

---

**ANEJO 6:**  
**CLIMATOLOGÍA.**

## ÍNDICE DEL ANEJO 6.

1. INTRODUCCIÓN.

2. INFORMACIÓN DISPONIBLE.

3. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.

### 4. ESTUDIO PLUVIOMÉTRICO.

#### 4.1. Estudios existentes.

4.1.1. Servicio de Infraestructura Hidráulica. Ayuntamiento de Zaragoza.

4.1.2. Proyecto de Construcción del Tercer Cinturón.

4.1.3. Estudio Informativo del AVE.

4.1.4. Estudio de Francisco Elías y Luis Ruiz.

#### 4.2. Precipitaciones máximas en un día.

4.2.1. Método de la Máxima Verosimilitud.

4.2.2. Método de Newton-Raphson.

4.2.3. Pruebas de la Bondad de Ajuste.

4.2.3.1. Prueba de la Bondad de Ajuste de Kolmogorov-Smirnov.

4.2.3.2. Prueba de la Bondad de Ajuste de Cramer-Von Mises.

4.2.3.3. Prueba de la Bondad de Ajuste de Kuiper.

4.2.3.4. Prueba de la Bondad de Ajuste de Watson.

4.2.3.5. Prueba de la Bondad de Ajuste de Anderson-Darling.

4.2.3.6. Valores de  $P_i(\alpha)$ .

4.2.3.7. Papel probabilístico de Gumbel.

4.2.4. Resultados.

#### 4.3. Análisis comparativo de los estudios existentes.

## 1. INTRODUCCIÓN.

Cuando se considera el balance de agua en una cuenca natural, variables tales como la temperatura, reservas de agua subterránea, evaporación, transpiración, viento, etc., juegan un importante papel. Por el contrario, las zonas de captación urbana son relativamente pequeñas y en ellas, la mayoría de las variables mencionadas son de menor importancia, dejando el papel principal en el proceso de escorrentía a la distribución temporal y espacial de las precipitaciones. Más aún, las escalas de tiempo de cuencas naturales varían entre algunas horas y varios días, hasta meses en ocasiones, mientras que en las cuencas urbanas, las escalas de tiempo son claramente más cortas.

El abordar los problemas de drenaje de lluvias comprende dos acciones prioritarias:

- el control de inundaciones, y
- el control de la contaminación.

Los proyectos de drenaje de aguas de lluvia poseen necesidades específicas concernientes a la precipitación, afectadas por las características físicas del proceso de escorrentía en áreas urbanas. Desde el punto de vista del diseño de tuberías, es importante poseer un conocimiento adecuado sobre lluvias intensas de corta duración y con un período de retorno dado. Las lluvias ligeras, aunque no generan elevados caudales punta, son importantes porque transportan altas concentraciones de contaminantes. Los eventos de larga duración son importantes ya que pueden causar la completa saturación del suelo y dar lugar a caudales punta o inundaciones de zonas bajas, aun siendo de menor intensidad que la lluvia de diseño.

El objeto fundamental del presente Anejo es la recopilación de datos e información existentes de precipitaciones en el entorno del área de estudio. También se incluye un breve resumen de las principales características climatológicas de la zona.

## 2. INFORMACIÓN DISPONIBLE.

Se ha tenido acceso a los datos de las estaciones meteorológicas situadas en el entorno de Zaragoza. Son las que se muestran en el Cuadro A.6.1., indicándose además de su nombre, su clave, número de años en los que se han recogido datos y cuantos son los años con información completa. Dichas estaciones se han representado en la Figura A.6.1.

Gran parte de la información climatológica se ha obtenido a través del:

Anejo nº 4: CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA.  
 PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA RONDA DE LA HISPANIDAD.  
 TRAMOS N-330 a N-232 y N-232 a la A-2. ZARAGOZA.  
 MINISTERIO DE FOMENTO.  
 SERS, S.A. y Carlos Fernández Casado, S.L. Julio de 1997.

En dicho proyecto se han consultado los ficheros tipo TR (termometría) y tipo PR (pluviometría) de las estaciones meteorológicas indicadas en el Cuadro A.6.1. recopiladas por el Instituto Nacional de Meteorología.

También se ha empleado la metodología y las isolíneas de la publicación “Datos climáticos para carreteras”. MOP. Dirección General de Carreteras. División de materiales. 1964.

Clave	Estación meteorológica	Años completos	Años totales
9 337 A	Pradilla de Ebro	1	7
9 338 A	Remolinos (DGA)	6	6
9 339	Torres de Berrellén (Santa Inés)	2	2
9 425 Y	Cariñena (La pradina)	25	34
9 426 A	Longares 2	10	12
9 428 E	Calatorao (Cooperativa)	15	27
9 431 E	Epila (Ondiviela)	3	5
9 432	Epila (Montarrón)	23	11
9 432 A	Epila (Colegio)	1	7
9 432 B	DGA (Zaragoza)	3	9
9 432 H	La Muela (DGA)	3	5
9 433 O	Alagón (Gasolinera)	22	22
9 433 U	Alagón (Azucarera)	9	17
9 434	Zaragoza (Aeropuerto)	9	17
9 434 E	Zaragoza (Pikolín)	18	26
9 442 F	Villanueva de Huerva (DGA)	3	7
9 443 A	Muel (DGA)	1	7
9 443 B	Botorrita	4	6
9 443 E	Zaragoza (Observatorio)	33	37
9 443 I	Zaragoza (Tiro Olímpico)	0	1
9 443 O	Zaragoza (Colegio)	0	1
9 443 U	Zaragoza (Botánico)	10	15
9 443 V	Zaragoza (Salesianos)	0	1
9 444	Zaragoza (Granja)	8	16
9 492	El Temple	16	28
9 494	Ontinar del Salz	12	14
9 495	Zuera (El Vedado)	15	31
9 495 E	La cinema (Aguas)	1	9
9 495 F	Leciñena	20	26
9 495 G	Ena (DGA)	1	7
9 495 U	Zuera	8	17
9 495 X	Zuera (Los Galiones)	0	2
9 498	Villanueva de Gállego	5	8

**Cuadro A.6. 1.:** Estaciones meteorológicas en el entorno de Zaragoza.

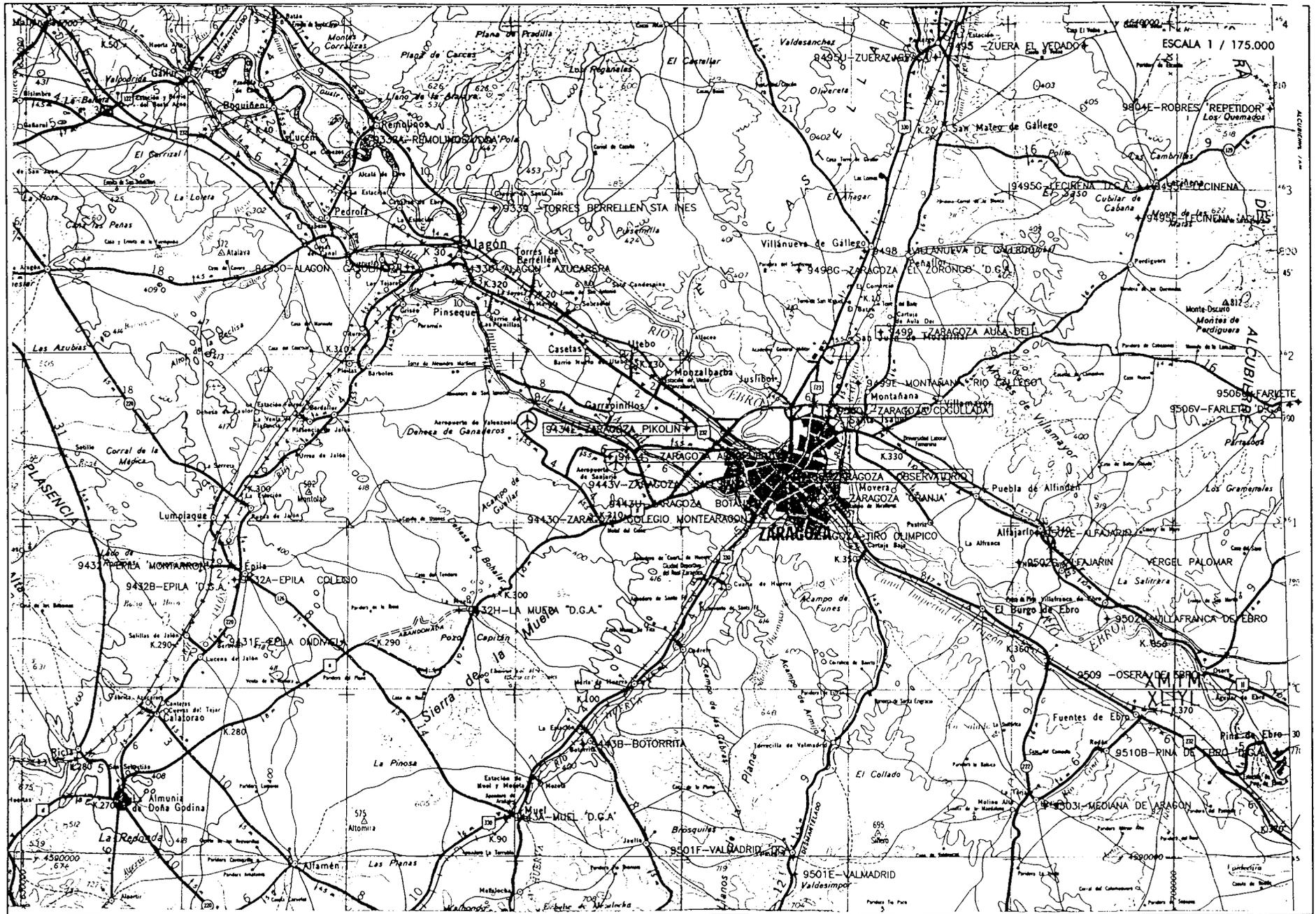


Figura A.6.1. : Estaciones meteorológicas en el entorno de Zaragoza.

