

# **ANEJO N°6:**

## **ESTUDIO HIDROLÓGICO**

---

Curso: 2015/2016

Universidad Politécnica de Valencia

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos

Grado en Ingeniería de Obras Públicas, Especialidad Hidrología

Tutor: José Ferrer Polo

Cotutor: Daniel Aguado García

Autor: Freddy Vásquez Vásquez



## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	4
2. CALCULO HIDROLÓGICO .....	4
3. ESTIMACIÓN REGIONAL DE CUANTILES .....	4
4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL VALOR MEDIO COMO FACTOR DE ESCALA LOCAL.....	6
5. APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA .....	7
6. OTRO MÉTODO CONSISTE EN USAR LOS PLANOS Y TABLAS SIGUIENDO EL SIGUIENTE PROCEDIMIENTO:.....	7
7. HIETOGRAMA DE DISEÑO .....	9

## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se recogen los cálculos justificativos para la obtención de la lluvia de diseño del proyecto correspondientes a los distintos periodos de retorno (T=2años, T=25años) en el sector de estudio.

Para el cálculo se ha utilizado, el Método Regional Adoptado.

## 2. CALCULO HIDROLÓGICO

Para el cálculo hidrológico se ha utilizado el Método Regional Adoptado (Máximas lluvias diarias en la España Peninsular, Ministerio de Fomento).

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  $X_t$  (PT 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 KT en la referida publicación) con la media local  $\bar{p}$  según la siguiente expresión:

