

Hietogramas adimensionales de diseño para la zona de Córdoba

JOSE LUIS AYUSO MUÑOZ (*)
ANTONIO MOLINA CHAMORRO (**)

RESUMEN. Se han desarrollado las relaciones de distribución temporal de las lluvias más intensas ocurridas en Córdoba capital, presentándolas en términos de probabilidad (curvas tipo Huff). Se han seleccionado 182 episodios lluviosos de los datos horarios registrados en el Observatorio del aeropuerto de Córdoba en el período comprendido entre enero de 1982 y junio de 1992, ambos inclusive, de los que se obtuvieron las respectivas curvas masa adimensionales para finalmente deducir las curvas de masa para diferentes niveles de probabilidad. Las relaciones obtenidas son de gran utilidad para el diseño de proyectos de estructuras hidráulicas en la zona de Córdoba capital.

NON-DIMENSIONAL HYETOGRAPHS FOR THE CORDOBA AREA

ABSTRACT. The time distribution of the most intense storms recorded at the Córdoba weather station has been analysed and presented in probability terms (Huff curves). Over 182 rainfall events have been selected, from the January 1982-June 1992 period. The hyetographs were first normalized to develop cumulative depth curves for different probability levels. These relationships are very useful for the design of hydraulic structures in the area.

1. INTRODUCCION

Uno de los más importantes datos necesarios para el diseño de estructuras de control o de drenaje en cuencas rurales y urbanas es el hietograma del aguacero de proyecto representativo de la localidad. La complejidad y la no uniformidad de las intensidades de precipitación, dentro de un aguacero, determinan que en hidrología se haya intentado caracterizar la naturaleza variable de la precipitación de un aguacero de una manera simple mediante el uso de hietogramas de diseño (patrones de la variación temporal de la intensidad de lluvia). Los hietogramas de diseño son ampliamente usados para el análisis hidrológico y para la estimación de caudales punta en cuencas no aforadas y para el proyecto de estructuras hidráulicas. Diferentes tipos de hietogramas de diseños han sido propuestos para su uso en el diseño hidrológico (Keifer y Chu, 1957; Pilgrim y Cordery, 1975; Yen y Chow, 1980).

El propósito de este trabajo es determinar los patrones de distribución temporal de los aguaceros de proyecto para la zona de Córdoba, siguiendo el modelo de Huff (1967), a partir de los episodios de lluvia registrados, agrupándolos según el cuartil en que se presenta la máxima intensidad y desarrollando las relaciones de distribución temporal de los mismos en términos probabilísticos.

2. DATOS UTILIZADOS

Para el desarrollo de este trabajo se han utilizado los datos horarios e intensidades máximas registradas en el Observatorio del aeropuerto de Córdoba del Instituto Nacional de Meteorología, correspondientes al período comprendido desde enero de 1982 a junio de 1992, ambos inclusivos. El estudio y análisis de estos datos ha permitido la obtención de ficheros informatizados referentes a precipitación horaria y a intensidades máximas de lluvia, para intervalos de 10, 20 y 30 minutos y 1, 2, 3, 6, 12 y 24 horas, registradas diariamente.

3. ANALISIS DE LA DISTRIBUCION TEMPORAL DE LAS LLUVIAS

3.1. PROCEDIMIENTO ANALITICO

Para describir la variabilidad de la distribución temporal de la precipitación de una forma probabilística se ha empleado el método desarrollado por Huff (1967). Para dicho análisis se han utilizado los ficheros de datos horarios de precipitación.

La distribución temporal de la lluvia consta de alternativos períodos húmedos, denominados episodios de lluvia, y períodos secos. Aquéllos se caracterizan por sus duraciones, volumen de lluvia registrada y perfil de distribución, mientras que los períodos secos quedan definidos únicamente por su duración. La definición de un episodio de lluvia es considerablemente subjetiva. La más simple es la dada por Yen y Chow (1980) que lo identifican con un período continuo de precipitación en cada intervalo de tiempo. Así, un intervalo de una hora

(*) Catedrático de Proyectos de Ingeniería, E.T.S.I. Agrónomos y Montes, Universidad de Córdoba.

(**) Ingeniero Agrónomo, Departamento de Mecanización Agraria, Universidad de Córdoba.

sin precipitación supone la separación entre dos episodios de lluvia. Sin embargo, en muchos casos, dos o más aguaceros, separados sólo por intervalos de una hora sin lluvia, se consideran dentro del mismo episodio de lluvia. En consecuencia, existen diversos criterios para definir el final de un episodio de lluvia. Restrepo y Eagleson (1982) observaron que los periodos secos entre episodios de lluvia, habitualmente, siguen una función de distribución exponencial, para la que la desviación típica iguala a la media (o lo que es lo mismo, su cociente, el coeficiente de variación C_v , es igual a 1). El procedimiento consistirá, pues, en usar valores de prueba del periodo seco mínimo (o tiempo mínimo entre episodios) hasta lograr que el coeficiente de variación C_v de los periodos secos sea lo más próximo a 1. Siguiendo este método, los valores típicos de duración del periodo seco críticos pueden variar entre varias horas a varios días, para series de valores de lluvia horaria, dependiendo de la localización y de la estación.

Huff (1967) identificaba un periodo de lluvia de otro por un periodo seco de 6 o más horas. Bonta y Rao (1987) concluyeron que el efecto sobre las curvas tipo Huff del intervalo de muestreo (3 a 60 minutos) y del método de determinar la duración mínima del periodo seco, para la separación de episodios de lluvia, era secundario. Posteriormente, los mismos autores (1988a) emplearon diversos métodos entre los que cabe mencionar: a) el método de correlación del rango, que utiliza dicho coeficiente para separar los episodios de lluvia independientes, basándose en el volumen de lluvia, y b) el método exponencial, que usa las interrelaciones entre volumen de lluvia, duración y tiempo entre episodios como factores a considerar en la identificación de los episodios independientes.

Puede decirse que no existe un método generalizado que permita la separación de episodios de lluvia independientes. En general, los criterios de separación no son importantes con tal que puedan generarse las secuencias de lluvia de modo realista (Arreman, 1990).

El criterio seguido en este trabajo para definir un episodio de lluvia ha sido el de *un periodo lluvioso separado del precedente y siguiente al menos por una hora* (Yen y Chow, 1980). Identificados así los episodios de lluvia, se han seleccionado aquellos en que la cantidad total de precipitación igualase o superase los 10 mm y, excepcionalmente, aquellos aguaceros en que, sin superar dicha cantidad, caían 6 mm o más en 15 minutos, siguiendo un criterio análogo al de Wischmeier y Smith (1978) en la consideración de aguacero para el cálculo del factor de erosividad de la lluvia.