### 3. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Muchas de las estaciones meteorológicas indicadas son de mala calidad debido a la escasa longitud de sus registros y a la discontinuidad de muchas de ellas, mientras que otras no son representativas de la zona estudiada debido a su lejanía respecto a ésta.

Para describir las características climáticas de la zona (Cuadro A.6.2.) se ha tomado como estación de referencia la 9434 Zaragoza Aeropuerto, con un registro de más de 40 años completos, situada a 240 m. de altitud, 1° 0' 29'' de longitud W y 41° 39' 43'' de latitud N. En algún caso se han empleado datos de otras estaciones para completar el estudio climático.

Los datos de Humedad e Insolación proceden de la publicación:

"Notas para una climatología de Zaragoza". Publicación N-S. Instituto Nacional de Meteorología. Madrid, 1985. (Período 1931-1960)".

Los datos de viento son del Observatorio de Zaragoza (9443E).

Otras características climáticas:

Duración media del período frío	Noviembre a Abril (ambos inclusive)
Fecha primera y última helada	27 de Octubre y 1 de Abril
Evapotranspiración potencial media	780,3 mm
Pluviometría media	321,5 mm
Duración media del período seco	15 de Julio a 15 de Noviembre
Clasificación agroclimática de Papadakis	Mediterráneo continental templado

**Cuadro A.6.3.** : Otras características climáticas del área de estudio.

Variables climáticas básicas	9434 AEROPUERTO (ZARAGOZA)													
	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	AÑO	
Precipitación media (mm)	21,5	21,2	24,4	34,2	41,2	32,5	15,8	16,4	29,0	30,2	30,8	24,3	322,0	
Días de lluvia	8,8	8,8	9,1	10,0	22,2	8,5	5,4	5,8	7,2	9,0	9,4	0,6	102,8	
Días de nieve	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,5	
Días de niebla	6,0	1,8	0,8	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,7	1,8	4,0	6,5	22,2	
Temperatura media (°C)	6,1	7,7	10,5	12,9	17,1	20,9	24,3	24,0	20,4	15,2	9,8	6,8	14,6	
Temperatura mínima media (°C)	2,2	2,9	4,9	7,2	10,9	14,5	17,3	17,3	14,3	9,9	5,5	3,3	9,2	
Temperatura máxima media (°C)	10,1	12,5	16,2	18,6	23,3	27,3	31,4	30,6	26,5	20,5	14,2	10,3	20,1	
Temperatura mínima absoluta (°C)	-10,4	-11,4	-6,3	-2,4	0,5	5,2	8,0	8,0	2,6	-0,4	-5,6	-7,7	-11,4	
Temperatura máxima absoluta (°C)	19,8	22,5	28,3	30,6	36,0	41,0	43,0	41,2	39,2	30,7	28,4	21,8	43,0	
Humedad relativa media (%)	73	66	59	56	54	53	50	52	59	65	71	75	61	
Insolación (horas)	134	165	199	230	280	312	362	326	236	193	159	124	2720	
Características básicas del viento	Racha máxima (Km/h)	135	143	116	126	122	122	160	127	119	111	124	141	160
	Dirección de la racha máxima	W	WNW	WNW	NW	WNW	SSW	NW	NNW	WNW	NWW	NW	NW	NW
	Recorrido medio en 1 día (Km)	395	404	415	472	395	405	393	365	334	335	333	387	386
Evapotranspiración potencial media (mm)	11,8	18,6	33,1	50,1	83,5	117,6	145,3	133,3	94,4	54,2	25,0	13,5	780,3	

**Cuadro A.6.2.** : Características climáticas del área de estudio.

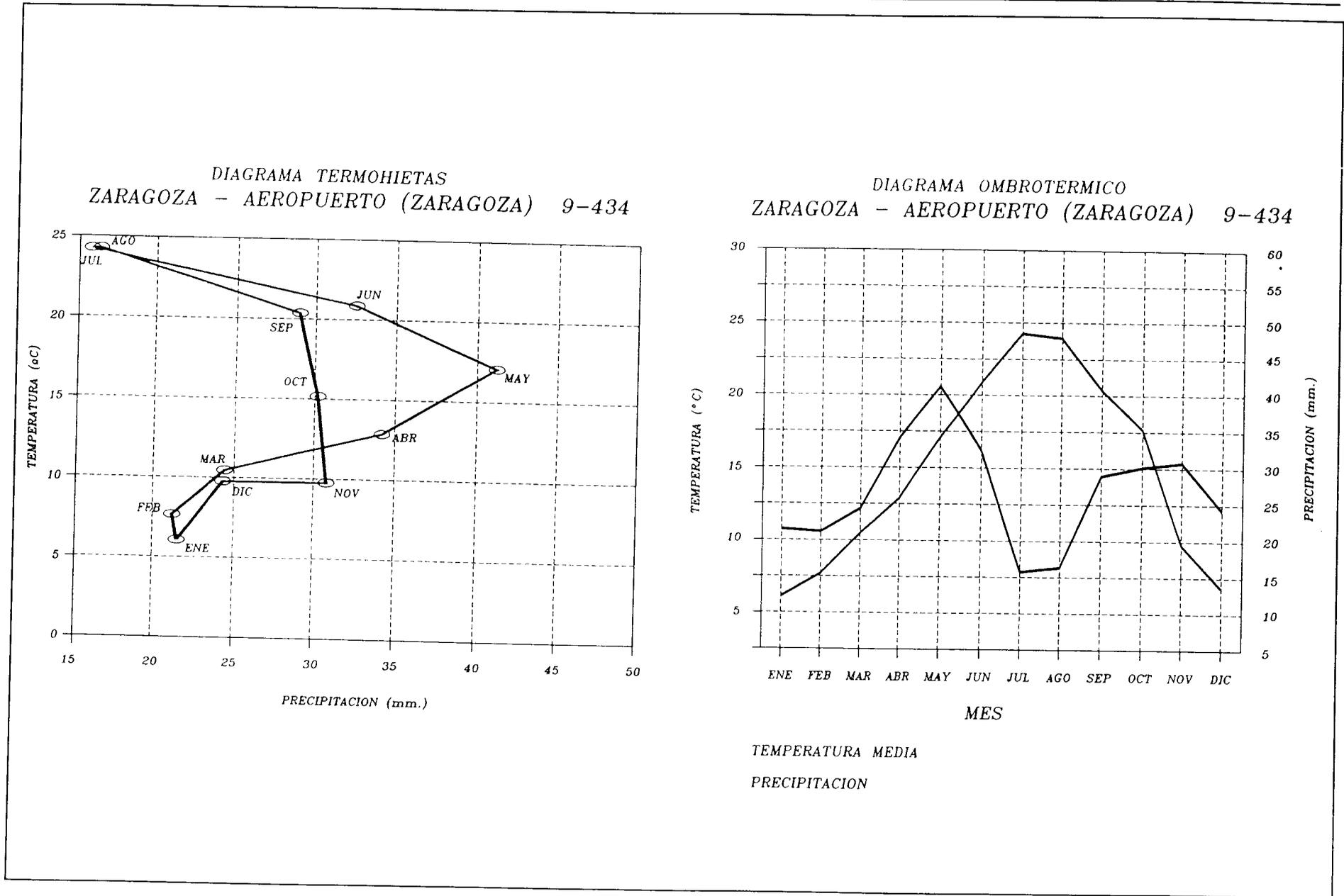


Figura A.6.2. : Diagramas de Termohietas y Ombrotérmico de la estación meteorológica 9434 (ZARAGOZA 'AEROPUERTO').

### 4. ESTUDIO PLUVIOMÉTRICO.

El estudio pluviométrico tiene por finalidad la caracterización de las precipitaciones extremas en el área de estudio, y en particular la obtención de las curvas intensidad-duración-frecuencia, con el objetivo último de estimar los caudales extremos generados en las diferentes cuencas.

#### 4.1. Estudios existentes.

A continuación se pasa revista a diferentes estudios pluviométricos existentes, enumerando su origen, datos y criterios que utilizan, características, resultados, conclusiones,...

