



DOCUMENTO N° 1: MEMORIA

ANEJO 09. CLIMATOLOGÍA

ÍNDICE

A09 CLIMATOLOGÍA.....	02
A09.1 CONSIDERACIONES GENERALES	02
A09.2 ESTUDIO PLUVIOMÉTRICO, ELABORACIÓN DE LAS CURVAS IDF	03
A09.2.1 CONSIDERACIONES GENERALES	03
A09.2.2 ESTUDIO PLUVIOMÉTRICO. ELABORACIÓN DE LAS CURVAS IDF	03
A09.2.2.1 INTRODUCCIÓN	03
A09.2.2.2 CÁLCULO	05



A09 CLIMATOLOGÍA

En el presente documento se van a recoger los datos necesarios referentes a la pluviometría e hidrología necesarios para diseñar el sistema de drenaje que se instalará en la nueva calle de salida rápida. Los datos de las precipitaciones han sido obtenidos de la página web de la Agencia Estatal de Meteorología.

A09.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Para el correcto diseño del sistema de drenaje de un proyecto es necesario disponer de las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) con las que se podrán obtener el resto de variables básicas que intervienen en el diseño.

En la siguiente tabla se muestra la serie histórica de precipitaciones máximas anuales registradas por la Agencia Estatal de Meteorología, concretamente en el Centro Meteorológico Territorial en Andalucía Occidental y Ceuta, durante un período de 27 años (1982-2008) en la zona de San Pablo-Aeropuerto de Sevilla, en intervalos de 24 horas. Son valores de intensidades de precipitación expresadas en milímetros.

Año	Precipitación máxima en 24 horas (mm)	Día	Mes
1982	74.1	6	Noviembre
1983	89.4	15	Noviembre
1984	55.1	18	Junio
1985	44.0	27	Diciembre
1986	41.8	7	Marzo
1987	47.9	28	Agosto
1988	51.5	8	Noviembre
1989	69.3	17	Octubre
1990	49.6	25	Abril
1991	47.4	29	Septiembre



1992	33.4	18	Octubre
1993	33.5	13	Marzo
1994	34.7	3	Noviembre
1995	80.3	10	Noviembre
1996	54.5	23	Enero
1997	109.3	2	Noviembre
1998	34.7	3	Febrero
1999	38.3	11	Octubre
2000	29.7	2	Abril
2001	47.8	5	Noviembre
2002	69.5	16	Septiembre
2003	60.6	6	Diciembre
2004	42.3	2	Mayo
2005	42.5	11	Octubre
2006	51.0	27	Enero
2007	49.1	8	Abril
2008	52.3	14	Marzo

A09.2 ESTUDIO PLUVIOMÉTRICO, ELABORACIÓN DE LAS CURVAS IDF

A09.2.1 INTRODUCCIÓN

Es necesario disponer de datos de precipitaciones máximas anuales como los que se han aportado en el apartado anterior para elaborar las curvas IDF necesarias para proceder al cálculo del caudal de escorrentía que pasa por un sumidero aplicando el "*Método Racional*" desarrollado por *Thomas James Mulvaney*. Recomendado por la FAA para los sistemas de drenaje de los aeropuertos civiles, se tomará un período de retorno de 10 años, es decir, se tienen en cuenta tormentas cuya probabilidad de aparición es de cada 10 años.



Con el uso del contraste para valores extremos independientes de *Gumbel* se pueden establecer las precipitaciones que corresponden a los distintos períodos de retorno considerados, a partir de las series estadísticas de observaciones meteorológicas.

Una vez se hayan obtenido las series de precipitaciones máximas anuales durante los períodos considerados, se ordenan de menor a mayor de 1 hasta n. Entonces la probabilidad o frecuencia acumulada, en tanto por uno, de que se presente en las n observaciones un valor menor que m viene dada, para un período de retorno T, por la curva de *Gumbel*:

$$p = \frac{m}{n+1} = \frac{T-1}{T}$$

En el caso de aeropuertos, para un período de retorno de 10 años, esta probabilidad es de 0.9.