Tras el análisis de los datos de precipitación horaria del periodo comprendido entre enero de 1982 y junio de 1992 y con los criterios anteriores, se seleccionaron 182 aguaceros o episodios de lluvia (figura 1).

3.2. OBTENCION DE LAS FAMILIAS DE CURVAS TIPO HUFF

Para el desarrollo de las curvas tipo Huff de distribución temporal de la lluvia se procedió del siguiente

modo: las curvas de masa de cada uno de los 182 episodios de lluvia seleccionados se adimensionalizaron, dividiendo los valores acumulados de alturas de precipitación y tiempos durante los aguaceros, por la altura y duración total de cada uno, respectivamente. Para cada lluvia, el hietograma acumulado $H(t)$ se define como la función que representa la parte de precipitación total acumulada en el intervalo $(0, t)$, es decir:

$$H(t) = \int_0^t h(t) dt \quad (1)$$

siendo $0 < t < 1$ una fracción de la duración total de la lluvia y $h(t)$ la intensidad de la lluvia en el instante t .

Estos episodios de lluvia o aguaceros fueron separados en cuatro grupos de curvas (familias), llamadas cuartiles, tras considerar la duración total de cada aguacero dividido en cuatro partes iguales y la cantidad de lluvia adimensionalizada caída en cada cuarto de duración, clasificando la lluvia dependiendo de en qué cuarto de tiempo se produce la máxima altura de precipitación. Obviamente, siguiendo este criterio es posible que un aguacero pueda clasificarse en dos o más cuartiles simultáneamente, siempre que las alturas de precipitación registradas en dos o más cuartos de tiempo del aguacero sean iguales. De este modo, de los aguaceros seleccionados se identificaron 33 lluvias pertenecientes al primer cuartil, 71 al segundo, 63 al tercero y 29 al cuarto cuartil. En las tablas 1 a 3 se muestran las distribuciones de las lluvias por cuartiles, la distribución de las clases horarias y frecuencia de los aguaceros seleccionados.

CUARTIL	N.º DE LLUVIAS	FRECUENCIA %
1	33	16,9
2	71	36,2
3	63	32,1
4	29	14,8

TABLA 1. Distribución por cuartiles de los episodios de lluvia seleccionados.

CUARTIL	NUMERO DE EPISODIOS DE LLUVIA PARA LA DURACION DADA (HORAS)			
	0-3	> 3-6	> 6-12	> 12
1	10	9	8	6
2	8	26	30	8
3	7	18	27	11
4	8	3	13	5

TABLA 2. Distribución en clases horarias de los episodios de lluvia.

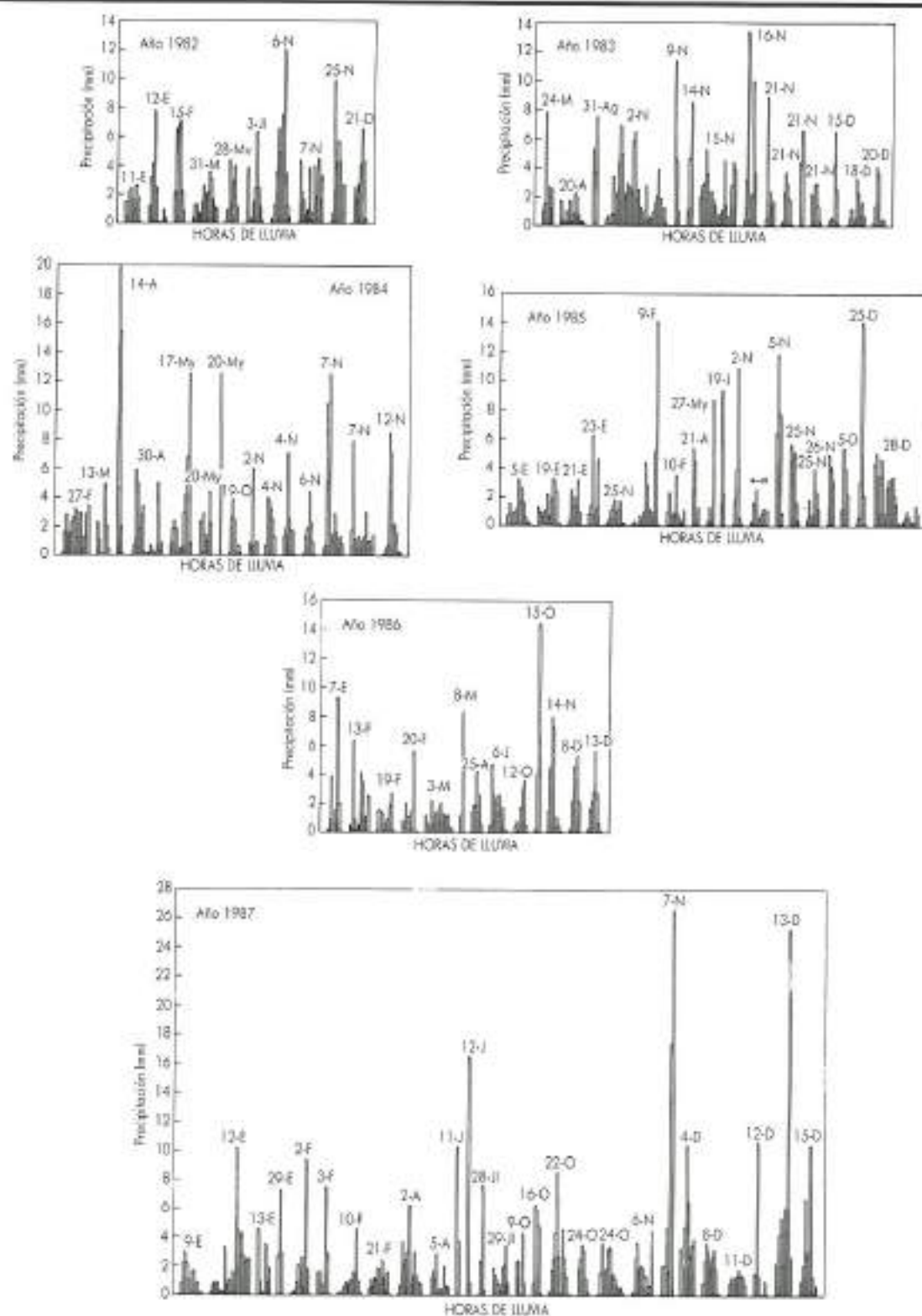


FIGURA 1. Aguaceros seleccionados del periodo enero 1982-junio 1992.