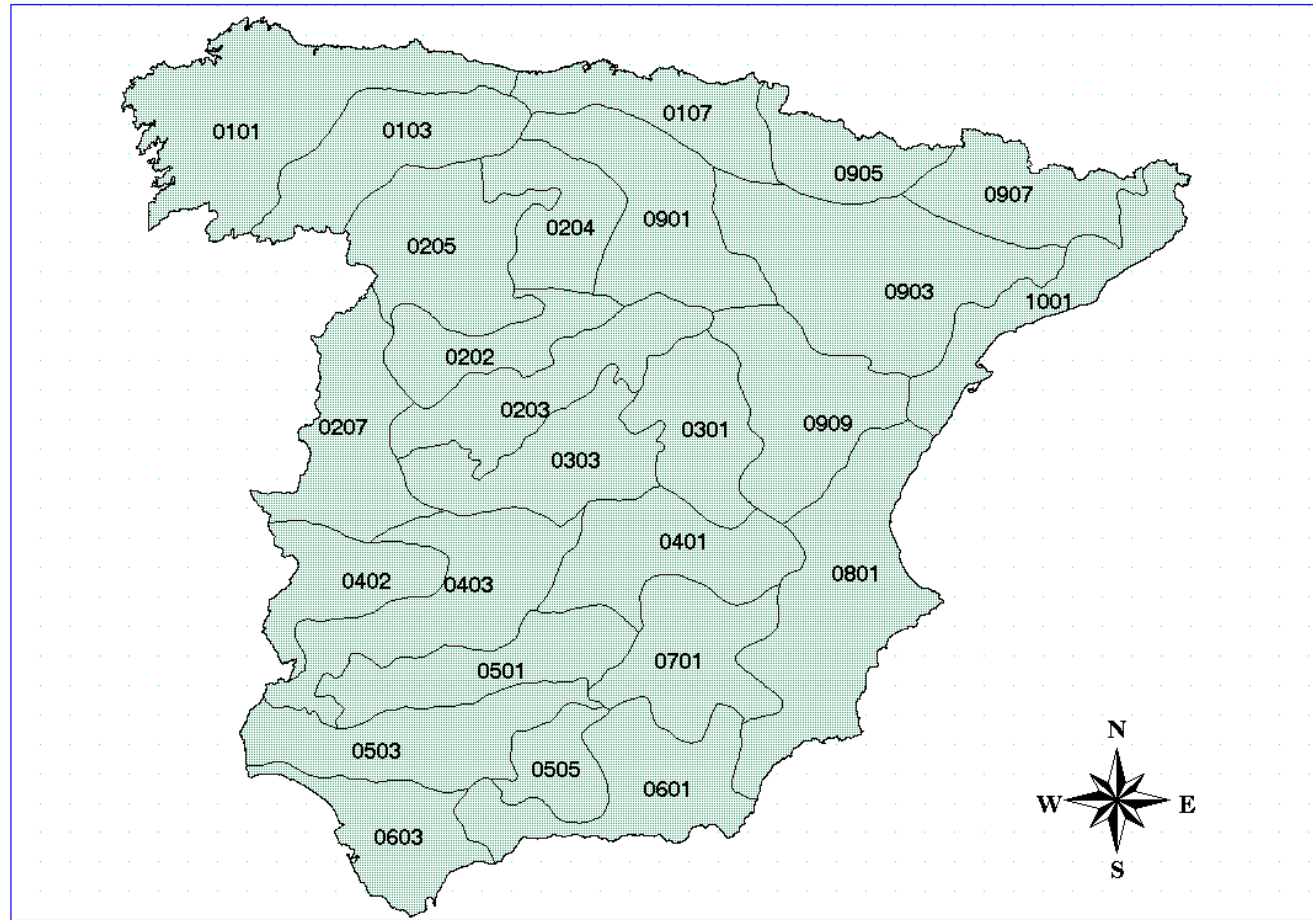
$$X_t = Y_t \cdot \bar{P}$$

## 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 (ilustración.1). Las regiones fueron definidas tratando de agrupar zonas del territorio con características meteorológicas comunes y analizando de forma complementaria los Cv (coeficientes de variación) muestrales. Posteriormente la homogeneidad de las regiones fue contrastada mediante un test estadístico de  $\chi^2$ .

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 consultarse en la tabla 1:

- a) Valores Extremos Generalizados (GEV)
- b) Log-Pearson III (LP3)
- c) Valores Extremos con dos Componentes (TCEV)
- d) SQRT-ET max



**Ilustración 1. División de la España Peninsular en 26 regiones geográficas con características meteorológicas comunes. Fuente: "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular" (Ministerio de Fomento y CEDEX).**

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 consultarse en la tabla 1:

- a) Valores Extremos Generalizados (GEV)
- b) Log-Pearson III (LP3)
- c) Valores Extremos con dos Componentes (TCEV)
- d) SQRT-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	$F(x) = \exp (-\alpha_1 e^{-\alpha_2 x} - \alpha_3 e^{-\alpha_4 x})$	$\alpha_i, \theta_i, j = 1, 2$
SQRT-ET max	$F(x) = \exp [-k (1 + \sqrt{\alpha x}) \exp (-\sqrt{\alpha x})]$	$\alpha, k$

**Tabla 1. -Funciones de distribución seleccionadas. Fuente: "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular" (Ministerio de Fomento y CEDEX).**

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 inferiores 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:

- a) 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.
- b) 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.
- c) Por la propia definición de la ley proporciona resultados más conservadores que la tradicional ley de Gumbel.
- d) 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.
- e) Demuestra una buena capacidad para reproducir las propiedades 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 incluido, 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 (Cv) que se muestra en la ilustración 2.

El Cv fue 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.

