



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



## ANEJO N°4. ESTUDIO HIDROLÓGICO.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

CURSO 2017-2018

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

GRADO EN INGENIERÍA DE OBRAS PÚBLICAS

TUTOR: JOSÉ FERRER POLO

CO-TUTOR: DANIEL AGUADO GARCÍA

AUTOR: ABRAHAM PASTOR SOLAZ

## Índice

1. Introducción	2
2. Método Regional Adoptado	2
3. Estimación Regional de Cuantiles	2
4. Distribución Espacial de Valor Medio	4
5. Aplicación de un Sistema de Información Geográfica	5
6. Estimación de Cuantiles	6
7. Resultados	8



## 1. Introducción.

En el siguiente Anejo se presentan los cálculos realizados para la obtención de la lluvia de diseño para el área de estudio, correspondiente a los períodos de retorno ( $T=2$  y  $T=25$ ).

El método seleccionado para este proyecto, es el Método Regional Adoptado.

## 2. Método Regional Adoptado.

El método regional adoptado, denominado tradicionalmente “índice de avenida”, asume que la variable  $Y$  resultante de dividir en cada estación los valores máximos anuales por su media sigue idéntica distribución de frecuencia en toda la región considerada.

$$Y = P / \bar{P}$$

Los parámetros de dicha distribución, una vez seleccionado el modelo de ley, son obtenidos a partir del conjunto de datos de las estaciones de la región, mientras que el valor local de la media  $\bar{P}$  se estima exclusivamente a partir de los datos de cada una de las estaciones.

La estimación de los cuantiles locales  $X_t$  ( $P_t$  en el “ Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular “ de 1997) en un determinado punto se reduce a reescalar los cuantiles regionales  $Y_t$  (denominados Factores de Amplificación  $K_t$  en la

referida publicación) con la media local  $\bar{P}$  según la siguiente expresión:

$$X_t = Y_t * \bar{P}$$

## 3. Estimación Regional de Cuantiles.

La primera etapa de la estimación regional de cuantiles consistió en agrupar las 1545 estaciones “básicas”, con 30 o más años de registro, en 26 regiones geográficas. Las regiones fueron definidas tratando de agrupar zonas del territorio con características meteorológicas comunes y analizando de forma complementaria los  $C_v$  (coeficientes de variación) muestrales. Posteriormente la homogeneidad de las regiones fue contrastada mediante un test estadístico de  $X^2$ .

La segunda etapa consistió en la estimación regional de los parámetros y cuantiles de los siguientes 4 modelos de función de distribución. Cuya formulación puede observarse en la Tabla 1.

- Valores Extremos Generalizados (GEV).
- Log-Pearson III (LP3).
- Valores Extremos con dos Componentes (TCEV).
- SQ RTE-ET max.

Distribución	$f(x)$ ó $F(x)$	Parámetros
GEV	$F(x) = \exp \left\{ - \left[ 1 - k \left( \frac{x-u}{\alpha} \right) \right]^{1/k} \right\}$	$u, \alpha, k$
LP3	$\frac{\log_{10}}{\Gamma} \exp \left\{ \frac{\log_{10}}{\Gamma} \right\}$	$u, \alpha, k$
TCEV	$F(x) = \exp (-\alpha_1 e^{-x\theta_1} - \alpha_2 e^{-x\theta_2})$	$\alpha_j, \theta_j, j = 1, 2$
SQRT-ET max	$F(x) = \exp [-k (1 + \sqrt{\alpha x}) \exp(-\sqrt{\alpha x})]$	$\alpha, k$

Tabla 1. Funciones de distribución seleccionadas. "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular" Ministerio de Fomento y Cedex.