##### 4.1.1. Servicio de Infraestructura Hidráulica. Ayuntamiento de Zaragoza.

El Servicio de Infraestructura Hidráulica del Ayuntamiento de Zaragoza realizó, con motivo de la aprobación de la Instrucción de Carreteras 5.2.-IC "Drenaje superficial" en mayo de 1990, un informe bajo el título "Método de cálculo de los caudales de aguas pluviales en colectores" en el que, para el cálculo de la Intensidad de lluvia, se sigue de forma exacta el procedimiento indicado en la citada Instrucción.

**Procedimiento:**

① Determinación de la precipitación total diaria correspondiente al período de retorno  $t$ :  $Pd(t)$ .

Se obtiene de los mapas contenidos en la publicación "Isolíneas de precipitación máximas presumibles en un día" de la Dirección General de Carreteras (Figuras A.6.4 a 11).

② Determinación de la intensidad media diaria de precipitación correspondiente al período de retorno,  $Id(t)$ .

$$Id(t) = \frac{Pd(t)}{24}$$

③ Determinación de la Intensidad horaria de precipitación correspondiente al período de retorno  $T$ ,  $I_1(T)$ .

Se obtiene a partir de la relación  $\frac{I_1}{Id}$  de la Figura A.6.3.



Figura A.6.3.: Mapa de isolinias  $I_1/Id$

Para el caso de Zaragoza  $\implies \frac{I_1}{Id} = 10$

④ Cálculo de la intensidad del aguacero,  $I_t(T)$ , correspondiente a la duración del mismo ( $t$ ) y para el periodo de retorno considerado ( $T$ ).



### ISOLINEAS DE PRECIPITACIONES MAXIMAS PREVISIBLES EN UN DIA

HOJA VII

Periodo de retorno 5 años

**M.O.P.U.** DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS Y CAMINOS VECINALES  
SERVICIO DE TECNOLOGIA DE CARRETERAS  
SECCION DE GEOTECNIA Y PROSPECCIONES

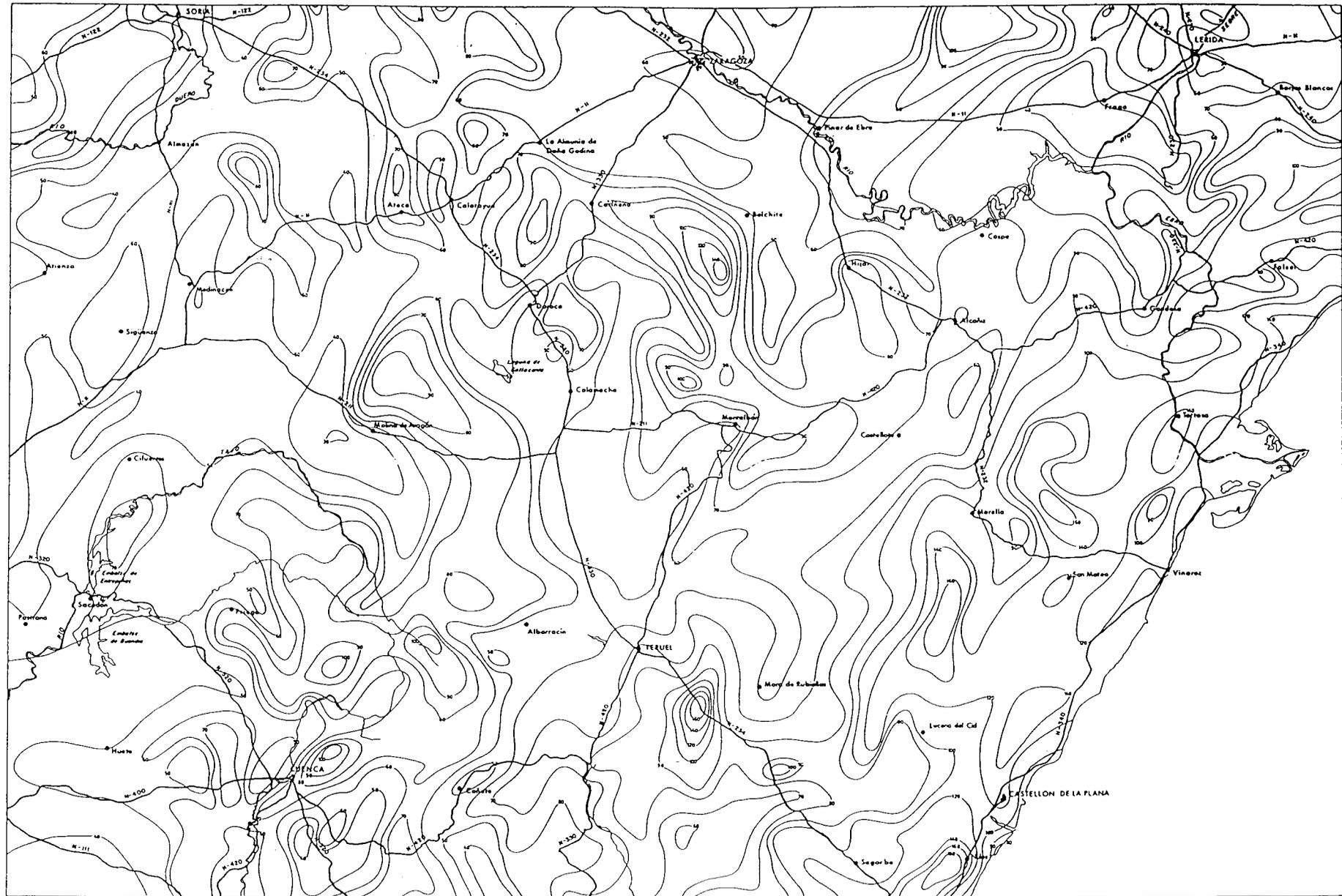


Figura A.6.5. : ISOLÍNEAS DE PRECIPITACIONES MAXIMAS PREVISIBLES EN UN DIA. Periodo de retorno de 5 años.

II	III	IV
VI	VII	VIII
X	XI	

ISOLINEAS DE PRECIPITACIONES MAXIMAS PREVISIBLES EN UN DIA

Periodo de retorno 10 años

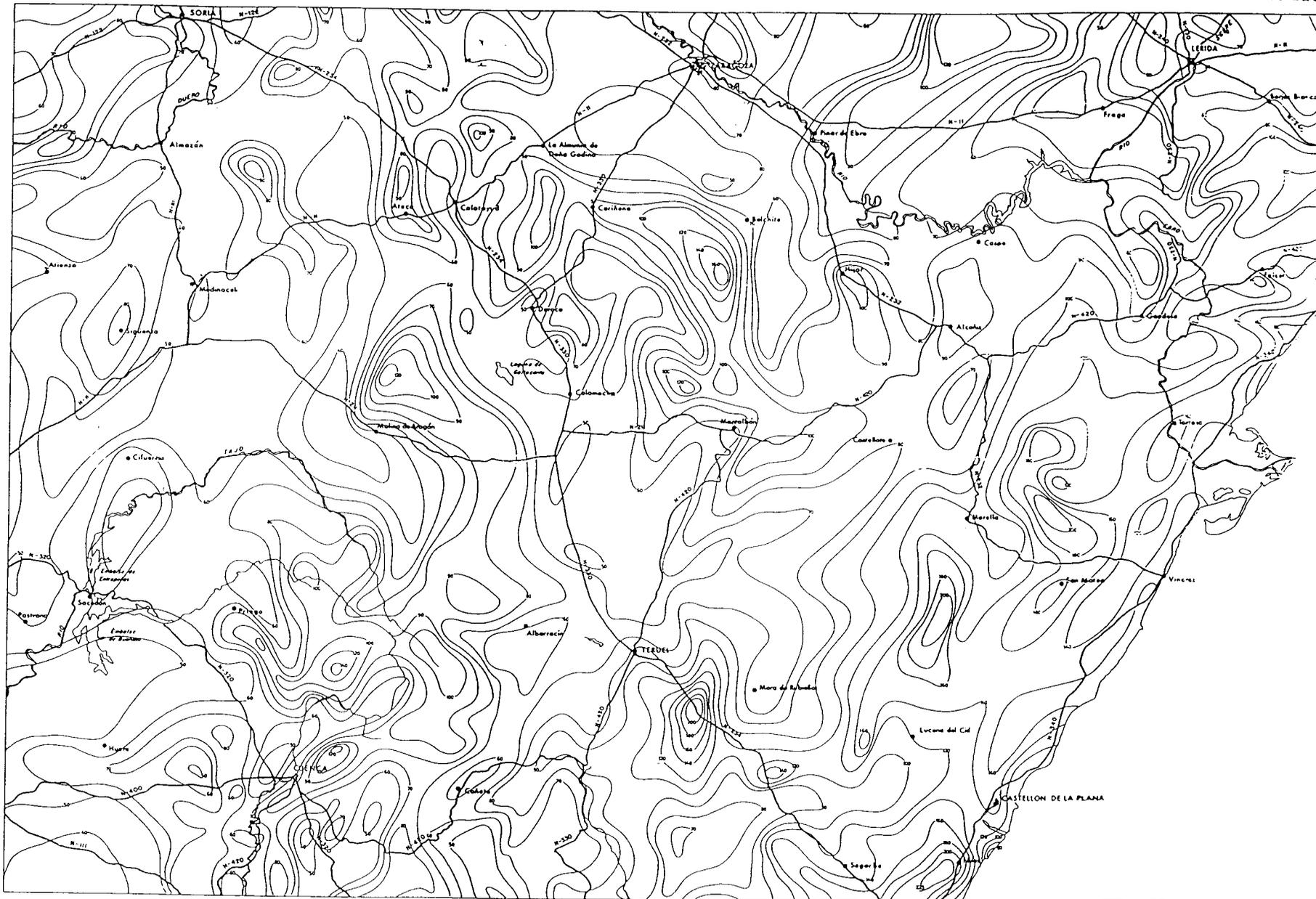
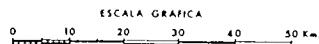


Figura A.6.6 : ISOLINEAS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS PREVISIBLES EN UN DÍA. Periodo de retorno de 10 años.