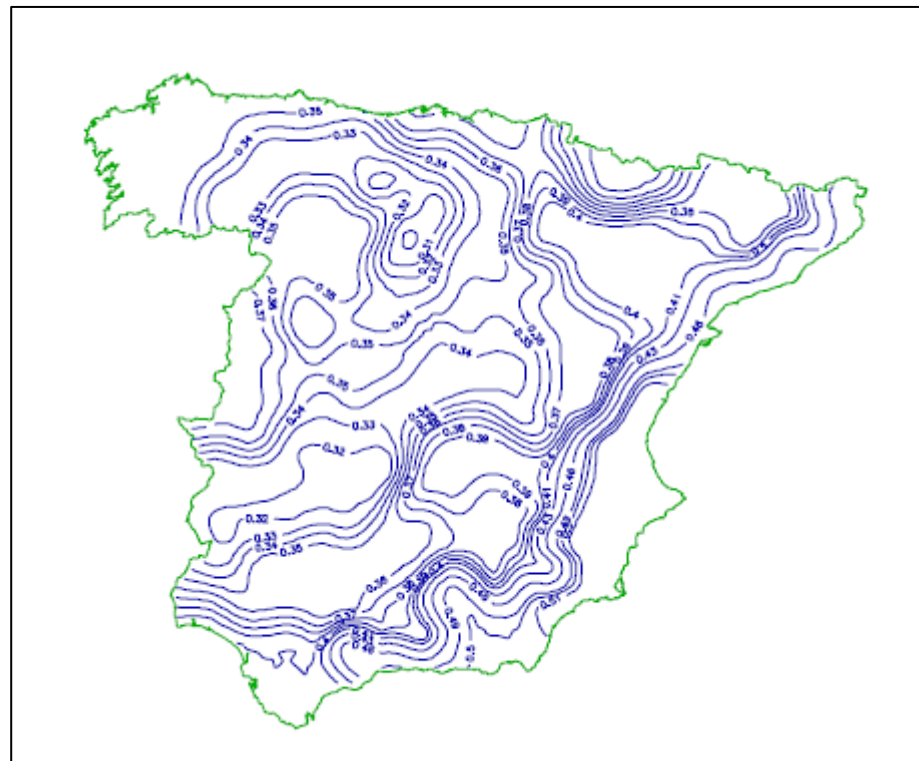


Ilustración 2. Isolíneas del valor regional del coeficiente de variación Cv. Fuente: "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular"(Ministerio de Fomento y CEDEX).

#### 4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL VALOR MEDIO COMO FACTOR DE ESCALA LOCAL

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

El análisis de la distribución espacial de  $P$  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 krigado presenta como ventaja fundamental, frente a otros métodos de interpolación (como la inversa de la distancia elevada a un exponente), la posibilidad de aprovechar directamente la información sobre correlación espacial existente en los propios datos, que queda reflejada en el denominado variograma muestral.

Para la aplicación del krigado se consideraron 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 krigado se abordó mediante el software GEO-EAS1, realizando una estimación de la variable sobre una malla cuadrada de 2500 m de lado.

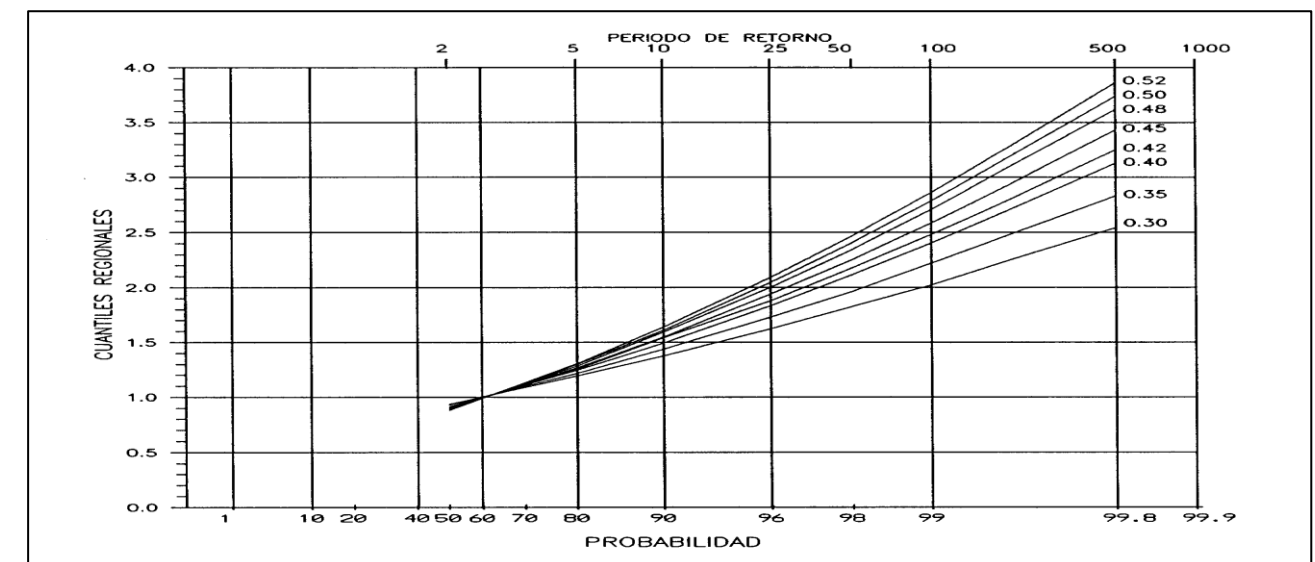


Ilustración 3. Relación entre los cuantiles regionales  $Y_t$ , el periodo de retorno en años  $T$ , la probabilidad (%) de no superar el cuantil en un año, y el coeficiente de variación Cv. Fuente: "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular"(Ministerio de Fomento y CEDEX).