El ajuste de la distribución se hace mediante una variante del método de mínimos cuadrados debida a *Chow*. Adoptando la variable reducida del “Método de *Gumbel-Chow*” la siguiente expresión:

$$Y = -\ln\left(\ln\left(\frac{n+1}{m}\right)\right)$$
$$m = 1, 2, \dots, n$$

Una vez se obtengan los pares (X, Y) , siendo “X” el valor de la observación situado en lugar “m”, se representan en una gráfica. Como los puntos estarán alineados relativamente, la serie de precipitaciones se ajusta a la distribución de *Gumbel*.

La recta de *Gumbel-Chow* para un período de retorno T será:

$$X_T = \bar{X} + \left(\frac{Y_T - \bar{Y}}{S_Y}\right) \cdot S_X = A \cdot Y_T + B$$

Donde:

$$Y_T = -\ln\left(\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right)$$
 es la variable reducida para un período de retorno T



\bar{Y} es la media de la variable reducida

S_Y es la desviación típica de la variable reducida

\bar{X} es la media de la serie de observaciones

S_X es la desviación típica de la serie de observaciones

$A = \frac{S_X}{S_Y}$ es la pendiente de la recta

$B = \bar{X} - \left(\frac{\bar{Y} \cdot S_X}{S_Y} \right)$ es el término independiente

Para dibujar las curvas IDF se transforman las intensidades observadas en intensidades específicas, que son las equivalentes en una hora expresadas en $\frac{mm}{h}$. A estas precipitaciones máximas por hora durante "t" minutos se les aplica el ajuste de *Gumbel-Chow*, obteniéndose así una serie de puntos para un período de retorno considerado que permiten dibujar la curva. Basta con hacer lo mismo para distintos períodos de retorno y se obtienen las curvas IDF.

A09.2.2 CÁLCULO

Para dibujar las curvas IDF se parte de los datos de precipitaciones máximas anuales observadas en 24 horas (en mm) que aparecen en la página 2 de este documento.

Estos datos se ordenan de menos a mayor y a cada valor se le asigna una probabilidad o frecuencia acumulada, en %.

m	Año	Precipitación máxima en 24 h (mm)	Probabilidad
1	2000	29.7	3.57
2	1992	33.4	7.14
3	1993	33.5	10.71



4	1994	34.7	14.29
5	1998	34.7	17.86
6	1999	38.3	21.43
7	1986	41.8	25.00
8	2004	42.3	28.57
9	2005	42.5	32.14
10	1985	44	35.71
11	1991	47.4	39.29
12	2001	47.8	42.86
13	1987	47.9	46.43
14	2007	49.1	50.00
15	1990	49.6	53.57
16	2006	51	57.14
17	1988	51.5	60.71
18	2008	52.3	64.29
19	1996	54.5	67.86
20	1984	55.1	71.43
21	2003	60.6	75.00
22	1989	69.3	78.57
23	2002	69.5	82.14
24	1982	74.1	85.71
25	1995	80.3	89.29
26	1983	89.4	92.86
27	1997	109.3	96.43

Donde la probabilidad adopta la siguiente expresión:

$$probabilidad = \left(\frac{m}{n-1} \right) \cdot 100$$

La media y la desviación típica de los valores registrados son:

$$\bar{X} = 53.10$$

$$S_x = 18.64$$



El siguiente objetivo es obtener la recta de *Gumbel-Chow*. Para ello se calcula primero los valores de la variable reducida del método de *Gumbel-Chow* (y) donde

$$Y = -\ln\left(\ln\left(\frac{n+1}{m}\right)\right)$$
$$m = 1, 2, \dots, n$$

m	Año	Y
1	2000	-1,20
2	1992	-0,97
3	1993	-0,80
4	1994	-0,67
5	1998	-0,54
6	1999	-0,43
7	1986	-0,33
8	2004	-0,23
9	2005	-0,13
10	1985	-0,03
11	1991	0,07
12	2001	0,17
13	1987	0,26
14	2007	0,37
15	1990	0,47
16	2006	0,58
17	1988	0,70
18	2008	0,82
19	1996	0,95
20	1984	1,09
21	2003	1,25
22	1989	1,42
23	2002	1,63
24	1982	1,87
25	1995	2,18