II	III	IV
VI	VII	VIII
X	XI	

### ISOLINEAS DE PRECIPITACIONES MAXIMAS PREVISIBLES EN UN DIA

HOJA VII

Periodo de retorno 15 años

**M.O.P.U.** DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS Y CAMINOS VEGIALES  
SERVICIO DE TECNOLOGIA DE CARRETERAS  
SECCION DE GEOTECNIA Y PROSPECCIONES

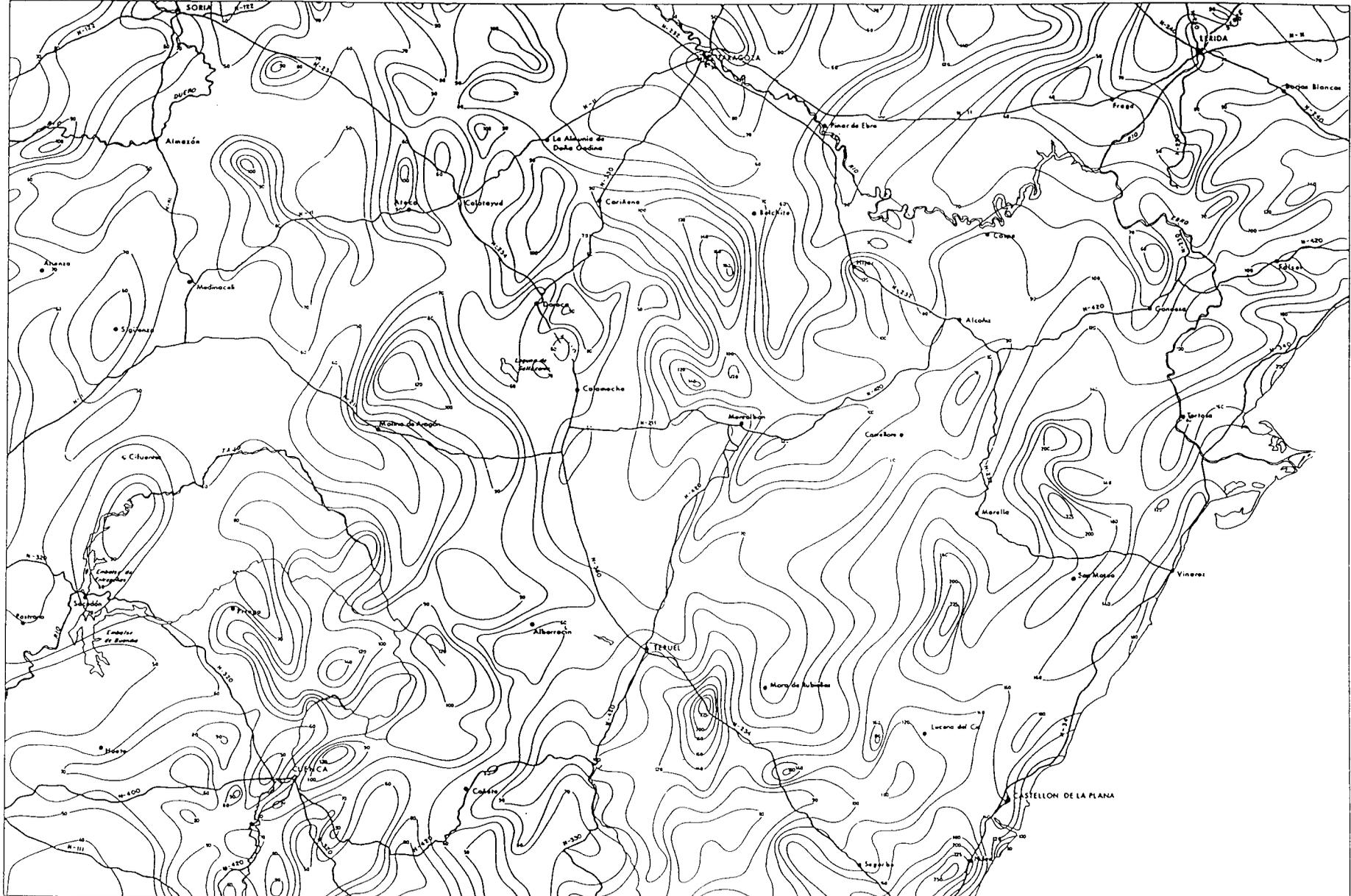


Figura A.6.7. : ISOLINEAS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS PREVISIBLES EN UN DIA Período de retorno de 15 años.

II	III	IV
VI	VII	VIII
X	XI	

### ISOLINEAS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS PREVISIBLES EN UN DIA

HOJA VII

Período de retorno 20 años

**M.O.P.U.** DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS Y CAMINOS VECINALES  
SERVICIO DE TECNOLOGIA DE CARRETERAS  
SECCION DE GEOTECNIA Y PROSPECCIONES

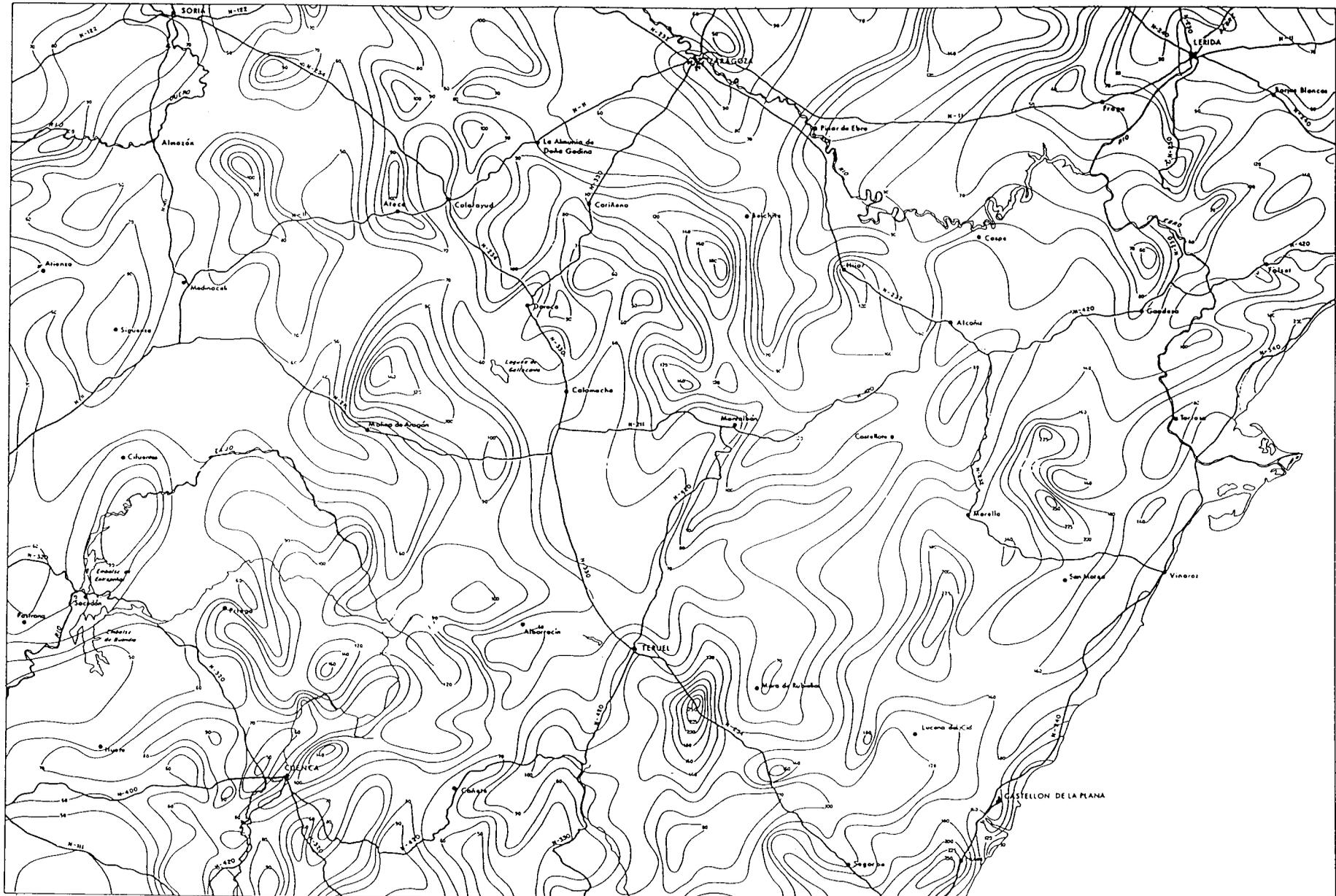


Figura A.6.8. : ISOLINEAS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS PREVISIBLES EN UN DIA. Período de retorno de 20 años.