## 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:

a) 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.

b) 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 localizarse 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.

$x_{min} = -116250$      $x_{max} = 1161250$   
 $y_{min} = 3893750$      $y_{max} = 4971250$

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  $P$

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 del programa.

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  $C_v$ .

## 6. OTRO MÉTODO CONSISTE EN USAR LOS PLANOS Y TABLAS SIGUIENDO EL SIGUIENTE PROCEDIMIENTO:

- 1) Localizar en los planos el punto geográfico deseado con la ayuda del plano-guía
- 2) Estimar mediante las isolíneas presentadas el coeficiente de variación  $C_v$  (líneas rojas con valores inferiores a la unidad) y el valor medio de la máxima precipitación diaria anual (líneas moradas).
- 3) Para el periodo de retorno deseado  $T$  y el valor de  $C_v$ , obtener el factor de amplificación  $K_T$  mediante el uso de la tabla  $K_T$

4) realizar el producto del factor de amplificación KT por el valor medio de la máxima precipitación diaria anual obteniendo la precipitación diaria máxima para el periodo de retorno deseado P T

Precipitación diaria máxima en Godella(Valencia) para un periodo de retorno de 2 y 25 años:

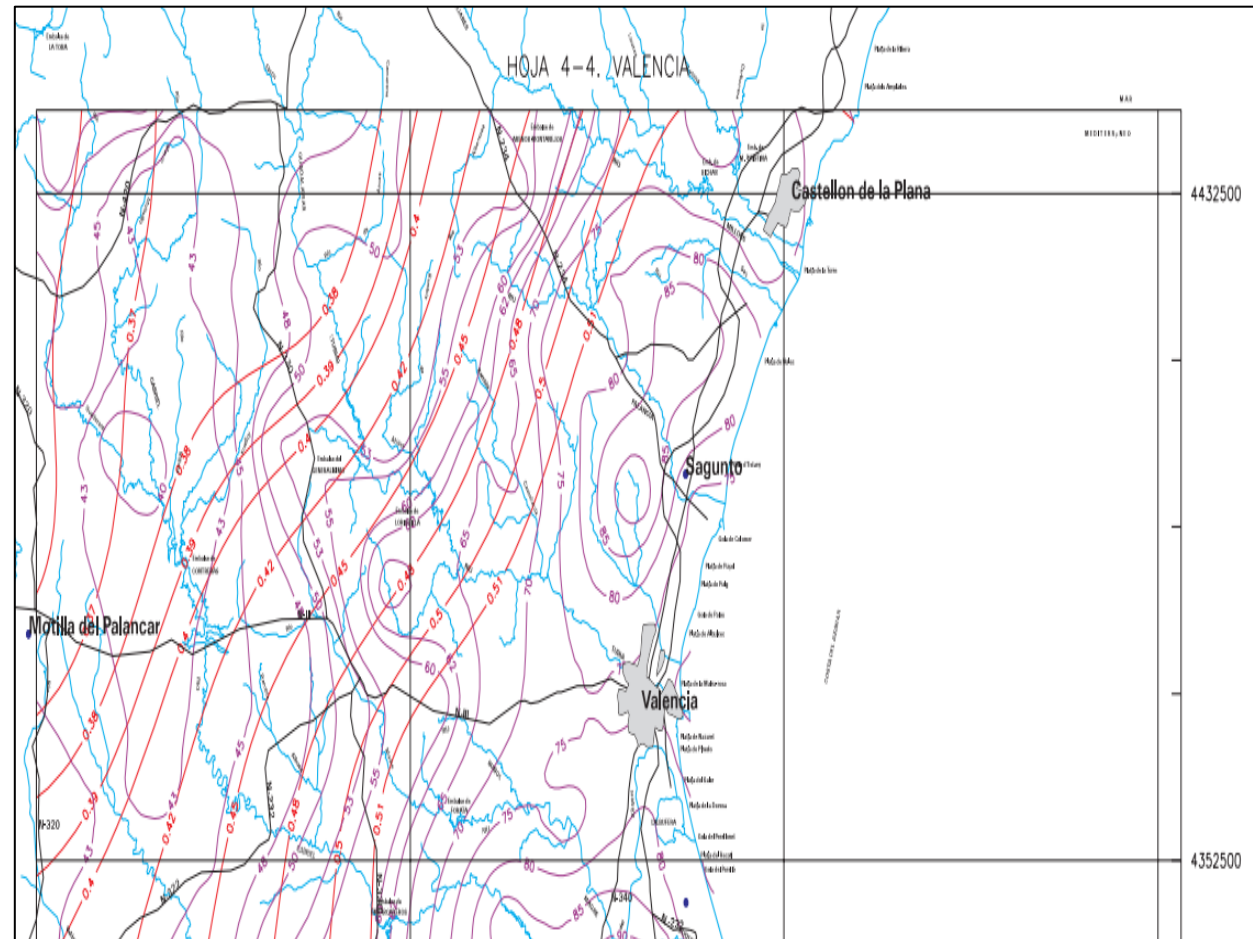


Ilustración 4. Mapa hoja 4-4 Valencia. Fuente: "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular"(Ministerio de Fomento y CEDEX).

En el mapa se obtiene P=75 (mm/día) y CV = 0,51

Para CV = 0,51 y T= 2, T=25 en la tabla (2) se obtiene  $Y_t(KT)$ .

$C_v$	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

Tabla 2.Cuantiles  $Y_t$ , de la Ley SQRT-ET max, también denominados Factores de Amplificación KT. Fuente: "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular"(Ministerio de Fomento y CEDEX).

Para un periodo de retorno T=2 años

Se obtiene KT= 0.883 multiplicando se obtiene:

$$PT = KT \cdot P = 0.883 \cdot 75 = 66 \text{ (mm/día)}$$



Para un periodo de retorno T=25 años

Se obtiene KT = 2.068 multiplicando se obtiene:

PT = KT · P = 2.068 · 75 = 155 (mm/día)

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos para el municipio de Godella (Valencia) ha sido necesario georeferenciar la zona de estudio en coordenadas UTM referidas al huso 30, siendo las siguientes como se observa en la ilustración 4:

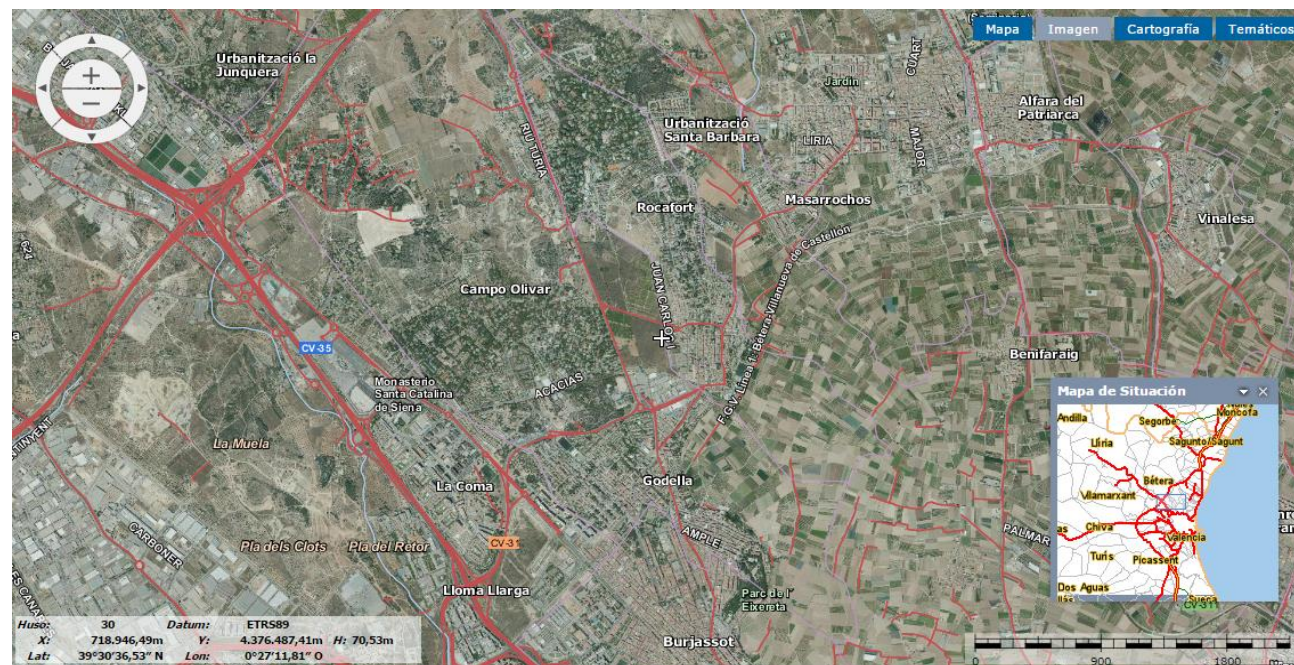


Ilustración 5. Localización zona de estudio. Fuente sistema de información geográfica nacional (signa.ign.es).