26	1983	2,60
27	1997	3,31

La media y la desviación típica de los valores registrados son:

$$\bar{Y} = 0.53$$

$$S_Y = 1.12$$

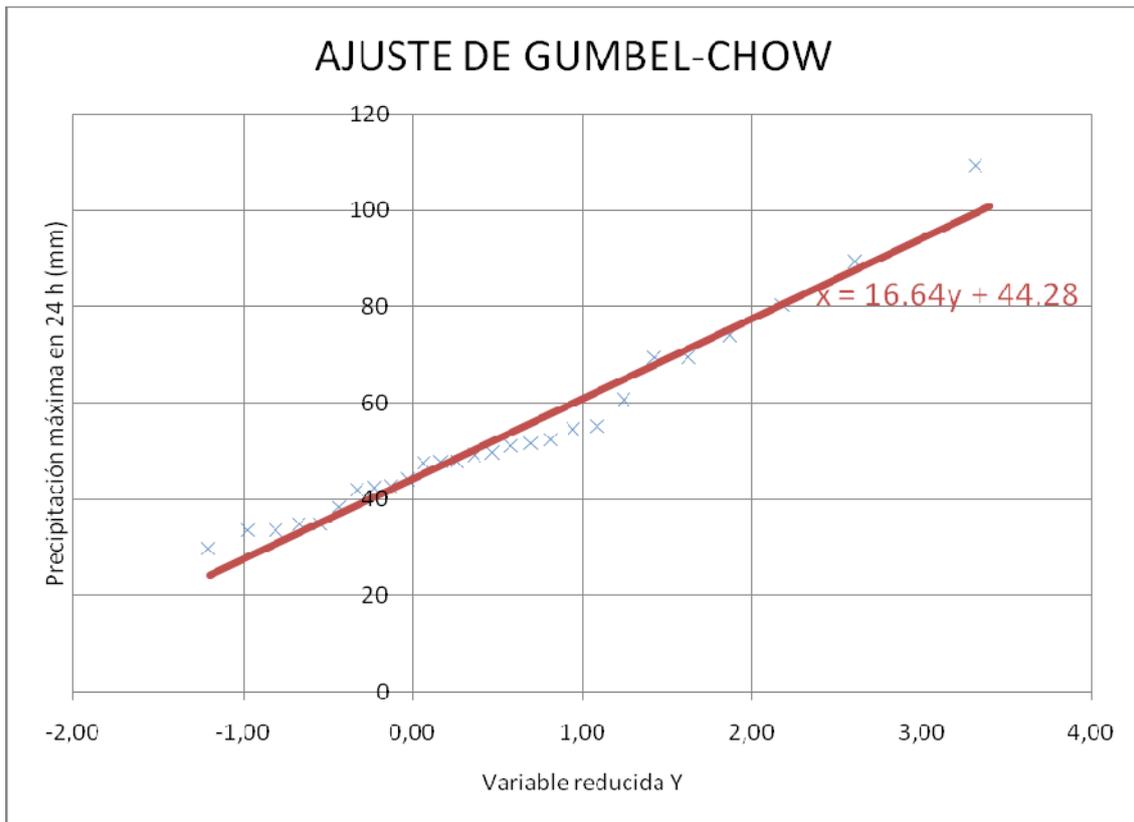
Por lo tanto la ecuación del ajuste de *Gumbel-Chow*, que calcula las precipitaciones esperadas en función del período de retorno a través de la variable reducida.

$$X_T = \left(\frac{S_X}{S_Y} \right) \cdot Y_T + \left(\bar{X} - \bar{Y} \cdot \frac{S_X}{S_Y} \right) = 16.64 \cdot Y_T + 44.28$$

$$Y_T = -\ln \left(\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right)$$