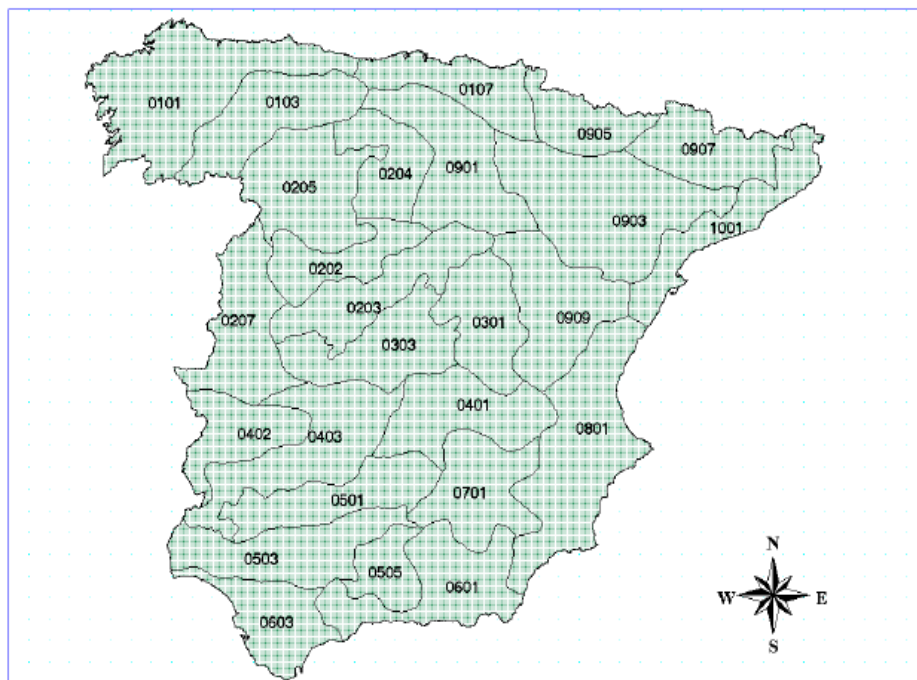


Ilustración 1. División de la España Peninsular en 26 regiones geográficas con características meteorológicas comunes.

Un análisis de los cuantiles regionales  $Y_t$  estimados, con los cuatro modelos de ley seleccionados en las 26 zonas adoptadas, muestran diferencias prácticamente inexistentes para bajos y medios periodos de retorno (2, 5, 10 y 25 años), y sólo cuando los periodos de retorno son mayores, existen ligeras diferencias siempre interiores al 8% para 500 años.

Este hecho, reduce en cierto modo la transcendencia del proceso de selección del modelo de ley, siendo la ley SQRT-ET max la finalmente seleccionada por las siguientes razones:

Es el único de los modelos analizados de la ley de distribución, que ha sido propuesto específicamente para la modelación estadística de máximas lluvias diarias.

Está formulada con sólo dos parámetros lo que conlleva una completa definición de los cuantiles en función exclusivamente del coeficiente de variación con lo que se consigue una mayor facilidad de presentación de resultados.

Por la propia definición de la ley proporciona resultados más conservadores que la tradicional ley de Gumbel.

Conduce a valores más conservadores que los otros modelos de ley analizados para las 17 regiones con cuantiles menores, mostrando unos resultados similares en el resto de las regiones.



Demuestra una buena capacidad para producir las propias estadísticas observadas en los datos, lo que se comprobó mediante técnicas de simulación de Montecarlo.

El enfoque tradicional de los métodos regionales permite estimar el valor de los cuantiles regionales en un punto simplemente asignándole los valores obtenidos en la región en la que dicho punto está incluidos, lo que presenta como principales inconvenientes tanto la incertidumbre existente respecto a los límites considerados en las regiones, como la indeseable discontinuidad que presentan los resultados en dichos límites. Para resolver estos problemas, se optó por presentar los resultados en forma “suavizada” trazando un mapa nacional de Isolíneas del coeficiente de variación ( $C_v$ ) que se muestra en la figura 2.

El  $C_v$  seleccionado como parámetro básico debido a su fácil comprensión al estar directamente relacionado con el valor de los cuantiles debido al modelo de ley y al método de estimación de parámetros adoptados.

