6	68,8	61,7
X ₅		90,4	66,3	70,7	82,6	63,9	92,0	87,9	79,4
X ₁₀		101	79	84	94,7	78,2	101,0	97,9	89,1
X ₂₀		121	101	109	121,6	96,2	131,3	127,3	118,5
X ₃₀		130	110	120	132,6	105,9	143,0	139,0	130,2
X ₅₀		144	121	132	145,6	116,5	157,2	153,2	144,0
		145	120	131	146,4	116,8	158,9	154,0	145,2

Para diferentes T (2, 10, 29, 30, 50 y 100 años)

Valores de cantidad de lluvia máxima media esperada (mm) en 24 h para diferentes T

Figura n3. Cantidad de lluvia máxima media esperada en 24 h



1.2.- Cantidad de lluvia (mm) en diferentes intervalos de tiempo t (de 10' a 72 horas)

Para intervalos de lluvia de 10', 20', 30' y 1, 2, 6, 12, 24, 36 y 72 horas

AÑO	10'	20'	30'	1h	2h	6h	12h	24h	36h	48h	60h	72h								
1941	35,6	5	15,6	5	14,0	5	52,8	5	42,8	5	35,0	5	25,0	5	15,0	5	9,0	5		
42	47,8	5	47,8	5	47,7	5	47,7	5	47,7	5	30,5	5	24,0	5	16,5	5	13,0	5	8,5	5
43	69,0	O	66,9	O	55,5	F	34,0	O	38,0	O	24,5	F	15,0	F	12,0	D	9,5	D	7,5	M
44	63,6	5	55,0	5	53,4	5	53,4	5	53,4	5	31,7	5	23,2	5	25,0	5	19,0	5	16,0	5
45	39,0	Ag	39,0	Ag	36,4	Ag	32,4	Ag	32,1	Ag	10,0	Ag	40,0	Ag	26,0	Ag	18,0	Ag	13,0	Ag
46	87,5	N	71,8	N	65,0	N	62,6	N	56,0	N	30,5	A	23,0	A	25,0	A	21,0	A	10,8	A
47	85,1	My	80,0	My	54,7	My	36,7	My	30,8	My	30,8	My	23,0	My	18,8	5	18,5	5	14,0	5
48	55,8	My	49,6	My	49,6	My	35,1	My	23,9	J	22,0	O	17,0	O	13,0	J	9,0	A	8,0	A
49	50,9	D	50,9	D	43,5	N	47,0	D	47,0	D	26,4	N	23,0	N	23,0	N	24,5	N	10,0	N
50	36,2	5	35,3	E	32,7	E	21,0	My	21,0	My	9,0	5	14,2	5	13,2	5	10,0	5	7,8	Ag
1951	60,0	5	58,8	5	58,2	5	40,0	O	36,5	O	34,5	5	34,5	5	33,0	5	24,5	5	16,0	5
52	83,4	O	83,4	O	82,5	O	82,1	O	76,5	O	65,4	O	40,5	O	34,0	O	29,0	O	14,0	5
53	66,7	O	66,7	O	62,1	O	59,7	O	49,0	O	39,5	J	27,5	J	25,0	J	20,0	J	12,0	J
54	47,2	A	45,8	A	40,0	M	39,8	M	39,8	M	17,0	A	11,5	A	11,0	My	10,0	My	6,0	My