- Coordenadas UTM X: 718.946 m
- Coordenadas UTM Y: 4.376.487 m

Los resultados obtenidos para los periodos T=2 años (auto limpieza de colectores) y T=25 años (dimensionamiento de colectores), son los siguientes:

PERIODO DE RETORNO	T=2	T=25
Valor medio ( $\bar{P}$ )	75 mm/día	75 mm/día
Coef. Variación (Cv)	0.51	0.51
cuantiles regionales Yt	0.883	2.068
Cuantil de precipitación (Pt)	66 mm/día	155 mm/día

Tabla 3. Tabla de resultados para T=2 y T=25.

## 7. HIETOGRAMA DE DISEÑO

A partir de los resultados obtenidos y utilizando la fórmula de la Intensidad Media de Precipitación, expresión recogida en la normativa 5.2-IC (MOPU, 1990), con una duración de tormenta de una hora y media, discretizando los bloques en duraciones de diez minutos, obtenemos las siguientes tablas:

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

Formula Intensidad media de Precipitación.

Dónde:

$I_t$  = Intensidad media en el periodo t.

$I_d$  = Intensidad media diaria (Pd/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.

Con la ayuda del siguiente mapa de isolíneas obtenemos el valor de  $I_1/I_d$  siendo este iguala a 11.

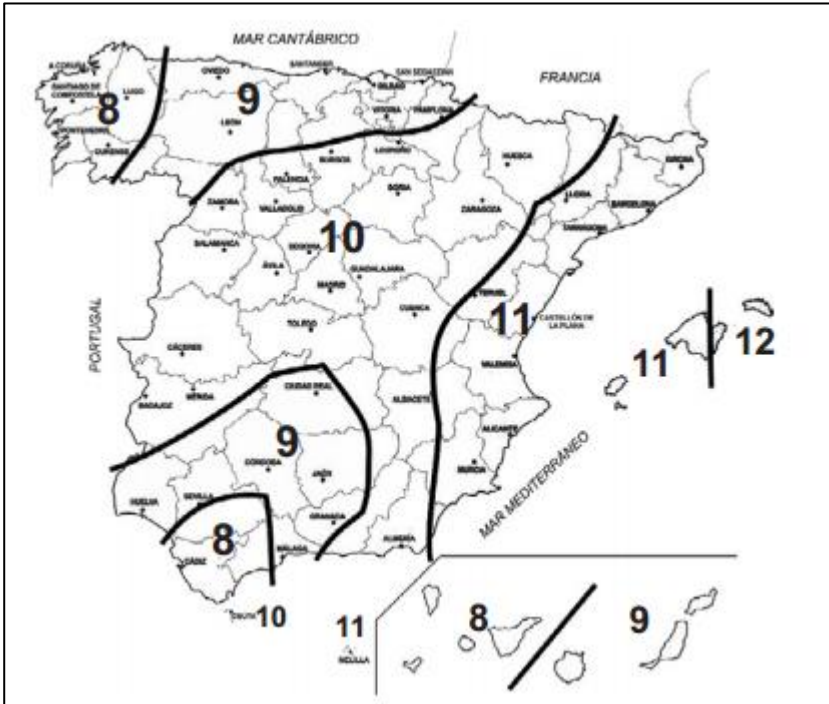


Ilustración 6. Mapa de isolíneas de la relación  $I_1/I_d$  en España. Fuente: (Ministerio de Fomento, 2016).

PERIODO DE RETORNO=2 AÑOS			
DURACIÓN (minutos)	INTENSIDAD (mm/h)	LLUVIA ACUM. (mm)	INCREM. LLUVIA (mm)
10	81.79	13.63	13.63
20	56.85	18.94	5.31
30	45.40	22.7	3.75
40	38.49	25.66	2.96
50	33.75	28.12	2.46
60	30.25	30.25	2.12
70	27.53	32.12	1.87
80	25.34	33.79	1.67
90	23.53	35.31	1.52

Tabla 4. Resultados Intensidad media de Precipitación para T=2.