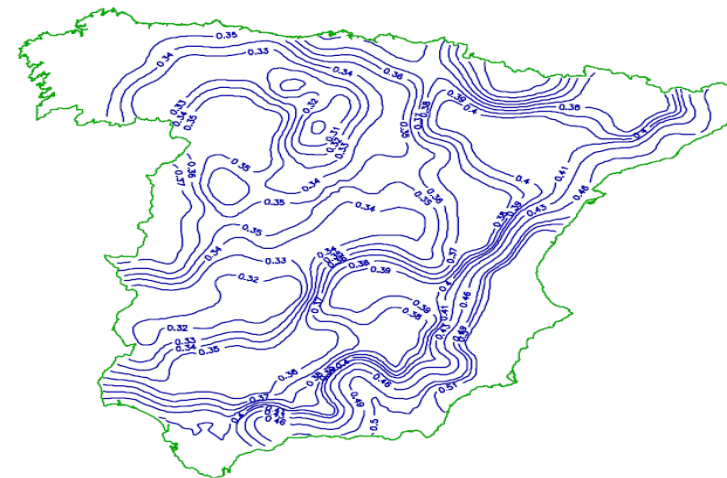


Ilustración 2. Isolíneas del valor regional del coeficiente de variación  $C_v$ .

#### 4. Distribución Espacial del Valor Medio como Factor de Escala Local.

La estimación de cutiles en un determinado punto es el resultado de aplicar la expresión  $X_t = Y_t * \bar{P}$ , en la que la media  $\bar{P}$  de las series analizadas actúa como factor local.

El análisis de la distribución espacial de  $\bar{P}$  se abordó mediante interpolación espacial con técnicas de krigado a partir de los valores medios de las series de 2231 estaciones, que incluyen las 1545 “básicas”, ya empleadas en la modelación estadística y otras 686 “complementarias” con series de más de 20 años.



La técnica del kriging presenta como ventaja fundamental, frente a otros métodos de interpolación, la posibilidad de aprovechar directamente la información sobre correlación espacial existen en los propios datos, que queda reflejada en el denominado variograma muestral.

Para la aplicación del kriging se consideran 15 zonas geográficas con similar comportamiento de la variable analizada, caracterizado fundamentalmente por unas variaciones “bruscas” en zonas montañosas y “suaves” en el resto. En dichas zonas se calcularon los variogramas muestrales y se ajustaron variogramas teóricos. El proceso de obtención de los variogramas teóricos y de resolución de las ecuaciones básicas del kriging se abordó mediante el software GEO-EAS, realizando una estimación de la variable sobre una malla cuadrada de 2500m de lado.

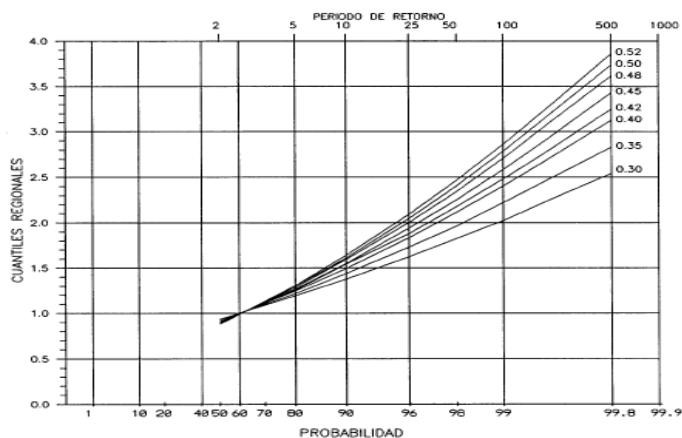


Ilustración 3. Relación entre los cuantiles regionales  $Y_T$ , el período de retorno en años  $T$ , la probabilidad % de no superar el cuantil en un año, y el coeficiente de variación  $C_v$ .

## 5. Aplicación de un Sistema de Información Geográfica.

Un sistema de información geográfico SIG es una base de datos georeferenciada que permite realizar una serie de operaciones con los datos captados. Estas operaciones son de almacenamiento, catalogación tratamiento o procesado, de análisis y representación gráfica de la información.

En un sistema de información geográfico, la representación de los datos se puede realizar utilizando dos sistemas:

- Representación vectorial: una característica queda delimitada gráficamente por la línea que une los puntos que definen su contorno. Cada punto de ese contorno está unívocamente definido por un par de números que indican las coordenadas X e Y en sistemas de representación geodésica universales o en el sistema particular de referencia del usuario.
- Representación matricial o raster: en esta representación el área de estudio es subdividida en una fina malla de celdas (la precisión que se obtendrá en las imágenes será función de la resolución que se de a estas celdas) a las cuales se asignan los atributos de la superficie de terreno encerrada por la celda.