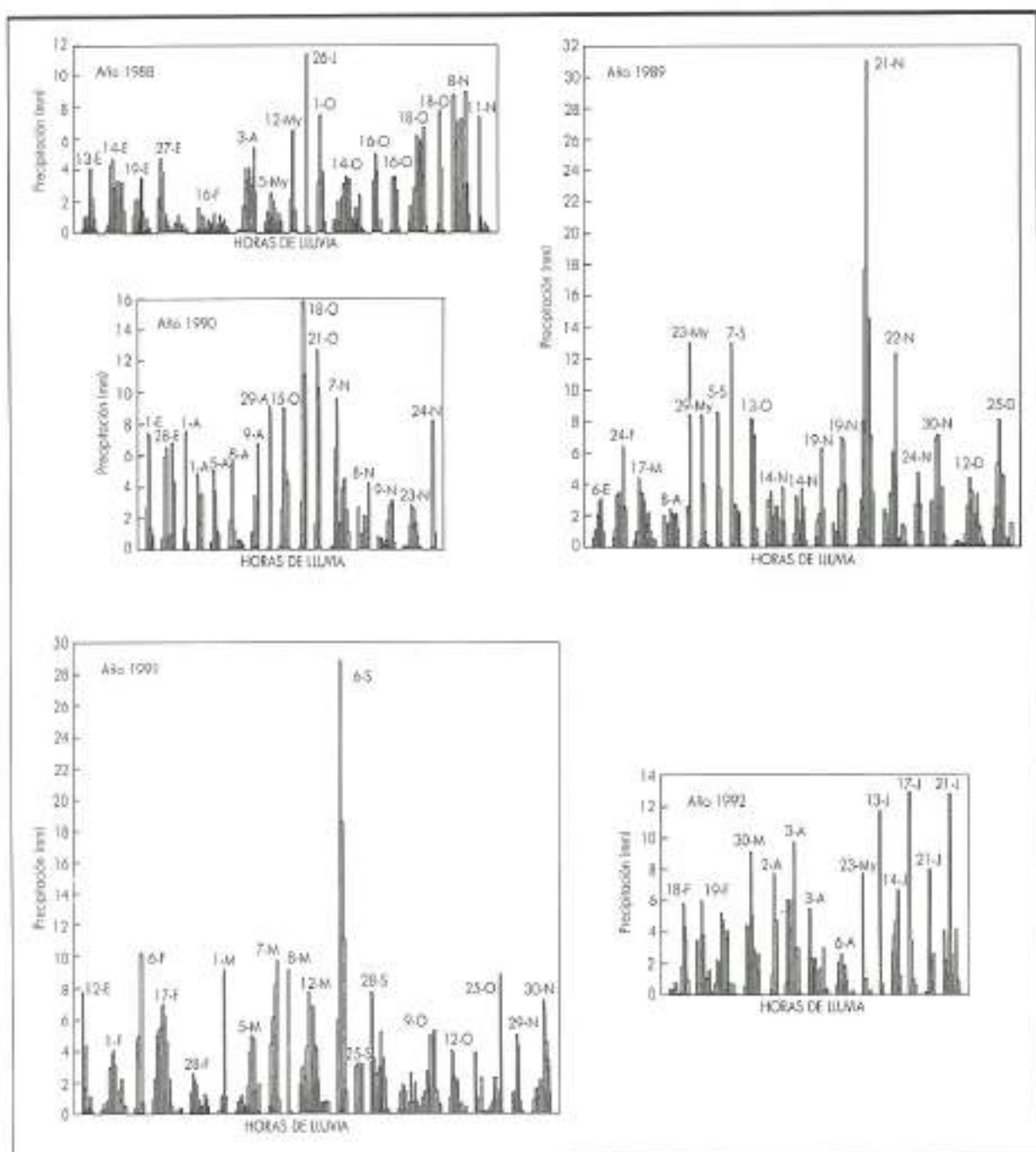


FIGURA 1. (continuación)

Si en cada cuartil se denomina por d_i la duración de lluvia i -ésima y por r_{ji} ($j = 1, d_i$) las precipitaciones horarias de dicha lluvia, los valores de la precipitación acumulada o histograma acumulado $H(t)$ de dicha lluvia serán:

$$H_j(t_{ji}) = \frac{R_{ji}}{R_i}, \quad t_{ji} = \frac{j}{d_i}, \quad j = 1, \dots, d_i, \quad i = 1, \dots, n \quad [2]$$

siendo n = número de lluvias registradas en el cuartil, y

CUARTIL	% DE EPISODIOS DE LLUVIA PARA LA DURACION DADA (HORAS)			
	0-3	> 3-6	> 6-12	> 12
1	30	27	24	18
2	11	35	42	11
3	11	29	43	17
4	28	10	45	17
TODAS LAS LLUVIAS	17	28	40	15

TABLA 3. Frecuencia (%) en clases horarias de los episodios de lluvia.

$$R_{ji} = \sum_{k=1}^j r_{ki}$$

$$R_i = \sum_{j=1}^n r_{ji}$$

Para la obtención de las curvas de probabilidad, en cada cuartil, se procedió del siguiente modo (Ayuso y col., 1991):

1. Se fijó un número constante de 20 intervalos en la escala de tiempos (0, 1) y para cada lluvia i , se obtuvieron los valores de precipitación acumulada $H_i(t_j)$, $j = 1, \dots, 19$, $t_j = j/20$.
2. Para cada j ($j = 1, \dots, 19$) se ordenan de mayor a menor los n valores de precipitación acumulada $H_i(t_j)$, $i = 1, \dots, n$.
3. Para cada tiempo j se calculan los valores de las frecuencias acumuladas de los $H_i(t_j)$ ordenados, mediante la expresión de Weibull $m/(n+1)$, en la que m representa el rango y n el número de lluvias del cuartil.
4. Para cada nivel de probabilidad $p = 10, 20, \dots, 90\%$ y para cada valor de t_j ($j = 1, \dots, 19$), se selecciona, interpolando cuando sea preciso mediante la técnica de «splines» cúbicos, el valor de precipitación acumulada $H(t_j)$ para el nivel de probabilidad p , $H_p(t_j)$ para el que existe una probabilidad, p , de valores mayores que él. En consecuencia, $H_p(t_j)$ para $j = 1, \dots, 19$, serán los valores de la curva de probabilidad p de la precipitación acumulada.