II	III	IV
VI	VII	VIII
X	XI	

ISOLINEAS DE PRECIPITACIONES MAXIMAS  
PREVISIBLES EN UN DIA

Periodo de retorno 25 años

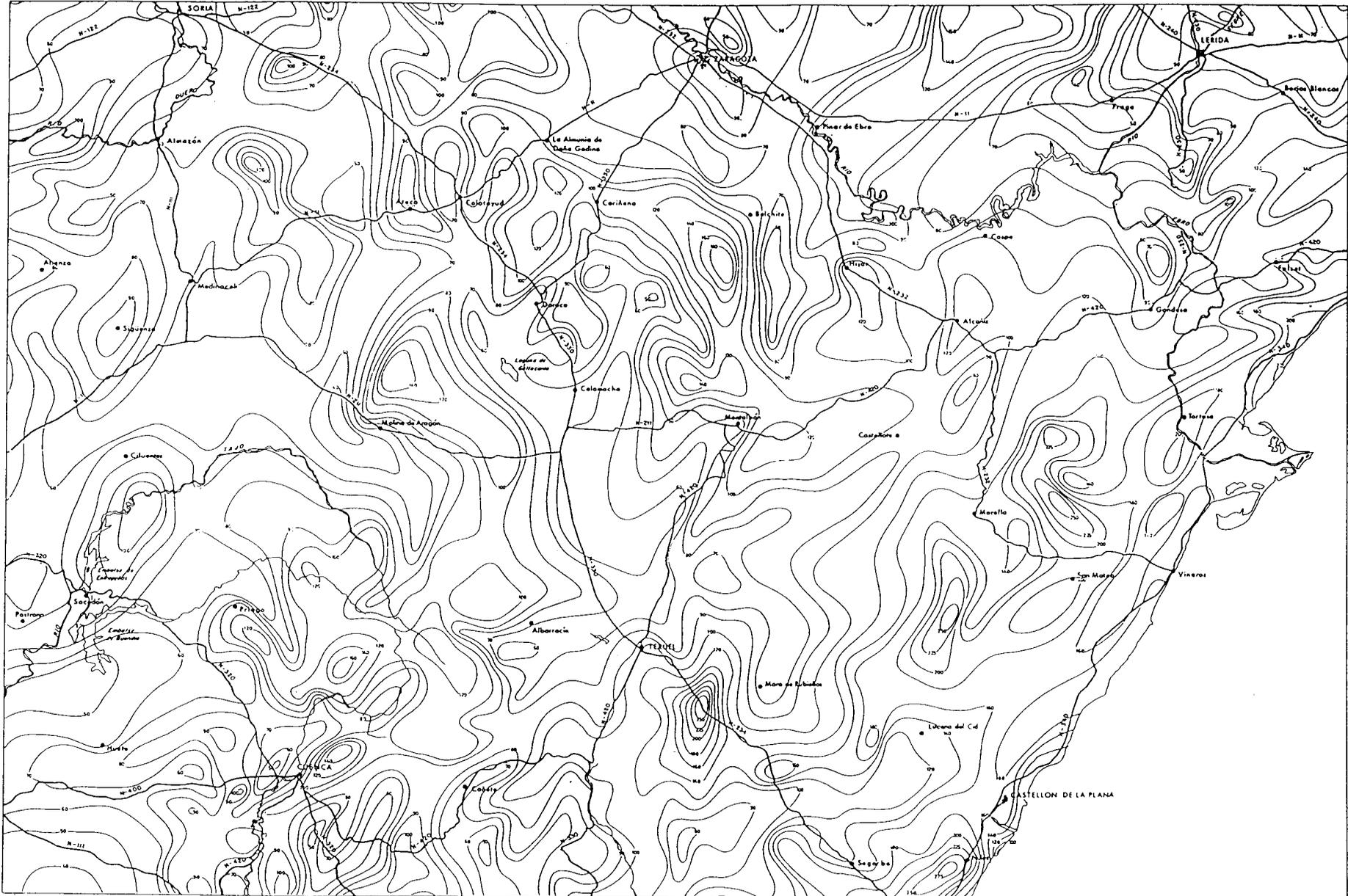


Figura A.6.9. : ISOLINEAS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS PREVISIBLES EN UN DÍA. Periodo de retorno de 25 años.

II	III	IV
VI	VII	VIII
X	XI	



**M.O.P.U.**

DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS Y CAMINOS VECIALES  
SERVICIO DE TECNOLOGIA DE CARRETERAS  
SECCION DE GEOTECNIA Y PROSPECCIONES

# ISOLINEAS DE PRECIPITACIONES MAXIMAS PREVISIBLES EN UN DIA

HOJA VII

Periodo de retorno 50 años

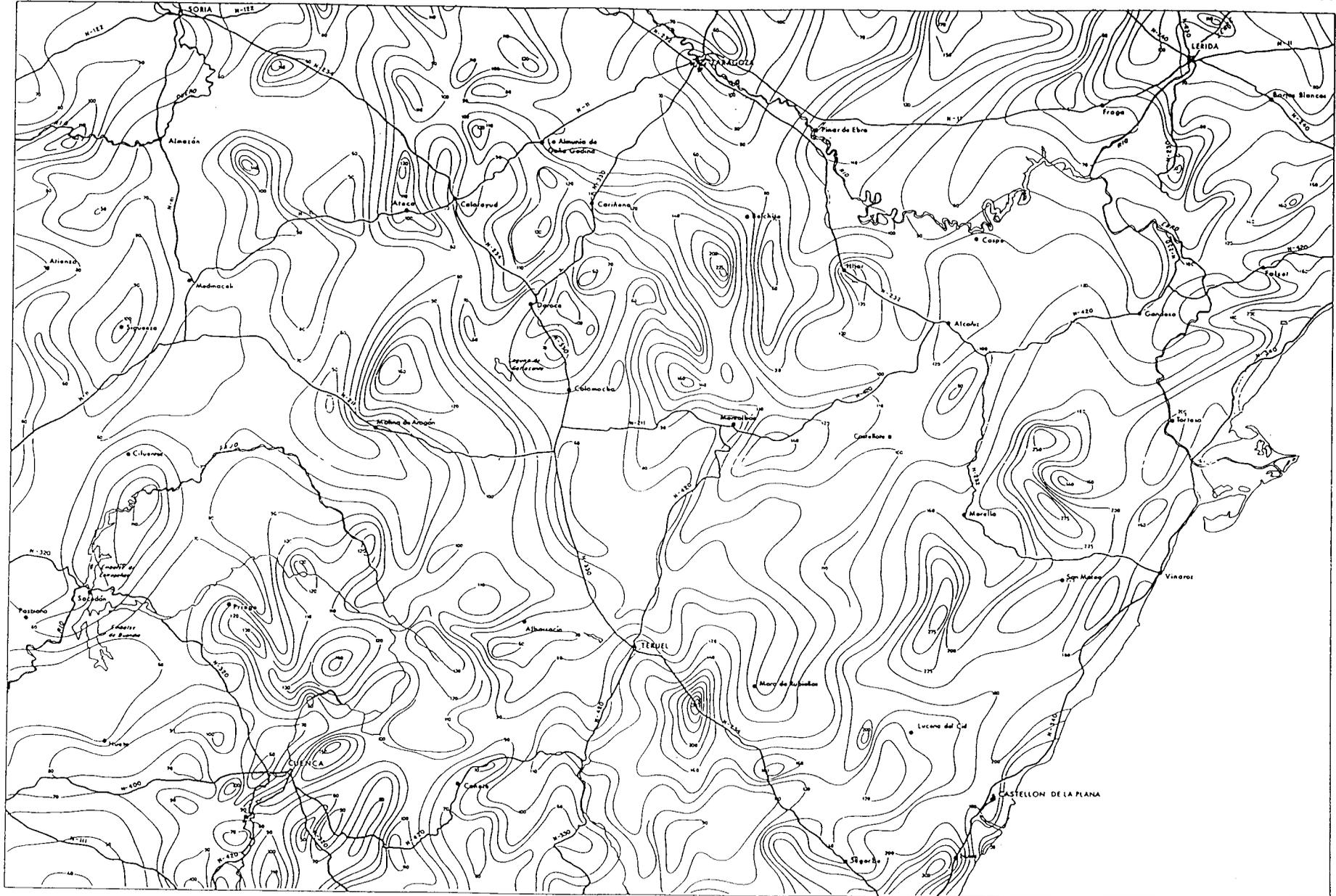


Figura A.6.10. : ISOLINEAS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS PREVISIBLES EN UN DÍA. Periodo de retorno de 50 años.