55	38,1	D	38,1	D	35,8	D	35,6	D	24,5	D	15,0	N	9,5	N	6,5	D	6,0	D	5,5	O
56	66,5	O	63,5	O	53,4	O	50,4	O	50,4	O	31,5	O	35,5	O	33,0	O	20,0	O	11,5	O
57	54,4	5	54,4	5	54,4	5	54,4	5	54,4	5	54,4	5	45,5	5	20,5	5	20,0	5	13,0	O
58	56,0	O	54,0	O	49,8	O	45,5	O	25,0	O	9,0	O	32,0	Ag	11,5	Ag	9,5	Ag	7,5	Ag
59	117,9	5	117,9	5	66,4	N	60,3	N	52,2	N	47,0	5	43,0	5	40,0	5	33,5	5	18,0	5
60	42,2	A	37,4	J	35,0	O	35,0	My	21,6	Ag	13,4	O	12,5	O	11,0	O	10,0	O	5,5	O
1961	34,1	5	34,1	5	31,3	5	26,5	5	26,5	5	25,0	5	25,0	5	23,0	5	20,5	5	10,0	5
62	170,1	O	170,1	O	133,8	O	125,8	O	68,6	O	23,2	J	11,8	O	14,0	O	11,5	O	10,1	5
63	33,6	5	53,9	5	40,6	5	40,6	5	40,6	5	32,7	5	32,7	5	21,5	5	21,0	5	14,2	5
64	70,3	D	53,3	D	31,6	D	30,5	D	23,6	D	15,5	D	13,4	D	8,2	D	6,6	D	4,5	D
65	42,0	D	42,0	D	41,0	D	33,5	D	25,8	A	17,7	D	15,3	J	10,1	A	9,5	A	6,3	J
66	127,5	O	89,8	O	88,5	O	88,5	O	88,5	O	70,7	O	46,3	O	32,0	O	24,0	O	15,0	O
67	31,1	F	14,8	F	70,8	F	37,0	F	38,0	F	10,5	Ag	10,5	Ag	3,0	Ag	7,5	Ag	5,3	Ag
68	60,9	D	60,9	D	55,1	D	39,8	D	31,4	D	22,3	J	19,2	D	14,0	D	12,2	N	11,5	N
69	136,0	O	104,5	O	82,5	O	82,5	O	65,1	O	56,2	O	54,4	O	45,0	O	36,0	O	20,0	O
70	64,8	D	62,0	D	53,2	D	53,2	D	53,0	D	38,0	D	24,0	D	21,0	D	18,0	D	12,0	D
Vr	0,43		0,42		0,38		0,42		0,41		0,51		0,49		0,48		0,46		0,37	
N	30,0		30,0		30,0		30,0		30,0		30,0		30,0		30,0		30,0		30,0	
M																				
ES	32,1		29,4		22,4		22,2		18,4		9,6		12,7		9,9		7,8		4,0	
X2	69,6		62,7		55,1		48,8		42,1		29,7		24,1		19,2		15,7		10,3	
X5	102,0		91,4		77,7		71,1		60,8		46,4		36,9		29,3		23,7		14,3	
X10	123,8		110,7		92,9		84,2		73,3		57,7		45,6		36,0		29,0		17,1	
X15	136,0		121,5		101,4		94,7		80,3		64,0		50,4		39,8		32,0		18,6	
X20	144,3		129,1		107,4		100,7		85,3		68,5		53,8		42,5		34,1		19,7	
X25	151,1		134,0		111,9		105,1		89,0		71,8		56,4		44,4		35,6		20,5	