En la figura 2 se muestran las curvas de tipo Huff sin suavizar, así obtenidas, para cada cuartil, con los diferentes niveles de probabilidad.

5. Las curvas anteriormente obtenidas para cada nivel de probabilidad p , fueron suavizadas ajustando un polinomio de grado décimo (Molina, 1991), mediante programación lineal (Bonta y Rao, 1988b), a los puntos $(t_j, H_p(t_j))$, que pase, además, por el origen (0, 0) y el punto (1, 1).

Se supone que el histograma acumulado $H(t)$ puede representarse por el polinomio:

$$H(t_j) = a_0 + a_1 t_j + \dots + a_{10} t_j^{10}, \quad j = 1, \dots, 19, \quad t_j = j/20 \quad [3]$$

fijando $K = 10$, por ser el máximo exponente utilizado en ajustes de la misma función por mínimos cuadrados (Molina, 1991).

Puesto que $H(0) = 0$ y $H(1) = 1$, debe cumplirse

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= 0 \\ a_1 + a_2 + \dots + a_{10} &= 1 \end{aligned} \right\} \quad [4]$$

y consecuentemente

$$a_1 = 1 - a_2 - \dots - a_{10} \quad [5]$$

Desarrollando la ecuación (3), tras sustituir los valores de a_0 y a_1 , dados por (4), se obtiene

$$H(t_j) = t_j + a_2(t_j^2 - t_j) + \dots + a_{10}(t_j^{10} - t_j) \quad [6]$$

En el ajuste por programación lineal, se trató de obtener $a_2, \dots, a_{10}$ sin restricciones de signo, de forma que se minimizara

$$\sum_{j=1,19} |H_0(t_j) - H(t_j)| \quad [7]$$

sujeta a

$$\left. \begin{aligned} H(t_{10}) &\leq 1 \\ H(t_1) &\geq 0 \\ H(t_j) &\geq H(t_{j-1}) \quad j = 2, 19 \quad t_j = \frac{j}{20} \end{aligned} \right\} \quad [8]$$

siendo $H_0(t_j)$ el valor observado del histograma.

En la utilización de los algoritmos de programación lineal se realizaron los siguientes pasos:

- Sustitución de cada variable a_i por $b_i - c_i$, para $i = 2, \dots, 10$, siendo b_i y c_i variables no negativas.
- Introducción de las variables m_j y n_j , $j = 1, \dots, 19$, definiéndolas como diferencias positiva y negativa, respectivamente, entre el histograma estimado $H(t_j)$ y el observado $H_0(t_j)$.

Con estas variables la función objetivo a minimizar fue:

$$Z = \sum_{j=1,19} (m_j + n_j) \quad [9]$$

Debido a que el programa utilizado tenía una capacidad limitada en cuanto al número de ecuaciones y variables, no se ajustaron las nueve curvas de cada cuartil a la vez, sino que se siguió un procedimiento iterativo:

- a) Ajuste por separado de las curvas de un cuartil, y
- b) Comprobación de la condición

$$H_p(t_j) \geq H_{p'}(t_j) \quad \text{si } p < p' \quad [10]$$

si se interceptan dos curvas, o la condición

$$\left. \begin{aligned} H_p(t_j) &\geq H_{p'}(t_j) \\ H_{p'}(t_j) &\geq H_p(t_j) \end{aligned} \right\} \quad [11]$$

si se interceptan tres curvas.

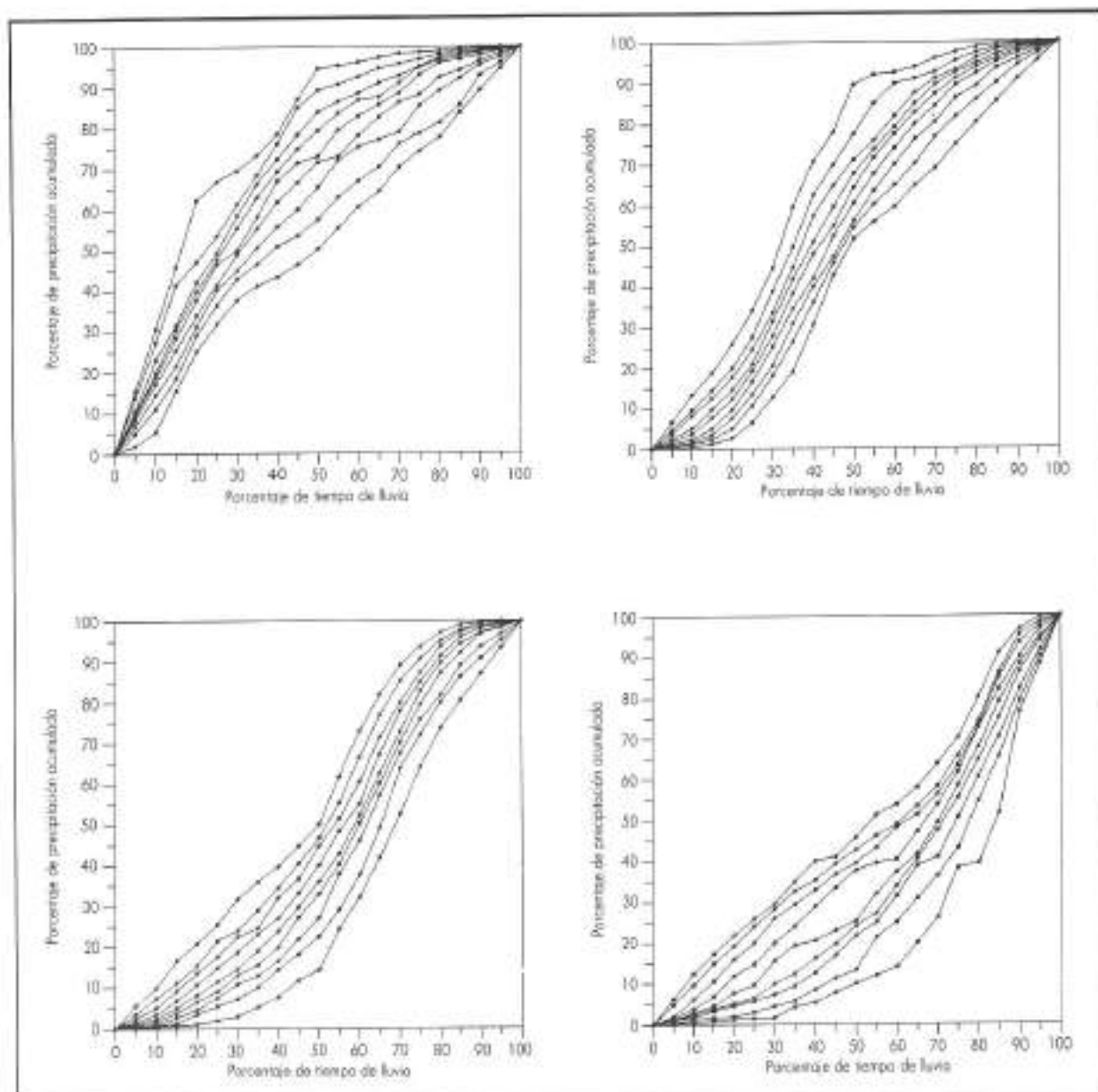


FIGURA 2. Curvas tipo Huff obtenidas sin suavizar.