PERIODO DE RETORNO=25 AÑOS			
DURACIÓN (minutos)	INTENSIDAD (mm/h)	LLUVIA ACUM. (mm)	INCREM. LLUVIA (mm)
10	192.08	32.01	32.01
20	133.5	44.50	12.49
30	106.63	53.31	8.81
40	90.40	60.26	6.96
50	79.27	66.05	5.79
60	71.04	71.04	4.99
70	64.66	75.43	4.38
80	59.52	79.36	3.93
90	55.28	82.91	3.56

Tabla 5. Resultados Intensidad media de Precipitación para T=25.

Para obtener los hietogramas correspondientes a los distintos periodos de retorno (2 y 25 años) 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, es decir de cada cuántos minutos se desea obtener el dato de precipitación, y en consecuencia el bloque 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 ilustración 6.

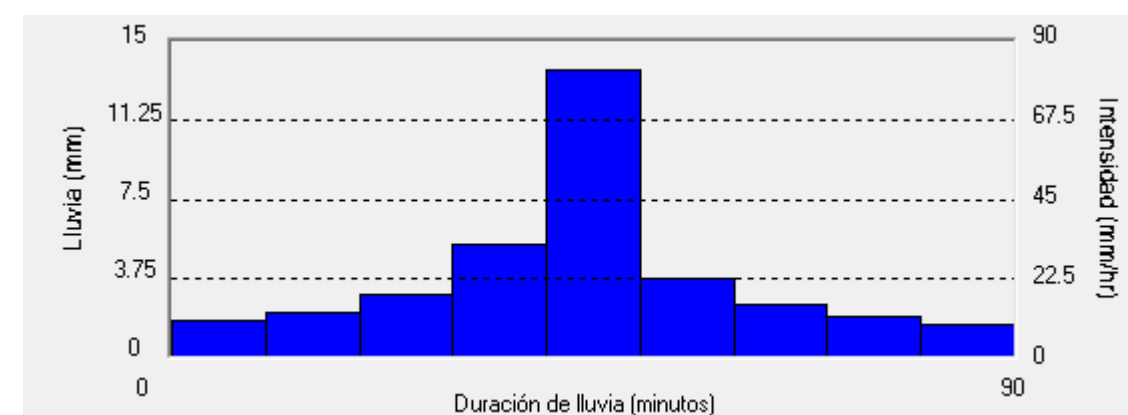


Ilustración 6. Hietograma para un periodo de retorno T=2 años. Fuente Instituto de Investigación de Dinámica Fluvial e Ingeniería Hidrológica ("flumen").

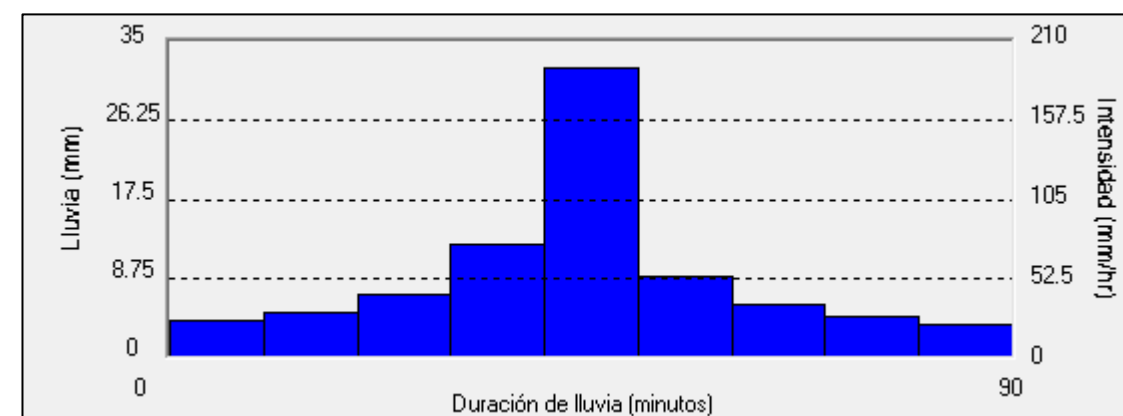


Ilustración 7. Hietograma para un periodo de retorno T=25 años. Fuente Instituto de Investigación de Dinámica Fluvial e Ingeniería Hidrológica ("flumen").