La referida en último lugar es la más recomendable para el estudio de datos que varían de forma continua en el espacio, como es el caso de la precipitación, permitiendo un mayor poder analítico aprovechando la potencialidad de las operaciones matriciales.



Los SIG matriciales organizan la información existente en capas unitarias, cada una de las cuales contiene los datos de un determinado tipo en todas las celdas del mallado considerado. En el presente estudio, las capas de información de interés corresponden a los valores numéricos de las siguientes características pluviométricas: valor medio  $P$ , coeficiente de variación  $C_v$ , cuantiles regionales  $Y_t$  y cuantiles locales  $X_t$ .

Este conjunto de información espacial debe geo-referenciarse, es decir localizar se respecto a un sistema conocido de coordenadas. La geo-referenciación adoptada, que cubre la totalidad del territorio peninsular, ha consistido en:

- Sistema de referencia: coordenadas UTM referidas al huso 30
- Unidades de referencia: metros
- Coordenadas de los bordes inferiores ( $y_{min}$ ), superior ( $y_{max}$ ), izquierdo ( $x_{min}$ ) y derecho ( $x_{max}$ ) de la malla considerada.

Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular 10

$x_{min} = -116250$   $x_{max} = 1161250$

$y_{min} = 3893750$   $y_{max} = 4971250$

El anterior sistema de referencia, junto con la resolución espacial adoptada de 2500 m x 2500 m, define una matriz de 511 columnas y 431 filas y permite situar geográficamente el valor numérico asignado a cada celda.

Las capas de información pluviométrica obtenidas han sido las siguientes:

a) Valor medio  $\bar{P}$

La metodología para el análisis espacial de la variable  $P$  ha conducido a su estimación en los puntos de un mallado coincidente con el adoptado y que queda guardado en el archivo CALPM.DIR que acompaña este libro.

b) Coeficiente de variación  $C_v$

El mapa de Isolíneas de  $C_v$  fue obtenido mediante una interpolación espacial en una malla por el método del inverso de la distancia al cuadrado. Los datos empleados para la interpolación fueron las 1545 estaciones “básicas” a las que se asigna el  $C_v$  regional correspondiente.

Este mismo proceso, pero sobre una malla idéntica a la adoptada en  $P$ , ha permitido la obtención de la capa de información del  $C_v$ . Este campo se suministra en el archivo CALCV.DIR que acompaña esta publicación.





## 6. Estimación de Cuantiles para Distintos Periodos de Retorno, mediante el uso de Mapas de Representación del Coeficiente de variación $C_v$ y de Valor Medio $\bar{P}$ de la Máxima Precipitación Diaria Anual.

El proceso operativo de obtención de los cuantiles para distintos periodos de retorno a partir de estos mapas es el siguiente:

- 1) Localización en los planos del punto geográfico deseado.
- 2) Estimación mediante las Isolíneas representadas del coeficiente de variación  $C_v$  y del valor medio  $P$  de la máxima precipitación diaria anual.
- 3) Para el periodo de retorno deseado  $T$  y el valor de  $C_v$ , obtención del cuantil regional  $Y_t$  (también denominado “Factor de Amplificación  $K_T$ ” en el “Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular” de 1997), mediante la figura 3.3 o el uso de la tabla 7.1.
- 4) Realizar el producto del cuantil regional  $Y_t$  por el valor medio  $\bar{P}$

obteniéndose  $X_t$ , es decir, el cuantil local buscado (también denominado  $PT$  en el “Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular” de 1997).