Para diferentes T (2, 10, 29, 30, 50 y 100 años)

Figura nº 4.- Valores de cantidad de lluvia máxima media esperada (mm) para diferentes t y T Estimados a partir de los datos de precipitación correspondientes a una estación meteorológica concreta

2.- Ecuaciones

2.1.- Fórmulas de altura (mm)-duración (horas)-frecuencia (años) para lluvias < 2 horas

Para periodos de retorno T de 2, 5, 10, 20, 30 y 50 años

Para diferentes estaciones

Periodo de lluvia	Puntos no alineados t en horas						Fórmula general
	2	5	10	20	30	50	
ALICANTE	34,8 · (t + 0,4) ^{0,88}	52,2 · (t + 0,35) ^{0,88}	69,9 · (t + 0,35) ^{0,88}	89,9 · (t + 0,35) ^{0,88}	109,9 · (t + 0,35) ^{0,88}	133,3 · (t + 0,4) ^{0,88}	$X_t = 37,4 \cdot (t + 0,4)^{0,88} \cdot [1 + K(T, n) \cdot 0,46]$
ALMERIA	22,3 · (t + 0,2) ^{0,88}	35,9 · (t + 0,2) ^{0,88}	44,9 · (t + 0,2) ^{0,88}	53,6 · (t + 0,2) ^{0,88}	59,4 · (t + 0,2) ^{0,88}	64,7 · (t + 0,2) ^{0,88}	$X_t = 24,2 \cdot (t + 0,2)^{0,88} \cdot [1 + K(T, n) \cdot 0,50]$
BRICKLEY	44,6 · (t + 0,45) ^{0,88}	63,3 · (t + 0,45) ^{0,88}	75,9 · (t + 0,45) ^{0,88}	87,9 · (t + 0,45) ^{0,88}	94,7 · (t + 0,45) ^{0,88}	103,4 · (t + 0,45) ^{0,88}	$X_t = 47,4 \cdot (t + 0,45)^{0,88} \cdot [1 + K(T, n) \cdot 0,29]$
BOBOSÍO	23,2 · (t + 0,25) ^{0,88}	32,5 · (t + 0,25) ^{0,88}	38,7 · (t + 0,25) ^{0,88}	44,7 · (t + 0,25) ^{0,88}	48,0 · (t + 0,25) ^{0,88}	52,4 · (t + 0,25) ^{0,88}	$X_t = 24,5 \cdot (t + 0,25)^{0,88} \cdot [1 + K(T, n) \cdot 0,26]$
MATACÁN	22,6 · (t + 0,45) ^{0,88}	33,4 · (t + 0,45) ^{0,88}	40,6 · (t + 0,45) ^{0,88}	47,4 · (t + 0,45) ^{0,88}	51,4 · (t + 0,45) ^{0,88}	56,4 · (t + 0,45) ^{0,88}	$X_t = 24,2 \cdot (t + 0,45)^{0,88} \cdot [1 + K(T, n) \cdot 0,43]$
SOBIA	20,4 · (t + 0,25) ^{0,88}	30,0 · (t + 0,25) ^{0,88}	36,5 · (t + 0,25) ^{0,88}	42,6 · (t + 0,25) ^{0,88}	46,2 · (t + 0,25) ^{0,88}	50,6 · (t + 0,25) ^{0,88}	$X_t = 21,8 \cdot (t + 0,25)^{0,88} \cdot [1 + K(T, n) \cdot 0,43]$
VALENCIA	43,4 · (t + 0,25) ^{0,88}	69,3 · (t + 0,25) ^{0,88}	86,7 · (t + 0,25) ^{0,88}	102,4 · (t + 0,25) ^{0,88}	112,9 · (t + 0,25) ^{0,88}	124,8 · (t + 0,25) ^{0,88}	$X_t = 46,7 \cdot (t + 0,25)^{0,88} \cdot [1 + K(T, n) \cdot 0,55]$
MADRID	15,3 · (t + 0,2) ^{0,88}	21,6 · (t + 0,2) ^{0,88}	25,9 · (t + 0,2) ^{0,88}	30,0 · (t + 0,2) ^{0,88}	32,4 · (t + 0,2) ^{0,88}	35,3 · (t + 0,2) ^{0,88}	$X_t = 16,2 \cdot (t + 0,2)^{0,88} \cdot [1 + K(T, n) \cdot 0,29]$
MURCIA	22,6 · (t + 0,4) ^{0,88}	33,0 · (t + 0,4) ^{0,88}	40,0 · (t + 0,4) ^{0,88}	46,7 · (t + 0,4) ^{0,88}	50,5 · (t + 0,4) ^{0,88}	55,3 · (t + 0,4) ^{0,88}	$X_t = 25,5 \cdot (t + 0,4)^{0,88} \cdot [1 + K(T, n) \cdot 0,4]$
TOLEDO	15,0 · (t + 0,1) ^{0,88}	21,3 · (t + 0,1) ^{0,88}	25,0 · (t + 0,1) ^{0,88}	29,5 · (t + 0,1) ^{0,88}	31,8 · (t + 0,1) ^{0,88}	34,7 · (t + 0,1) ^{0,88}	$X_t = 15,8 \cdot (t + 0,1)^{0,88} \cdot [1 + K(T, n) \cdot 0,26]$
ZARAGOZA	23,9 · (t + 0,4) ^{0,88}	35,1 · (t + 0,4) ^{0,88}	41,6 · (t + 0,4) ^{0,88}	49,7 · (t + 0,4) ^{0,88}	53,8 · (t + 0,4) ^{0,88}	59,0 · (t + 0,4) ^{0,88}	$X_t = 25,6 \cdot (t + 0,4)^{0,88} \cdot [1 + K(T, n) \cdot 0,43]$

Ecuación para Valencia , T=10 años $P (mm)=86,7 \cdot t(t+0,35)^{-0,83}$
 Ecuación para Madrid , T=10 años $P (mm)=25,9 \cdot t(t+0,2)^{-0,96}$