II	III	IV
VI	VII	VIII
X	XI	

### ISOLINEAS DE PRECIPITACIONES MAXIMAS PREVISIBLES EN UN DIA

HOJA VII

Periodo de retorno 100 años

M.O.P.U. DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS Y CAMINOS VECINALES  
SERVICIO DE TECNOLOGIA DE CARRETERAS  
SECCION DE GEOTECNIA Y PROSPECCIONES

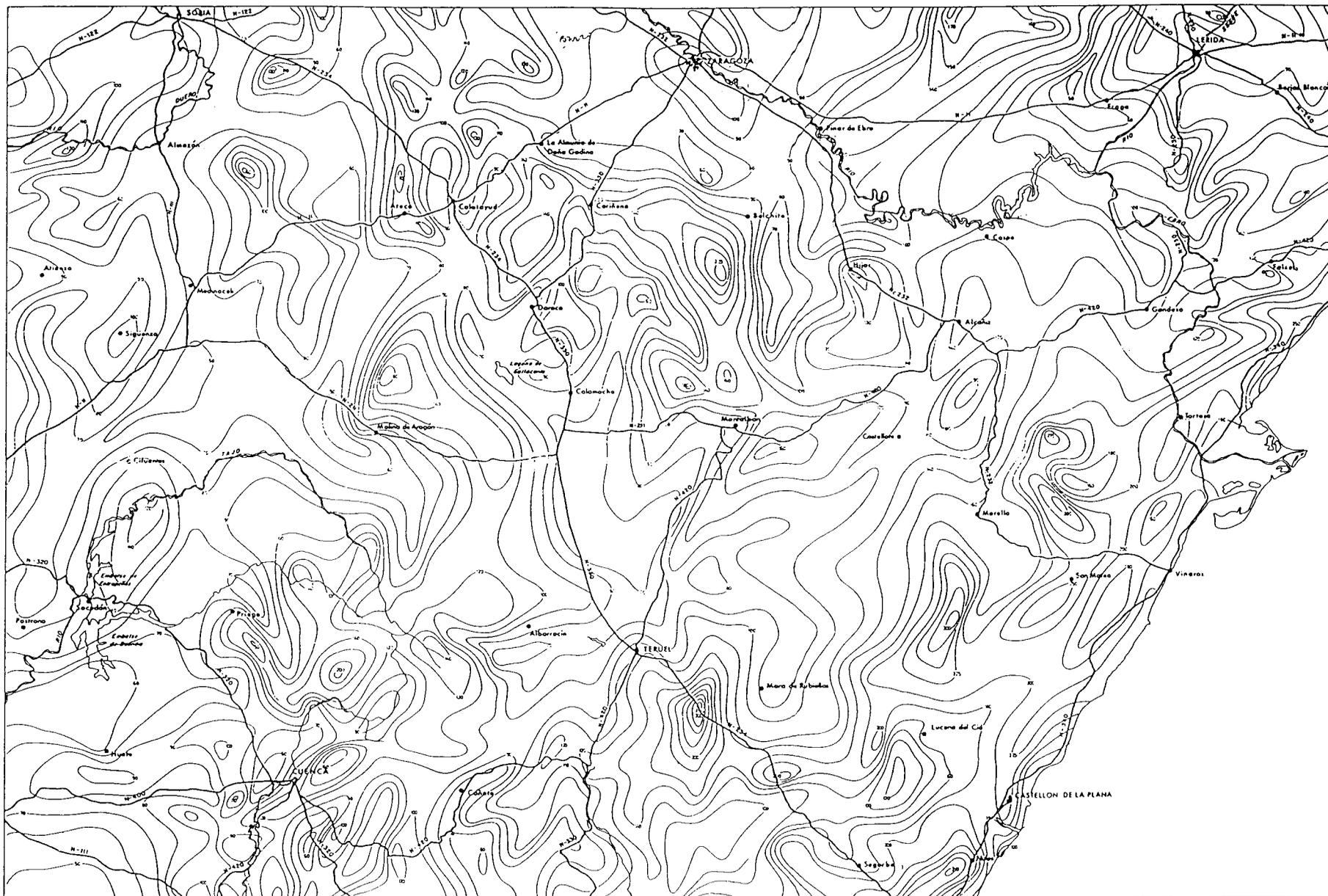


Figura A.6.11. : ISOLINEAS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS PREVISIBLES EN UN DÍA. Periodo de retorno de 100 años.

II	III	IV
VI	VII	VIII
X	XI	

Se calcula por medio de las siguientes fórmulas, donde *t* viene en horas:

$$\frac{It}{Id} = \left( \frac{I_1}{Id} \right)^{\frac{28^{0.1} - t^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

**Resultados:**

En las Cuadro A.6.4. se indican los valores obtenidos.

Anteriormente a la aplicación del método de la Instrucción de Carreteras, en Vialidad y Aguas se manejaban las siguientes Intensidades de lluvia.

$$It(T) = 88,4 \cdot K1(t) \cdot K2(T)$$

con *It(T)* en l/s y Ha. y *K1(t)* y *K2(T)* los valores indicados en la siguiente tabla:

ANTIGUAS FÓRMULAS DE VALIDAD Y AGUAS									
It (l/s y Ha)		CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA.							
T (años)		1	2	3	4	5	10	25	100
K2 (T)		0,45	0,60	0,68	0,75	0,80	1,00	1,25	1,91
t (minutos)	K1 (t)								
5	3,224	128,25	171,00	193,80	213,75	228,00	285,00	366,25	544,35
10	2,828	112,50	150,00	170,00	187,50	200,00	250,00	312,49	477,49
15	2,508	99,77	133,02	150,76	166,28	177,37	221,71	277,13	423,46
20	2,131	84,77	113,03	128,10	141,29	150,70	188,38	235,48	359,81
30	1,622	64,52	86,03	97,50	107,54	114,71	143,38	179,23	273,86
40	1,380	54,90	73,20	82,95	91,49	97,59	121,99	152,49	233,00
50	1,176	46,78	62,38	70,69	77,97	83,17	103,96	129,95	198,56
60	1,000	39,78	53,04	60,11	66,30	70,72	88,40	110,50	168,84

**Cuadro A.6.5. :** Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia según el antiguo método Vialidad y Aguas.

MÉTODO DE LA INSTRUCCIÓN DE CARRETERAS APLICADO POR VALIDAD Y AGUAS								
It (l/s y Ha)	CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA.							
T (años)	3	5	10	25	20	25	50	100
Pd (mm)	52	62	81	88	91	93	100	104
ld (mmh)	2,167	2,583	3,375	3,667	3,792	3,875	4,167	4,333
t (minutos)								
10	156,42	186,51	243,66	264,72	273,74	279,76	300,82	312,85
15	127,89	152,48	199,21	216,43	223,81	228,72	245,94	255,78
20	110,30	131,51	171,82	186,66	193,03	197,27	212,12	220,60
25	98,05	116,91	152,74	165,93	171,59	175,36	188,56	196,10
30	88,89	105,98	138,46	150,42	155,55	158,97	170,93	177,77
35	81,69	97,40	127,25	138,25	142,96	146,10	157,10	163,38
40	75,85	90,44	118,15	128,37	132,74	136,66	145,87	151,71
45	70,99	84,64	110,58	120,14	124,23	126,96	136,52	141,98
50	66,86	79,72	104,15	113,15	117,01	119,58	128,58	133,72
55	63,30	75,47	98,60	107,12	110,77	113,21	121,73	126,60
60 (1 h)	60,19	71,76	93,75	101,85	105,32	107,64	115,74	120,37
65	57,43	68,48	89,46	97,20	100,51	102,72	110,45	114,87
70	54,98	65,55	85,64	93,04	96,22	98,33	105,73	109,96
75	52,78	62,92	82,21	89,31	92,36	94,39	101,49	105,55
80	50,78	60,54	79,10	85,93	88,86	90,82	97,65	101,56
85	48,96	58,38	76,27	82,86	85,68	87,57	94,16	97,92
90	47,30	56,39	73,68	80,04	82,77	84,59	90,96	94,60
95	45,77	54,57	71,29	77,46	80,10	81,86	88,02	91,54
100	44,36	52,89	69,09	75,07	77,62	79,33	85,30	88,71
105	43,05	51,33	67,05	72,85	75,33	76,99	82,78	86,09
110	41,83	49,87	65,16	70,79	73,20	74,81	80,44	83,66
115	40,69	48,52	63,38	68,86	71,21	72,78	78,25	81,38
120 (2 h)	39,63	47,25	61,73	67,06	69,35	70,87	76,21	79,25
150	34,42	41,04	53,62	58,25	60,24	61,56	66,20	68,84
180 (3 h)	30,61	36,50	47,68	51,80	53,57	54,74	58,86	61,22
240 (4 h)	25,32	30,19	39,44	42,85	44,31	45,28	48,69	50,64
300 (5 h)	21,77	25,96	33,92	36,85	38,10	38,94	41,87	43,55
360 (6 h)	19,20	22,89	29,91	32,49	33,60	34,34	36,92	38,40

**Cuadro A.6.4. :** Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia según el método de la Instrucción de Carreteras aplicado por Vialidad y Aguas.