En las figuras 3 a 6 se muestran las familias de curvas obtenidas para cada uno de los cuartiles y en la tabla 4 los valores de los coeficientes de los polinomios ajustados. Estas curvas, expresadas en términos de probabilidad a causa de la gran variabilidad de las características de la distribución temporal entre los diferentes aguaceros, resumen la gran variedad de la distribución temporal de las lluvias y representan un método flexible de expresar la variabilidad de los hietogramas de diseño, ya que son el resultado de una amplia gama de hietogramas de aguaceros registrados en Córdoba. Son

muy utilizadas para determinar los hietogramas de diseño a emplear en los modelos hidrológicos (Chow y col., 1988, y Wiessman y col., 1989).

Las curvas obtenidas anteriormente permiten la selección de la distribución temporal más apropiada para una aplicación particular. En muchos casos una distribución temporal media (la distribución del 50 %) será la más útil, mientras que en otros lo será una de tipo extremo (10 o 90 %). La figura 4 muestra los hietogramas acumulados en términos de probabilidad de los aguaceros pertenecientes al segundo cuartil, los más frecuen-

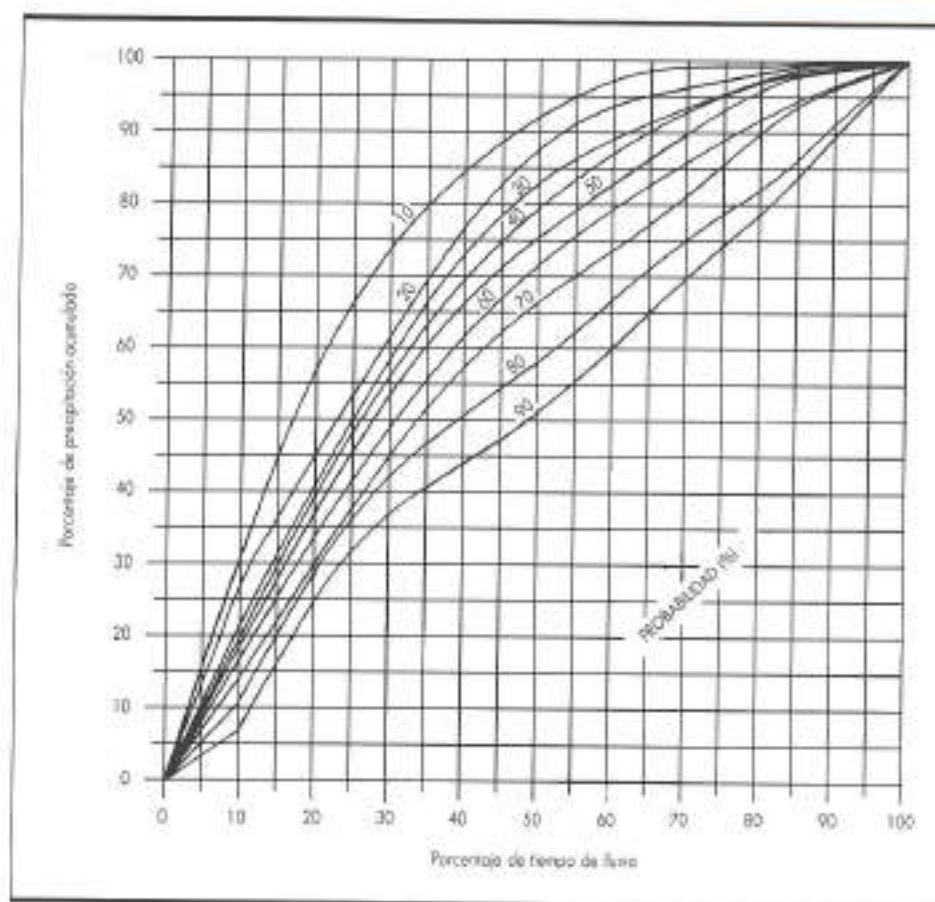


FIGURA 3. Distribución temporal de las lluvias del Primer Cuartil.

tes en la serie estudiada. La curva del 50 % de dicha figura indica que en los aguaceros del segundo cuartil, el 3,8 % o más de la lluvia ocurrirá en el primer 10 % de la duración del aguacero, y el 64,3 % o más de la lluvia ocurrirá en la mitad de la duración del aguacero en el 50 % de los casos.

4. APLICACION DE LAS CURVAS DE DISTRIBUCION TEMPORAL EN EL DISEÑO HIDROLOGICO

Se procede a continuación a mostrar la utilidad de las curvas tipo Huff anteriores mediante su aplicación para la obtención de los hietogramas de diseño.

La figura 7 muestra los hietogramas del segundo cuartil para los niveles de probabilidad del 10, 50 y 90 %, para aguaceros de 6 horas de duración, mostrando los porcentajes de lluvia registrada en cada intervalo horario, obtenidas de la figura 4.