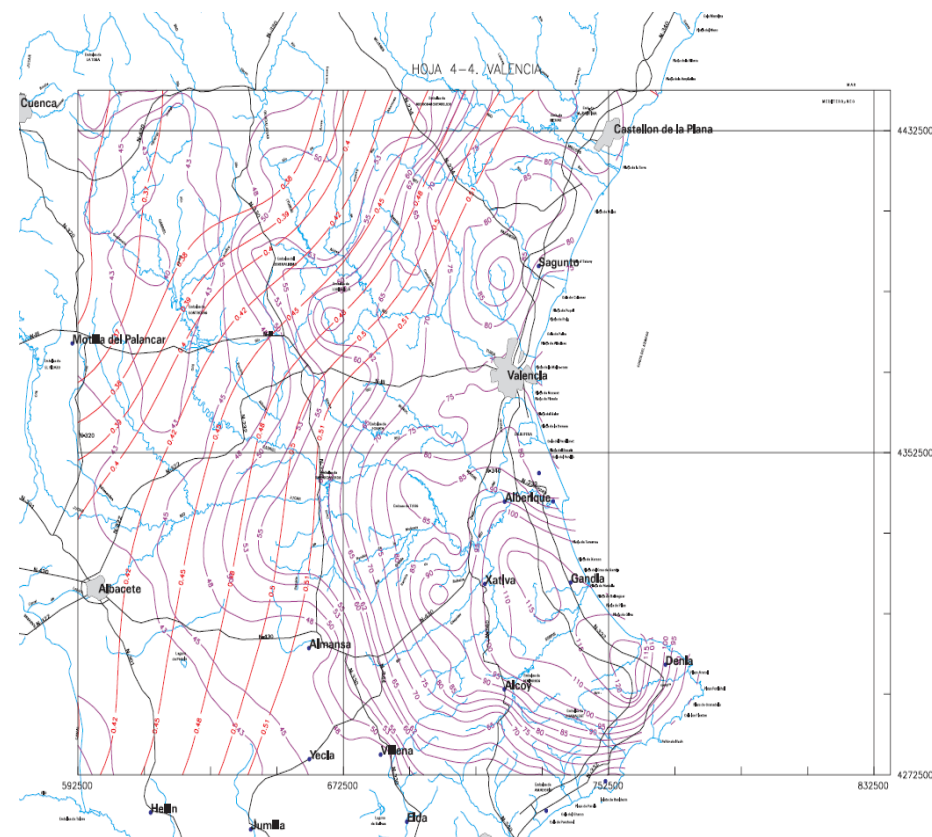


Ilustración 4. Mapa Valencia. Isolíneas. Punto de estudio.



## 7. Resultados.

El objetivo es obtener la precipitación diaria máxima para la zona de estudio, Utiel (Valencia), para un período de retorno de  $T=2$  y  $T=25$ .

Dadas las siguientes coordenadas UTM uso 30:

X: 653880.15 m

Y: 4382288.66 m

$C_v$	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS (T)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
0.30	0.935	1.194	1.377	1.625	1.823	2.022	2.251	2.541
0.31	0.932	1.198	1.385	1.640	1.854	2.068	2.296	2.602
0.32	0.929	1.202	1.400	1.671	1.884	2.098	2.342	2.663
0.33	0.927	1.209	1.415	1.686	1.915	2.144	2.388	2.724
0.34	0.924	1.213	1.423	1.717	1.930	2.174	2.434	2.785
0.35	0.921	1.217	1.438	1.732	1.961	2.220	2.480	2.831
0.36	0.919	1.225	1.446	1.747	1.991	2.251	2.525	2.892
0.37	0.917	1.232	1.461	1.778	2.022	2.281	2.571	2.953
0.38	0.914	1.240	1.469	1.793	2.052	2.327	2.617	3.014
0.39	0.912	1.243	1.484	1.808	2.083	2.357	2.663	3.067
0.40	0.909	1.247	1.492	1.839	2.113	2.403	2.708	3.128
0.41	0.906	1.255	1.507	1.854	2.144	2.434	2.754	3.189
0.42	0.904	1.259	1.514	1.884	2.174	2.480	2.800	3.250
0.43	0.901	1.263	1.534	1.900	2.205	2.510	2.846	3.311
0.44	0.898	1.270	1.541	1.915	2.220	2.556	2.892	3.372
0.45	0.896	1.274	1.549	1.945	2.251	2.586	2.937	3.433
0.46	0.894	1.278	1.564	1.961	2.281	2.632	2.983	3.494
0.47	0.892	1.286	1.579	1.991	2.312	2.663	3.044	3.555
0.48	0.890	1.289	1.595	2.007	2.342	2.708	3.098	3.616
0.49	0.887	1.293	1.603	2.022	2.373	2.739	3.128	3.677
0.50	0.885	1.297	1.610	2.052	2.403	2.785	3.189	3.738
0.51	0.883	1.301	1.625	2.068	2.434	2.815	3.220	3.799
0.52	0.881	1.308	1.640	2.098	2.464	2.861	3.281	3.860