#### 4.1.2. Proyecto de Construcción del Tercer Cinturón.

Este estudio pluviométrico forma parte del Anejo nº 4: Climatología e Hidrología del Proyecto de la Ronda de la Hispanidad (Tercer cinturón) anteriormente citado.

##### **Procedimiento.**

En este proyecto se sigue un complejo proceso, del que se indican brevemente los principales pasos seguidos.

##### ① Selección de estaciones pluviométricas.

De las 74 inicialmente consideradas se eliminan las de menos de 15 años, con información incompleta o redundante, pasando a 16 estaciones.

② Ajuste de las precipitaciones a distribuciones extremales. Se utilizan las siguientes:

- Distribución estadística de Grumbel (tipo I).
- Distribución estadística de log-Pearson (tipo III).
- Distribución estadística de log-Pearson con asimetrías corregidas (esta la distribución que se usa).

③ Dibujo de los mapas de isolíneas (T=2'33, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años).

A partir de las siguientes 9 estaciones pluviométricas, se calculan las isoyetas máximas por interpolación estocástica (Kriging).

ESTACIÓN	NOMBRE	SITUACIÓN
EM 9 426	Longares	Zaragoza
EM 9 432	Epila - Montarrón	Zaragoza
EM 9 433 U	Alagón - Azucarera	Zaragoza
EM 9 434	Zaragoza - Aeropuerto	Zaragoza
EM 9 443	Mezalocha - Embalse	Zaragoza
EM 9 443 E	Zaragoza - Observatorio	Zaragoza
EM 9 497	Perdiguera	Zaragoza
EM 9 502 E	Alfajarín	Zaragoza
EM 9 503 U	Fuentes de Ebro	Zaragoza

**Cuadro A.6.6.** : Estaciones pluviométricas consideradas finalmente en el Proyecto de Construcción del Tercer Cinturón para el dibujo de los mapas de isolíneas.

En las Figuras A.6.12. a A.6.18. se muestran los Mapas de Isolíneas calculados según el proyecto del Tercer Cinturón.

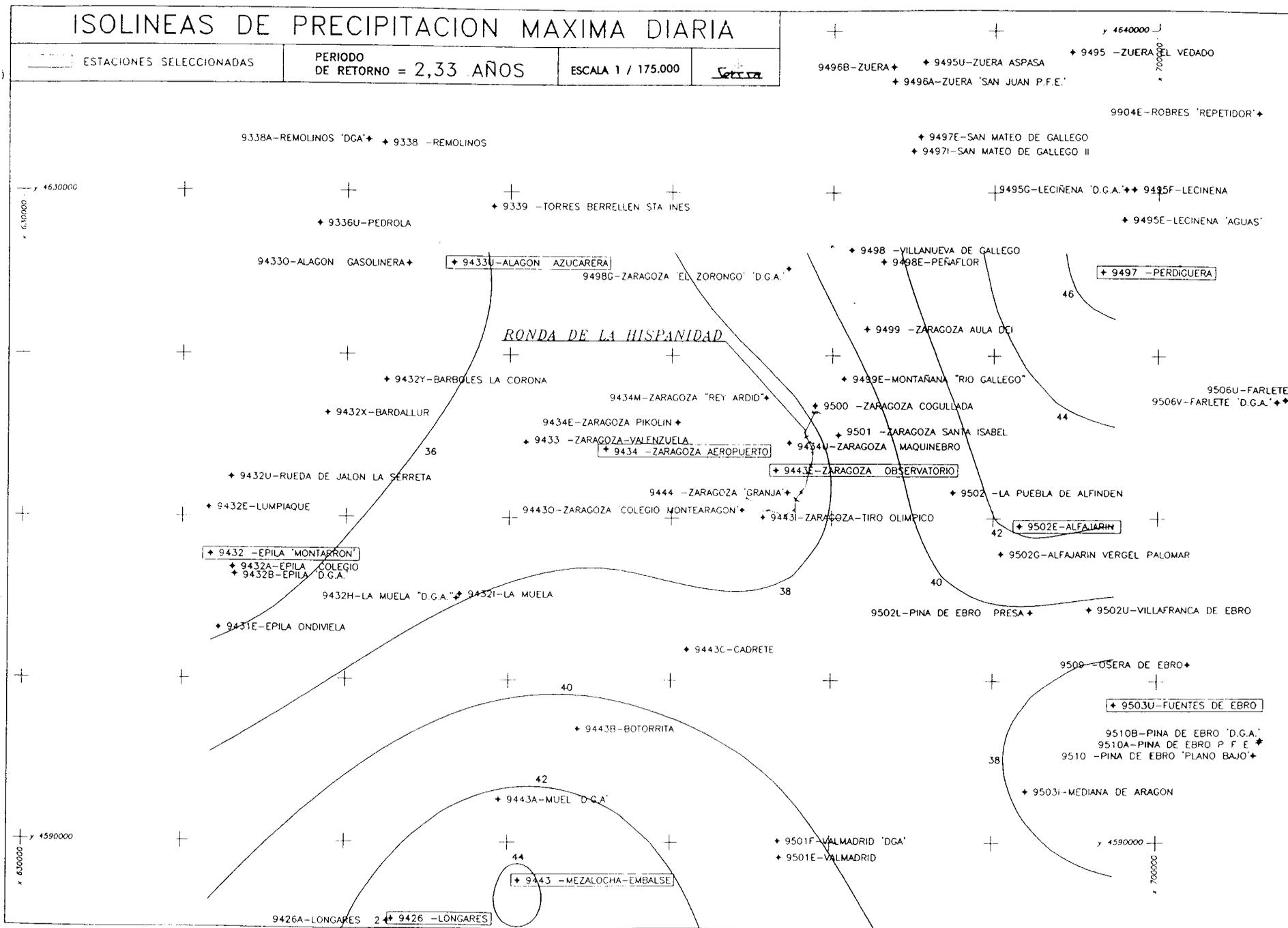


Figura A.6.12. : ISOLÍNEAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA (Proyecto del Tercer Cinturón). Período de retorno de 2,33 años.

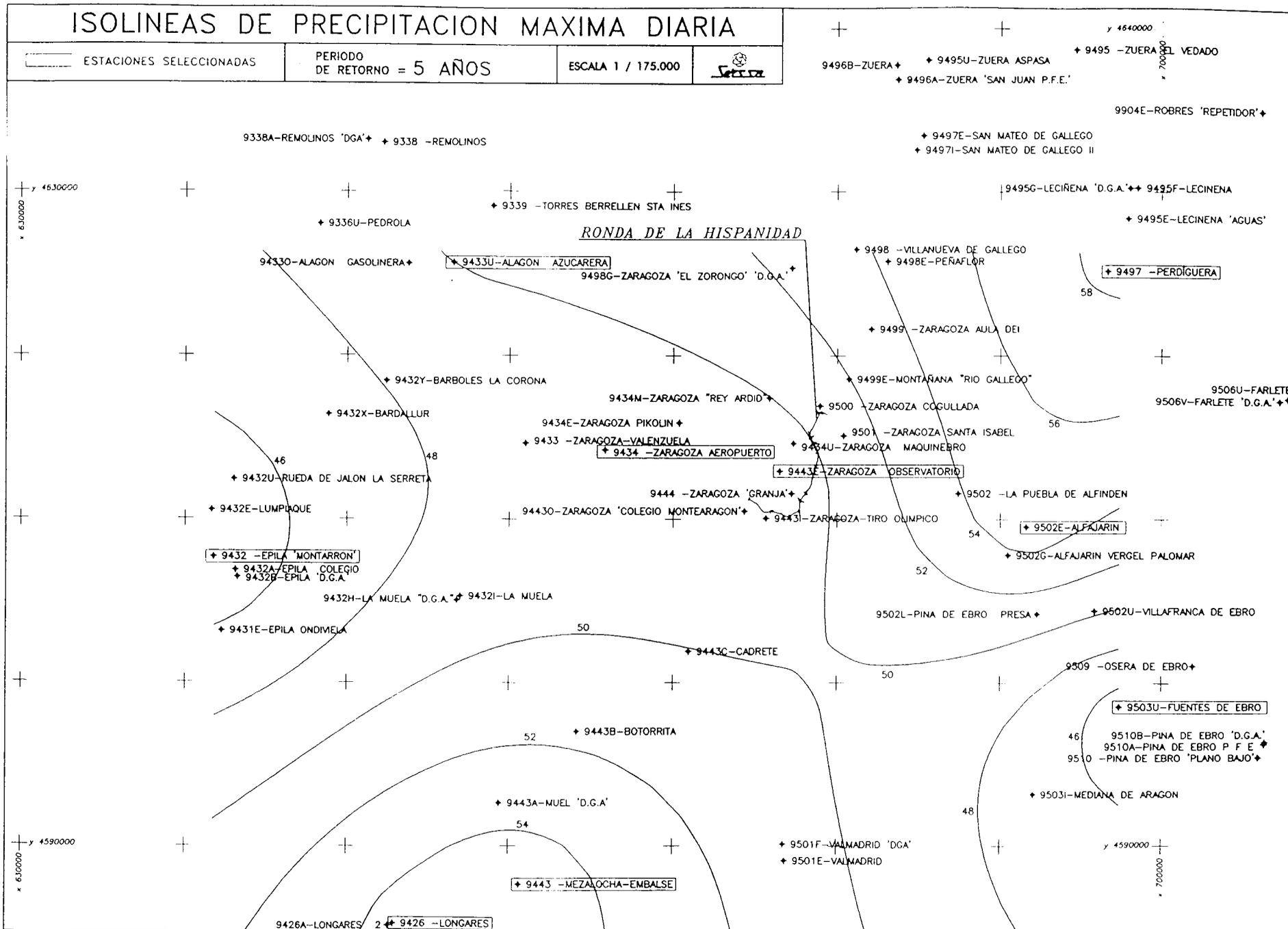


Figura A.6.13. : ISOLÍNEAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA (Proyecto del Tercer Cinturón). Período de retorno de 5 años.