Figura nº 5.- Ecuaciones de curvas IDF para lluvias de duración (t) inferior a 2 horas y varios T



2.2.- Fórmulas de altura (mm)-duración (horas)-frecuencia (años) para lluvias de 2 a 72 horas de duración

Para periodos de retorno T de 2, 5, 10, 20, 30 y 50 años

Periodo de retorno (T años)	Puntos alineados en papel log						Fórmula general
	2	5	10	20	30	50	
ALBACETE	$12,0 \cdot t^{0,34}$	$16,9 \cdot t^{0,34}$	$20,1 \cdot t^{0,34}$	$23,3 \cdot t^{0,34}$	$25,1 \cdot t^{0,34}$	$27,4 \cdot t^{0,34}$	$X_{ij} = 12,5 \cdot t^{0,34} [1 + K(T, n) 0,36]$
ALICANTE	$21,8 \cdot t^{0,29}$	$31,7 \cdot t^{0,29}$	$38,4 \cdot t^{0,29}$	$44,7 \cdot t^{0,29}$	$48,4 \cdot t^{0,29}$	$53,0 \cdot t^{0,29}$	$X_{ij} = 23,3 \cdot t^{0,29} [1 + K(T, n) 0,36]$
ALMERIA	$16,5 \cdot t^{0,25}$	$25,4 \cdot t^{0,25}$	$31,5 \cdot t^{0,25}$	$37,3 \cdot t^{0,25}$	$40,6 \cdot t^{0,25}$	$44,8 \cdot t^{0,25}$	$X_{ij} = 17,8 \cdot t^{0,25} [1 + K(T, n) 0,50]$
BADAJOS	$17,1 \cdot t^{0,29}$	$24,9 \cdot t^{0,29}$	$30,2 \cdot t^{0,29}$	$35,2 \cdot t^{0,29}$	$38,1 \cdot t^{0,29}$	$41,7 \cdot t^{0,29}$	$X_{ij} = 18,2 \cdot t^{0,29} [1 + K(T, n) 0,42]$
BARCELONA	$26,1 \cdot t^{0,27}$	$37,6 \cdot t^{0,27}$	$45,4 \cdot t^{0,27}$	$52,8 \cdot t^{0,27}$	$57,0 \cdot t^{0,27}$	$62,3 \cdot t^{0,27}$	$X_{ij} = 27,8 \cdot t^{0,27} [1 + K(T, n) 0,41]$
CÁCERES	$14,9 \cdot t^{0,29}$	$22,7 \cdot t^{0,29}$	$28,0 \cdot t^{0,29}$	$33,0 \cdot t^{0,29}$	$35,9 \cdot t^{0,29}$	$38,5 \cdot t^{0,29}$	$X_{ij} = 16,1 \cdot t^{0,29} [1 + K(T, n) 0,48]$
IGUELDO	$18,9 \cdot t^{0,42}$	$24,9 \cdot t^{0,42}$	$28,9 \cdot t^{0,42}$	$32,8 \cdot t^{0,42}$	$35,0 \cdot t^{0,42}$	$37,8 \cdot t^{0,42}$	$X_{ij} = 19,8 \cdot t^{0,42} [1 + K(T, n) 0,30]$
LA CORUÑA	$15,1 \cdot t^{0,35}$	$19,7 \cdot t^{0,35}$	$22,8 \cdot t^{0,35}$	$25,8 \cdot t^{0,35}$	$27,5 \cdot t^{0,35}$	$29,7 \cdot t^{0,35}$	$X_{ij} = 15,8 \cdot t^{0,35} [1 + K(T, n) 0,29]$
PONFERRADA	$9,9 \cdot t^{0,39}$	$13,3 \cdot t^{0,39}$	$15,5 \cdot t^{0,39}$	$17,7 \cdot t^{0,39}$	$18,9 \cdot t^{0,39}$	$20,5 \cdot t^{0,39}$	$X_{ij} = 10,4 \cdot t^{0,39} [1 + K(T, n) 0,32]$