Ilustración 5. Factores de Amplificación Kt.



Ilustración 6. Localización zona de estudio.



Se obtiene según la Figura 4, correspondiente al Mapa de Valencia:

- Valor medio de la máxima precipitación diaria anual.

$$\bar{P} = 53 \text{ mm/día.}$$

-Coeficiente de variación.

$$Cv = 0.48$$

Seguidamente, con la ayuda de la Figura 5, obtenemos el cuantil  $Y_t$  "Factor de ampliación".

$Y_t$	
$T = 25$	$T = 2$
2.007	0.890

Junto con la ecuación del producto del cuantil regional  $Y_t$  por el valor medio  $\bar{P}$ , se obtiene el cuantil local, para los distintos periodos de retorno.

Periodo de Retorno	25 años	2 años
Valor medio $\bar{P}$	53 mm/día	53mm/día
Coef. de variación $Cv$	0.48	0.48
Cuantil Regional $Y_t$	2.007	0.89
Cuantil de Precipitación	107 mm/día	48 mm/día

## 7.1 Hietogramas de Diseño.

La intensidad de precipitación  $I$  ( $T$ ,  $t$ ) correspondiente a un período de retorno  $T$ , y a una duración del aguacero  $t$ , a emplear en la estimación de caudales por el método racional, se obtendrá por medio de la siguiente fórmula:

$$I_t = I_d \left( \frac{I_1}{I_d} \right)^{3,5287 - 2,5287 \cdot t^{0,1}}$$

Dónde:

$I_t$  = Intensidad media en el periodo  $t$ .

$I_d$  = Intensidad media diaria ( $P_d/24$ ).

$I_1$  = Intensidad en la hora más lluviosa de ese día. En la formula introducimos el valor  $I_1/I_d$  leído directamente del mapa.

$t$  = Periodo de tiempo (horas) para el que se quiere evaluar la intensidad.

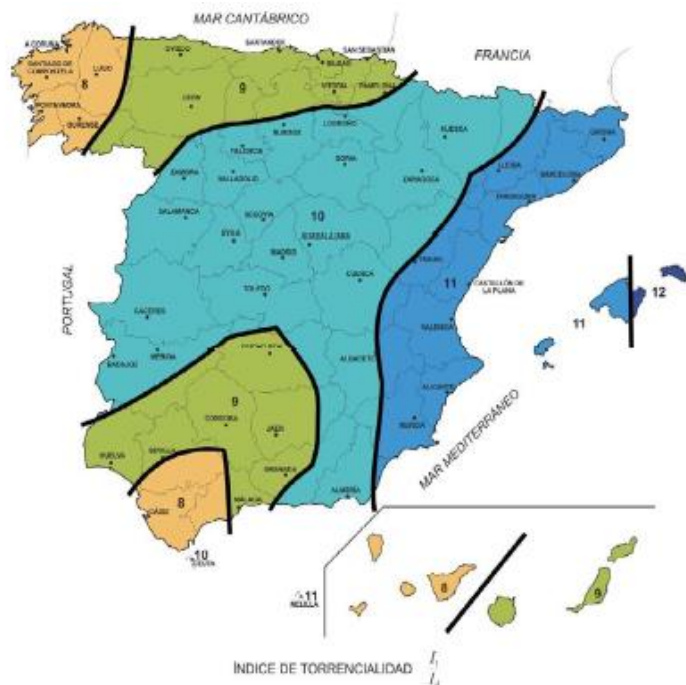


Ilustración 7. Factor de Intensidad.