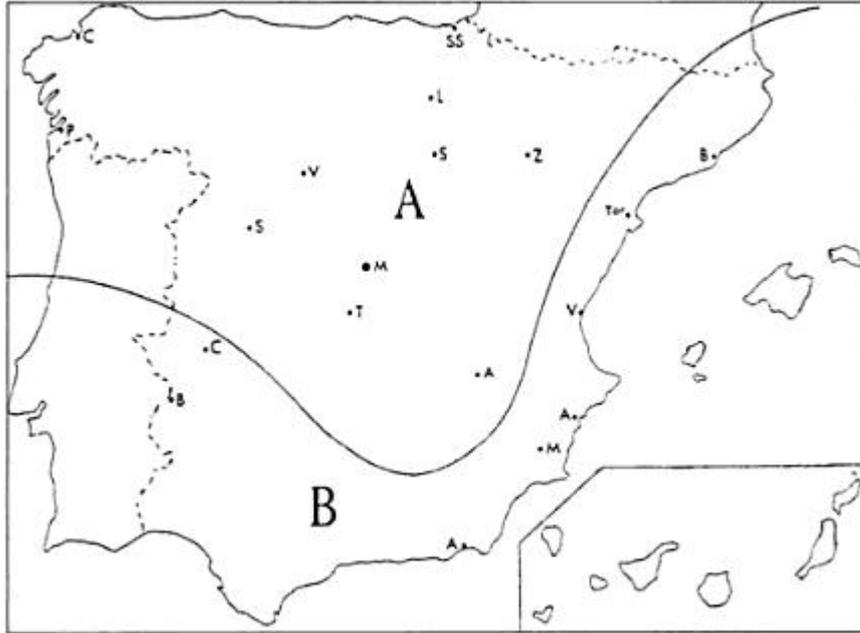
Período de retorno ([T] = años)	Variable reducida (Y _T)	Precipitación en 24 horas ([X _T] = mm)	Probabilidad de que no se supere ese valor (%)	Precipitación por hora ([X _T /24] = mm/h)
2	0,37	50,33	50	2,10
5	1,50	69,16	80	2,88
10	2,25	81,63	90	3,40
20	2,97	93,59	95	3,90
25	3,20	97,39	96	4,06
50	3,90	109,08	98	4,54
100	4,60	120,68	99	5,03
200	5,30	132,24	99,5	5,51
500	6,21	147,49	99,8	6,15

Con todo esto ya se puede dibujar el ajuste de *Gumbel-Chow*.



Ahora para dibujar las curvas IDF, después de obtener las intensidades máximas observadas expresadas en $\frac{mm}{h}$ se necesita calcular las intensidades específicas para duraciones de 10, 20, 30, 60, 120, 360 y 720 minutos, ordenadas de menor a mayor.

El aeropuerto de Sevilla pertenece a la zona B de España según la intensidad de las precipitaciones ocurridas. Esta imagen ha sido tomada de las *Precipitaciones máximas en España, ICONA, 1979*.



Para esta zona existe una correlación entre la precipitación de duración “ t ” y la de una hora $\left(\frac{I_t}{I_h}\right)$ que se muestra a continuación en la siguiente tabla.

T (minutos)	$\frac{I_t}{I_h}$
10	2.22
20	1.76
30	1.46
120	0.61
360	0.31
720	0.58

Por tanto los valores para duraciones menores o superiores a una hora se obtienen mediante las siguientes aproximaciones:



$$x_{10'} = 2.22 \cdot x_{1h}$$

$$x_{20'} = 1.76 \cdot x_{1h}$$

$$x_{30'} = 1.46 \cdot x_{1h}$$

$$x_{2h} = 0.61 \cdot x_{1h}$$

$$x_{6h} = 0.31 \cdot x_{1h}$$

$$x_{12h} = 0.1798 \cdot x_{1h}$$

A partir de los datos de la precipitación ocurrida en 1 hora, se obtienen los valores para los tiempos deseados (10, 20, 30 minutos, etc) y se ordenan en una tabla como la que se presenta a continuación:

Período de retorno $T(\text{años})$	$I(\text{mm}/h)$						
	10 min	20 min	30 min	60 min	120 min	360 min	720 min
2	43.15	34.21	28.38	19.44	11.86	6.03	3.49
5	59.30	47.01	39.00	26.71	16.29	8.28	4.80
10	69.99	55.49	46.03	31.53	19.23	9.77	5.67
20	80.25	63.62	52.78	36.15	22.05	11.21	6.50
25	83.50	66.20	54.92	37.61	22.94	11.66	6.76
50	93.52	74.14	61.51	42.13	25.70	13.06	7.57
100	103.47	82.03	68.05	46.61	28.43	14.45	8.38
200	113.38	89.89	74.57	51.07	31.15	15.83	9.18
500	126.46	100.26	83.17	56.96	34.75	17.66	10.24

Con estos datos es sencillo dibujar las curvas IDF que a continuación se presentan y que como se ha dicho anteriormente son útiles para el diseño del sistema de drenaje de la calle de salida rápida objeto del proyecto.