LOGROÑO	$12,8 \cdot t^{0,27}$	$16 \cdot t^{0,27}$	$19,7 \cdot t^{0,27}$	$22,4 \cdot t^{0,27}$	$23,9 \cdot t^{0,27}$	$25,8 \cdot t^{0,27}$	$X_{ij} = 13,5 \cdot t^{0,27} [1 + K(T, n) 0,30]$
MADRID	$15,4 \cdot t^{0,24}$	$20,1 \cdot t^{0,24}$	$23,3 \cdot t^{0,24}$	$26,3 \cdot t^{0,24}$	$28,1 \cdot t^{0,24}$	$30,2 \cdot t^{0,24}$	$X_{ij} = 16,1 \cdot t^{0,24} [1 + K(T, n) 0,29]$
MURCIA	$19,1 \cdot t^{0,29}$	$28,4 \cdot t^{0,29}$	$34,7 \cdot t^{0,29}$	$40,5 \cdot t^{0,29}$	$44,0 \cdot t^{0,29}$	$48,2 \cdot t^{0,29}$	$X_{ij} = 20,5 \cdot t^{0,29} [1 + K(T, n) 0,44]$
VIGO	$12,4 \cdot t^{0,51}$	$17,4 \cdot t^{0,51}$	$20,7 \cdot t^{0,51}$	$23,8 \cdot t^{0,51}$	$25,6 \cdot t^{0,51}$	$27,8 \cdot t^{0,51}$	$X_{ij} = 13,3 \cdot t^{0,51} [1 + K(T, n) 0,36]$
MATACÁN	$11,7 \cdot t^{0,28}$	$16,2 \cdot t^{0,28}$	$19,2 \cdot t^{0,28}$	$22,0 \cdot t^{0,28}$	$23,7 \cdot t^{0,28}$	$25,7 \cdot t^{0,28}$	$X_{ij} = 12,4 \cdot t^{0,28} [1 + K(T, n) 0,35]$
SORIA	$13,2 \cdot t^{0,31}$	$17,7 \cdot t^{0,31}$	$20,7 \cdot t^{0,31}$	$23,6 \cdot t^{0,31}$	$25,3 \cdot t^{0,31}$	$27,4 \cdot t^{0,31}$	$X_{ij} = 13,9 \cdot t^{0,31} [1 + K(T, n) 0,32]$
TORTOSA	$33,7 \cdot t^{0,27}$	$50,9 \cdot t^{0,27}$	$62,6 \cdot t^{0,27}$	$73,7 \cdot t^{0,27}$	$80,0 \cdot t^{0,27}$	$88,0 \cdot t^{0,27}$	$X_{ij} = 36,3 \cdot t^{0,27} [1 + K(T, n) 0,47]$
TOLEDO	$14,5 \cdot t^{0,23}$	$18,6 \cdot t^{0,23}$	$21,2 \cdot t^{0,23}$	$24,0 \cdot t^{0,23}$	$25,5 \cdot t^{0,23}$	$29,9 \cdot t^{0,23}$	$X_{ij} = 15,1 \cdot t^{0,23} [1 + K(T, n) 0,27]$
VALENCIA	$30,5 \cdot t^{0,26}$	$51,5 \cdot t^{0,26}$	$65,7 \cdot t^{0,26}$	$79,2 \cdot t^{0,26}$	$86,9 \cdot t^{0,26}$	$96,7 \cdot t^{0,26}$	$X_{ij} = 33,6 \cdot t^{0,26} [1 + K(T, n) 0,62]$
VALLADOLID	$11,8 \cdot t^{0,29}$	$15,7 \cdot t^{0,29}$	$18,3 \cdot t^{0,29}$	$20,8 \cdot t^{0,29}$	$22,2 \cdot t^{0,29}$	$24,0 \cdot t^{0,29}$	$X_{ij} = 12,4 \cdot t^{0,29} [1 + K(T, n) 0,31]$