En el caso de estudio adoptamos el factor de intensidad igual a 11,5.

PERÍODO DE RETORNO T=25			
DURACIÓN (MIN)	INTENSIDAD (MM/H)	LLUVIA ACUMULADA (MM)	INCREMENTO LLUVIA (MM)
10	140.80	23.51	23.51
20	97.19	32.46	8.95
30	77.30	38.73	29.78
40	65.33	43.64	13.86
50	57.15	47.72	33.85
60	51.11	51.21	17.36
70	46.44	54.28	36.92
80	42.68	57.02	20.10
90	39.58	59.49	39.40
100	36.98	61.75	22.35
110	34.74	63.83	41.47
120	32.81	65.75	24.28



PERÍODO DE RETORNO T=2			
DURACIÓN (MIN)	INTENSIDAD (MM/H)	LLUVIA ACUMULADA (MM)	INCREMENTO LLUVIA (MM)
10	63.28	10.57	10.57
20	43.68	14.59	4.02
30	34.74	17.41	13.38
40	29.36	19.61	6.23
50	25.68	21.45	15.22
60	22.97	23.02	7.80
70	20.87	24.40	16.59
80	19.18	25.63	9.03
90	17.79	26.74	17.71
100	16.62	27.75	10.05
110	15.62	28.69	18.64
120	14.74	29.55	10.91

Para obtener los hietogramas de diseño correspondientes a los períodos de retorno T= 25 y T=2, se ha utilizado el programa Bloques, desarrollado por el Instituto de Investigación de Dinámica Fluvial e Ingeniería Hidrológica, también permite obtener hietogramas para HEC- HMS y SWMM mediante el método de los bloques alternados. A partir de los siguientes datos:

- Precipitación (Pd).
- Duración de lluvia (D).
- Intervalos de tiempo del hietograma.
- Factor Regional, coeficiente que caracteriza la intensidad de precipitación de la zona de la que se desea obtener el hietograma, este factor se obtiene del mapa de isolineas.