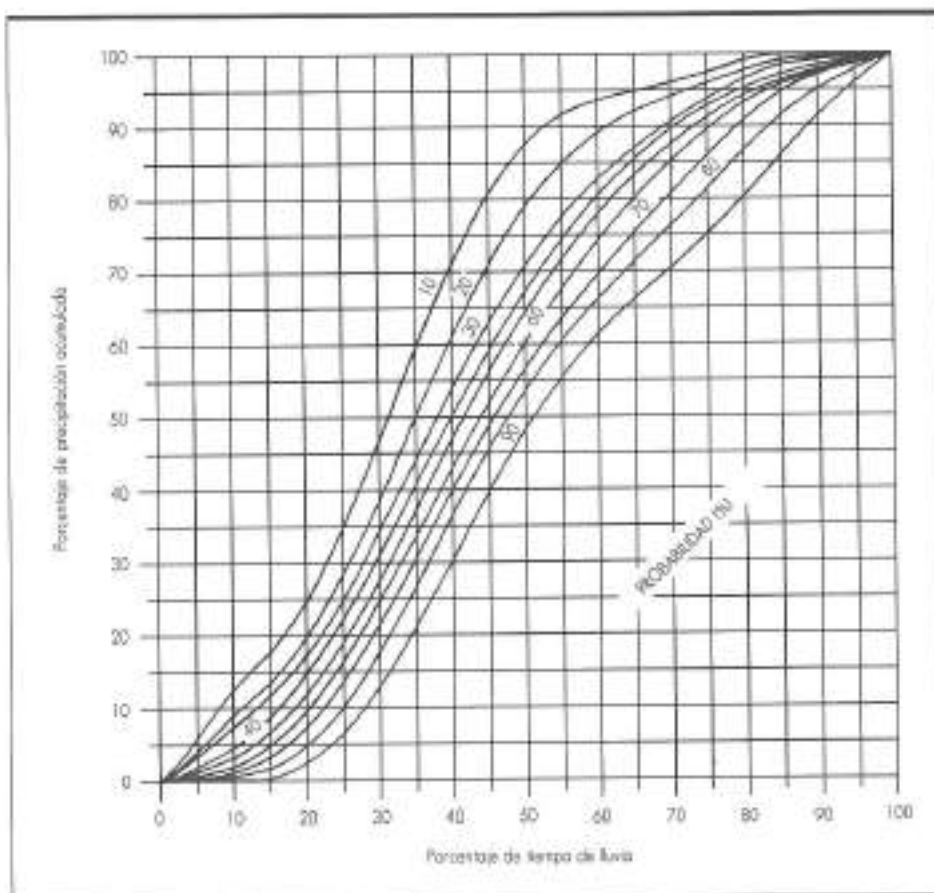
El hietograma del 50 % de la figura 7 indica que, como promedio, el 8,7 % o más de la lluvia ocurrirá durante la primera hora del aguacero y que la mayor intensidad horaria se alcanzará en la tercera hora del aguacero en las lluvias del segundo cuartil. Sin embargo, el hietograma del 10 % de probabilidad indica que el período de mayor intensidad de lluvia ocurrirá en la

segunda hora. El hietograma del 90 % de probabilidad muestra una distribución de lluvia algo más uniforme, salvo la primera hora, que los hietogramas anteriores. El hietograma del 90 % puede interpretarse como el hietograma que ocurrirá en el 10 % o menos de los casos.

Bastaría conocer el volumen de precipitación caído en seis horas para un determinado período de retorno, 25, 50 o 100 años, para determinar el hietograma de diseño correspondiente a dicho período de retorno con una distribución temporal asociada a un nivel de probabilidad dado.

La probabilidad global de cualquier hietograma seleccionado puede obtenerse considerando la frecuencia de los cuatro tipos de aguaceros indicada en la tabla 1. Por ejemplo, si se desea determinar la probabilidad global del hietograma del 10 % de probabilidad de las lluvias del segundo cuartil, la tabla 1 indica que los aguaceros de dicho cuartil ocurren en el 36,2 % de los casos. Dentro de los aguaceros del segundo cuartil, la probabilidad de este tipo de hietograma es del 10 %. Por consiguiente, la probabilidad global de la ocurrencia de este hietograma, en todos los aguaceros en el período de años considerado, es de $0,362 \cdot 0,1 = 3,62 \%$. De manera análoga el hietograma del 50 % de probabili-

FIGURA 4. Distribución temporal de los lluvias del Segundo Cuartil.



NIVELES DE PROBABILIDAD

	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %
PRIMER CUARTIL									
α_2	8,5391	-14,8163	-3,9581	1,6366	-0,4890	0,9238	3,3320	18,5496	28,2975
α_3	-64,8362	49,5371	15,7553	-7,9756	2,6003	-4,3890	-16,6839	-75,2220	-121,1407
α_4	145,9935	-78,0392	-32,6468	10,9738	-3,1896	5,2535	53,6736	125,1568	227,8200
α_5	-120,8212	44,1231	16,7259	-21,0599	-42,2616	-7,8620	-115,7300	-82,1950	-179,6293
α_6	-27,4758	-8,1019	13,8852	46,6566	113,2284	12,3198	119,2024	7,7049	4,3576
α_7	78,8114	20,7750	-8,1685	-34,7895	-86,2985	-13,6676	-27,7313	24,7313	83,0882
α_8	8,6083	3,8757	5,5520	30,1136	-10,3698	16,9395	-15,6255	-88,4021	-80,4452
α_9	-42,6399	-42,8110	-20,8921	-7,7090	35,0726	-16,2148	-17,5296	121,2543	66,7813
α_{10}	14,0596	22,6644	12,3069	1,2565	-9,2061	6,0507	16,8880	-50,4515	-27,0210
SEGUNDO CUARTIL									
α_2	-21,4369	-11,3114	-10,8359	-4,9589	-4,3305	-4,6223	-3,9680	-9,9542	-4,3180
α_3	108,6476	60,5338	61,9280	45,4457	38,1138	43,5624	30,0355	56,5056	17,2393
α_4	-185,3912	-95,9940	-117,2664	-115,6220	-78,0867	-102,9085	-29,5866	-87,1371	21,7844
α_5	40,3756	10,5963	66,5422	126,9631	44,5744	91,7984	-69,9754	13,3846	-108,0440
α_6	153,8932	76,2733	20,2007	-50,6271	25,7345	-0,1115	124,7147	29,7566	61,7678
α_7	-73,5716	-34,2169	10,1521	-16,1207	-21,6751	-60,2552	13,5117	70,6714	49,3570
α_8	-36,8623	21,7558	-53,8504	22,3215	-14,7348	55,7470	-124,9472	-99,3119	26,4864
α_9	-14,0230	-61,1254	17,3810	-9,6519	10,0429	-33,7823	65,9326	10,7511	-118,5135
α_{10}	26,7895	32,9024	5,3482	2,5814	0,8548	11,2037	-5,0149	15,6836	54,9467

TABLA 4. Coeficientes de los polinomios de las curvas de tipo Huff.