Ecuación para Madrid , T=10 años $P \text{ (mm)} = 23,3t^{0,24}$
 Ecuación para Valencia , T=10 años $P \text{ (mm)} = 65,7t^{0,26}$

Figura nº 6.- Ecuaciones de curvas IDF para lluvias de duración (t) de entre 2 y 72 horas y varios T

4.5 Ecuación de Témez

Fue desarrollada para estimar la intensidad de precipitaciones de duraciones inferiores a 24 horas a partir de los registros pluviométricos de duraciones de tormenta de 24 horas. Sus rasgos principales son:

- Es utilizada por la Dirección General de Carreteras para estimar las ecorrentías superficiales en pequeñas cuencas hidrográficas
- Como dato de partida se toma únicamente la intensidad máxima esperada media de la lluvia de la zona en tormentas de 24 horas (obtenida por Gumbell)
- Es "válida" para periodos de retorno de hasta 25 años

Su formulación

:



$$\frac{I_t}{I_d} = \left(\frac{I_h}{I_d} \right)^{3,529-1,679t^{0,1}}$$

I_t = intensidad media de la precipitación de t minutos de duración

I_h = intensidad media de la precipitación de 1 hora de duración

I_d = intensidad media de la precipitación de 24 horas de duración

I_h/I_d = relación entre la intensidad horaria de la pp y una lluvia de 24 h de duración. Se puede obtener de una mapa de isóneas (Ferrer, 1993)

Témez obtuvo el mapa de isóneas con los valores de I_h/I_d (figura 7) a partir de los valores de cantidad de lluvia recogidos en intervalos de 1 y 24 horas de duración en las estaciones pluviométricas de las capitales de provincia españolas (dotadas de pluviógrafos):

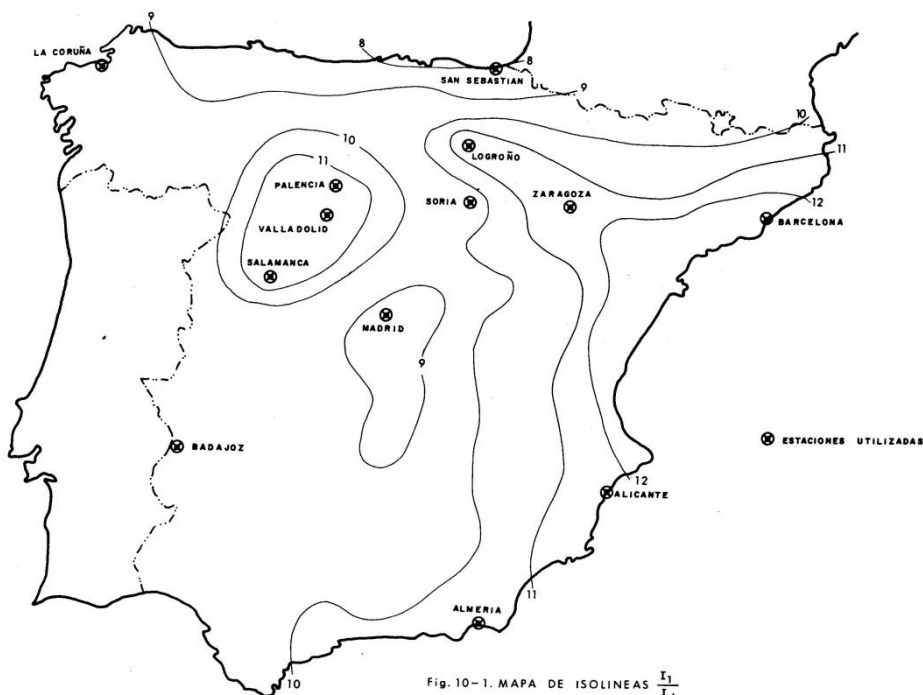


Figura nº 7.- Mapa de isóneas de los valores de I_h/I_d



5 Cierre

El conocimiento de la relación entre la intensidad de una tormenta dada, su duración y la probabilidad de recurrencia en un punto geográfico dado es un dato fundamental en la previsión de las lluvias de la zona y por lo tanto en el diseño de cualquier tipo de obra civil, estructuras de conservación de los recursos suelos y aguas o trabajo de planificación del uso del territorio.

6 Bibliografía

6.1 Libros:

- Elías Castillo F. y Ruiz Beltrán L. 1979. *Precipitaciones máximas en España*. Edit. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza, 545 pp.
- Ministerio de Fomento. 1999. *Máximas lluvias diarias en la España Peninsular*. Dirección General de Carreteras. Serie monografías, 59 pp (memoria y anejos).
- Témez, J.R. 1978. *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas torrenciales*. Ministerio de Obras Públicas - Dirección General de Carreteras. Servicio de publicaciones del MOPU, 113pp.