T=25 años

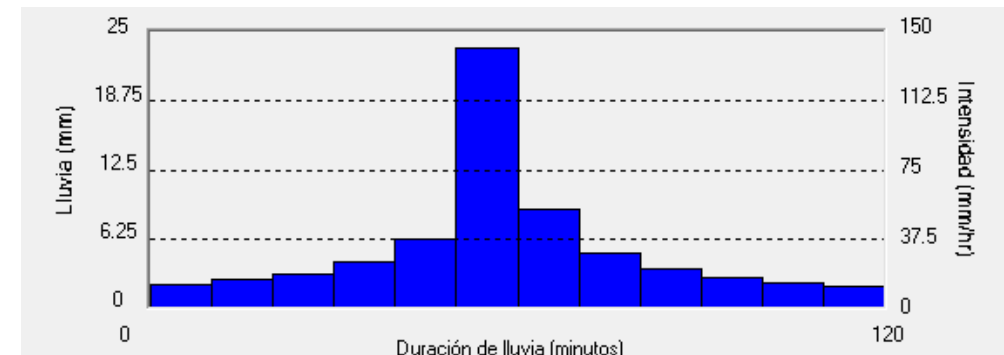


Ilustración 8. Hietograma de diseño T=25 años



T=2 años

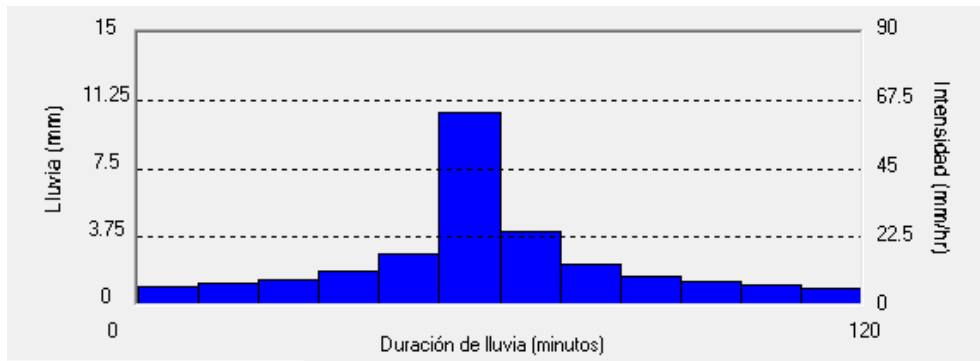


Ilustración 9. Hietograma de diseño T=2 años

## 7.2 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración en un punto de una cuenca es el tiempo empleado por la lluvia caída en el lugar de la cuenca más alejado de dicho punto para llegar hasta él. Debe puntualizarse que “el lugar más alejado” se refiere a un punto de vista temporal: el lugar desde el que más tarde el agua caída en llegar al punto de concentración considerado.

La fórmula a aplicar que se propone es la siguiente

$$TC = TE + TR$$

El tiempo de esorrentía (TE) es el que tarda la lluvia más alejada en llegar alcauce o red de alcantarillado. Depende de la distancia a

recorrer por la lluvia, y de la pendiente y grado de impermeabilidad del terreno.

El tiempo de recorrido (TR) Es el tiempo que tarda el agua que discurre por un cauce, o por la red de alcantarillado, en alcanzar el punto de vertido. Depende de las condiciones hidráulicas del cauce o de los colectores. Si en el momento de evaluarlo no se conocen la totalidad de estas condiciones, se puede fijarlas de antemano de forma aproximada.

En cualquier caso, no resulta recomendable utilizar tiempos de recorrido menores de 10 minutos, puesto que esto supondría aumentar excesivamente las intensidades de cálculo para lluvias con una precipitación total muy escasa. En este tipo de precipitaciones, el efecto laminador de la propia superficie sobre la que cae la lluvia produce una importante reducción del pico de caudal. Por lo tanto, en el cálculo se adopta una duración mínima de la tormenta de 15 minutos.

$$Tc=15min.$$





### 7.3 Sub-Cuencas

Sub-Cuenca	Área (Ha)	Anchura	Porcentaje Imp.	Pendiente %
1	1.28	117.10	75.00	1.60
2	1.13	123.83	75.00	2.58
3	1.02	122.20	75.00	3.04
4	0.72	72.25	75.00	2.07
5	0.69	85.61	75.00	5.69
6	1.10	123.65	75.00	2.10
7	0.76	86.16	75.00	2.20
8	0.70	78.07	75.00	2.71
9	0.58	79.66	75.00	5.71
10	1.26	115.65	75.00	2.57
11	0.81	97.95	75.00	0.35
12	0.40	97.39	75.00	0.64
13	0.42	49.34	75.00	1.52
14	0.21	52.89	75.00	2.78
15	0.64	89.00	75.00	3.82
16	0.50	86.55	75.00	7.32
17	0.61	80.38	75.00	0.42
18	0.48	85.39	75.00	1.80
19	1.10	98.65	75.00	1.85
20	0.88	105.04	75.00	2.20
21	0.41	104.17	75.00	0.42

22	0.67	91.72	75.00	2.27
23	0.63	95.37	75.00	6.20
24	1.00	103.14	75.00	6.79
25	0.98	110.85	75.00	2.80
26	0.48	116.22	75.00	4.35
27	0.80	110.05	75.00	4.91
28	0.70	101.68	75.00	2.66
29	1.14	95.74	75.00	3.16
30	0.77	102.38	75.00	1.78
31	0.52	105.13	75.00	2.06
32	0.90	107.75	75.00	4.41
33	0.85	124.28	75.00	4.77
34	1.56	125.56	75.00	5.58
35	1.00	128.17	75.00	1.43
36	0.48	131.25	75.00	2.20
37	1.04	126.50	75.00	1.23
38	1.13	125.51	75.00	2.86
39	0.85	65.92	75.00	6.20
40	0.62	79.54	75.00	5.37
41	1.15	100.10	75.00	8.14
42	5.34	570.20	75.00	2.14
43	4.66	322.83	75.00	15.03
44	2.77	136.84	75.00	13.10
45	9.97	150.00	50.00	4.48
46	10.00	128.00	50.00	0.47
47	12.00	190.00	50.00	1.20