NIVELES DE PROBABILIDAD

	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %
TERCER CUARTIL									
a_2	5,7051	5,8948	9,3689	7,4225	-0,2530	3,2421	4,6968	0,3293	-1,8466
a_3	-16,6614	-24,7697	-45,0145	-25,9452	15,4490	-4,2559	-15,4471	12,0016	14,6136
a_4	-25,5368	30,8050	97,6198	34,5679	-54,7766	-15,6224	12,2743	-54,5662	-42,2789
a_5	155,6129	26,9476	-75,9939	4,9182	54,3085	47,7473	35,9089	66,9462	40,0628
a_6	-142,3599	-62,7342	-8,4266	-32,1018	53,1660	0,9974	-46,7605	47,9739	52,1521
a_7	-88,9241	20,5067	-16,6567	13,8109	-88,5700	-78,9309	-13,3653	-94,7982	-104,5764
a_8	149,8695	-36,0613	130,1940	-29,1475	-49,4323	31,3720	15,3312	-73,1296	18,4517
a_9	-12,5853	75,2518	-132,1315	47,0634	110,7615	39,4603	25,1181	153,7731	40,9725
a_{10}	-24,7282	-35,1994	42,0912	-19,4045	-39,8197	-22,9084	-16,5326	-57,4901	-16,6493
CUARTO CUARTIL									
a_2	-1,2104	1,9425	9,6556	-3,6867	3,1025	0,8520	0,5814	-0,1280	-0,7434
a_3	-16,5394	-17,4943	-45,2852	29,7079	-14,2590	-5,2707	-3,3847	-1,4582	6,1735
a_4	107,7606	62,5264	105,3035	-66,8015	50,6703	22,3647	-0,6849	6,4026	-18,6586
a_5	-218,8150	-85,0245	-87,2106	53,1810	-90,4582	-30,8356	60,8361	11,2183	16,9716
a_6	92,4409	-22,0227	-97,8757	-31,0805	35,5423	-2,6600	-128,6239	-41,4899	32,8565
a_7	183,4186	126,2642	200,6643	62,7228	87,1894	32,6181	26,3988	2,6444	-39,0877
a_8	-147,1849	-13,9996	1,1929	-27,6733	-80,1146	-0,8465	164,8598	80,6517	-93,2346
a_9	-55,5044	-103,2185	-158,8797	-47,3611	-11,5703	-27,7458	-168,0632	-79,2252	170,9972
a_{10}	55,2162	51,1250	73,4412	31,4766	20,8493	12,3478	48,9243	22,2540	-74,3448

TABLA 4. Coeficientes de los polinomios de las curvas de tipo Huff (continuación).

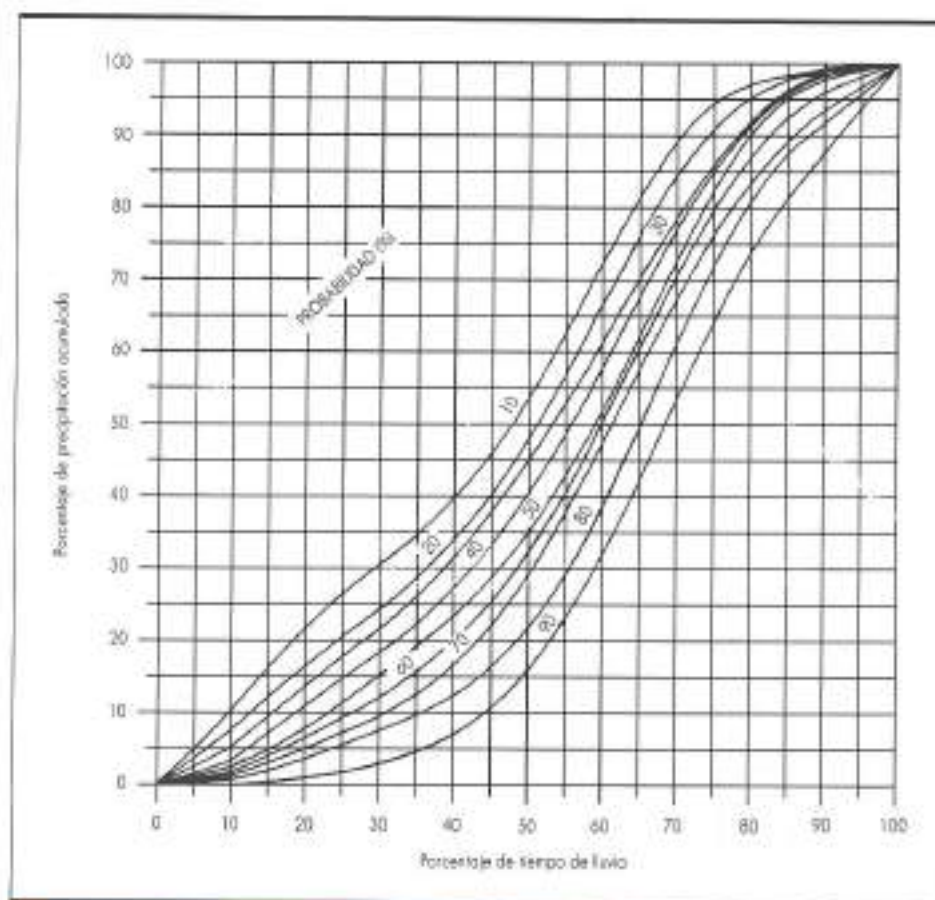


FIGURA 5. Distribución temporal de las lluvias del Tercer Cuartil.

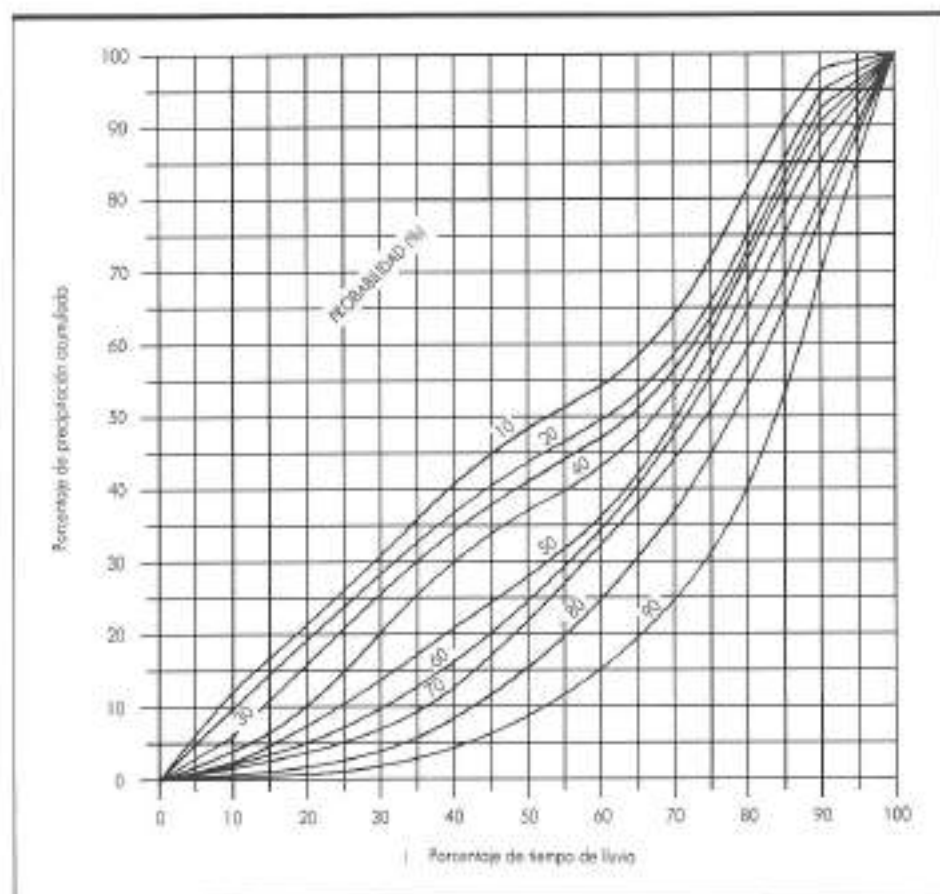
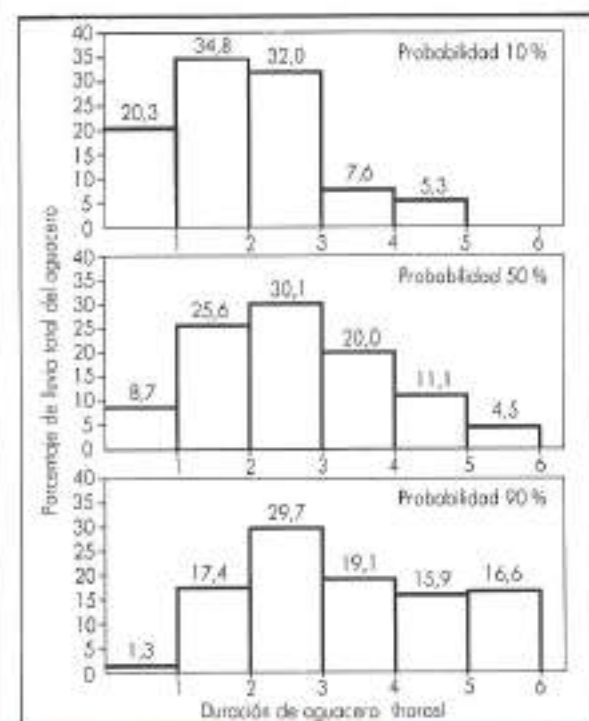


FIGURA 6. Distribución temporal de las lluvias del Cuarto Cuartil.



dad tiene una probabilidad global de ocurrencia de $0,362 \cdot 0,5 = 18,1\%$.

5. CONCLUSIONES

Se han obtenido las relaciones de distribución temporal de las lluvias más intensas en Córdoba capital, en términos de probabilidad.

Estas relaciones son de gran utilidad para aplicaciones prácticas en el diseño de estructuras hidráulicas en la zona de Córdoba, ya que permiten la selección de la distribución temporal y la consiguiente deducción del hietograma del aguacero de diseño.

Presentan la ventaja de reunir la amplia variedad de distribuciones temporales de las lluvias registradas y una gran flexibilidad para expresar la variabilidad de los hietogramas de diseño ya que los mismos han sido desarrollados de acuerdo a criterios objetivos y se aproximan mejor que otros modelos a la variabilidad temporal de las lluvias observadas. En cambio, presentan el inconveniente de que hay que elegir entre diversas curvas, y que ninguno de los 36 patrones descritos está

FIGURA 7. Histogramas seleccionados para los aguaceros de 6 horas de las lluvias del Segundo Cuartil.

asociado a volúmenes y duraciones específicas de lluvias debido a la adimensionalidad de los mismos. Este inconveniente resulta fácilmente soslayable ya que en el diseño de estructuras hidráulicas se suele partir de una precipitación de una duración dada (6, 12 o 24 horas) y un período de retorno dado (5, 25, 100 o 500 años) determinándose el volumen de precipitación mediante el análisis de frecuencias.

6. BIBLIOGRAFIA

- AYUSO, J. L.; MOLINA, A., y ZAPATA, A. (1991). «Análisis de la distribución temporal de la lluvia en una cuenca pequeña de Sierra Nevada». *III Simposio sobre el Agua en Andalucía*, vol. 1, pp. 85-101.
- ACREMAN, M. C. (1990). «A Simple Stochastic Model of Hourly Rainfall for Farnborough, England». *Journal of Hydrological Sciences*, 35:119-148.
- BONTA, J. V., y RAO, A. R. (1987). «Factors Affecting Development of Huff Curves». *Transactions of the ASAE*, 30(6):1989-1993.
- BONTA, J. V., y RAO, A. R. (1988b). «Fitting Equations to Families of Dimensionless Cumulative Hyetographs». *Transactions of the ASAE*, 31(3):756-760.
- BONTA, J. V., y RAO, A. R. (1988a). «Factors Affecting the Identification of Independent storm Events». *Journal of Hydrology*, 98:257-293.
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R., y MAYS, L. W. (1988). «Applied Hydrology». McGraw-Hill, New York.
- HUFF, F. A. (1967). «Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms». *Water Resources Research*, (3):1007-1019.
- KEIFER, C. J., y CHU, H. H. (1957). «Synthetic Storm Pattern for Drainage Design». *Journal of the Hydraulics Division*, (83):1332.1-1332.25.
- MOLINA, A. (1991). «Estudio de las Relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia y Efecto de la Erosividad de las Precipitaciones en Córdoba». Trabajo Fin de Carrera. Dpto. de Ingeniería Rural, Universidad de Córdoba.
- PILGRIM, D. H., y CORDERY, I. (1975). «Rainfall Temporal Patterns for Design Floods». *Journal of the Hydraulics Division*, 1:81-96.
- RESTREPO, P. J., y EAGLESON, P. S. (1982). «Identification of Independent Rainstorms». *Journal of Hydrology*, 55:303-319.
- WIESCHMEIER, W. H., y SMITH, D. D. (1978). «Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning. U.S.D.A., Agriculture Handbook, n.º 537.
- YEN, B. CH., y CHOW, V. T. (1980). «Design Hyetographs for Small Drainage Structures». *Journal of Hydraulics Div.*, 106:1056-1076.