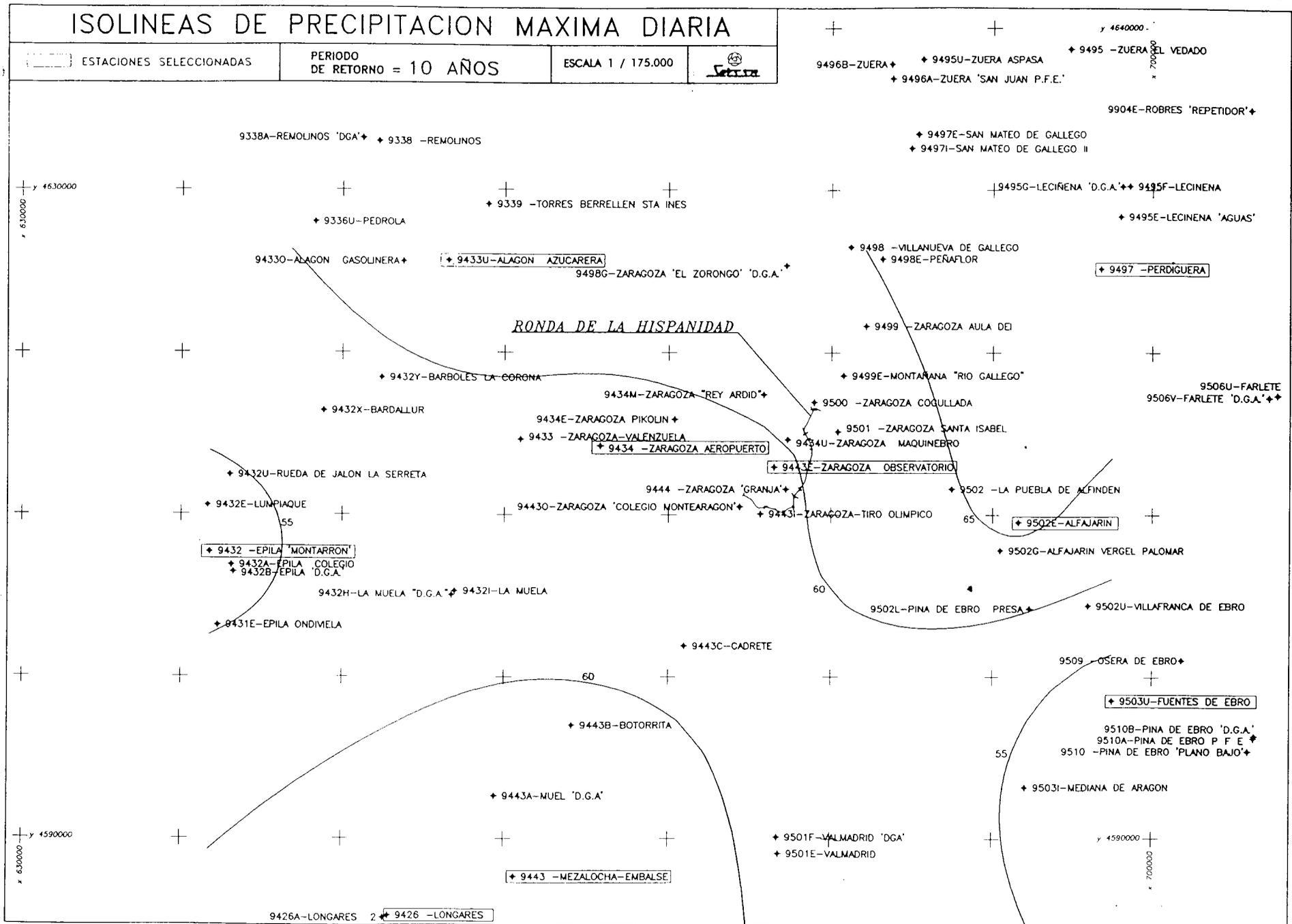


Figura A.6.14. : ISOLINEAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA (Proyecto del Tercer Cinturón). Período de retorno de 10 años.

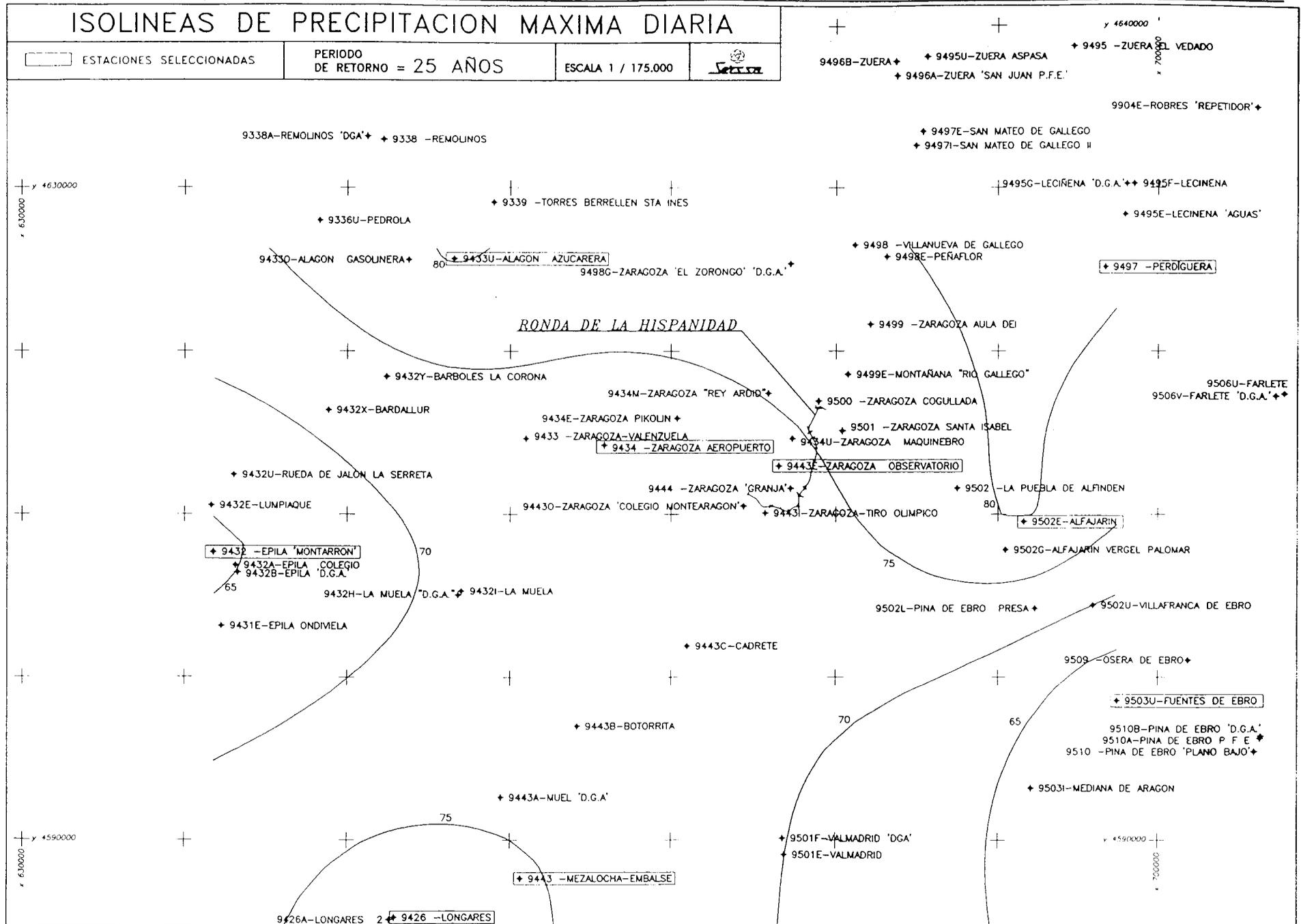


Figura A.6.15. : ISOLÍNEAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA (Proyecto del Tercer Cinturón). Período de retorno de 25 años.

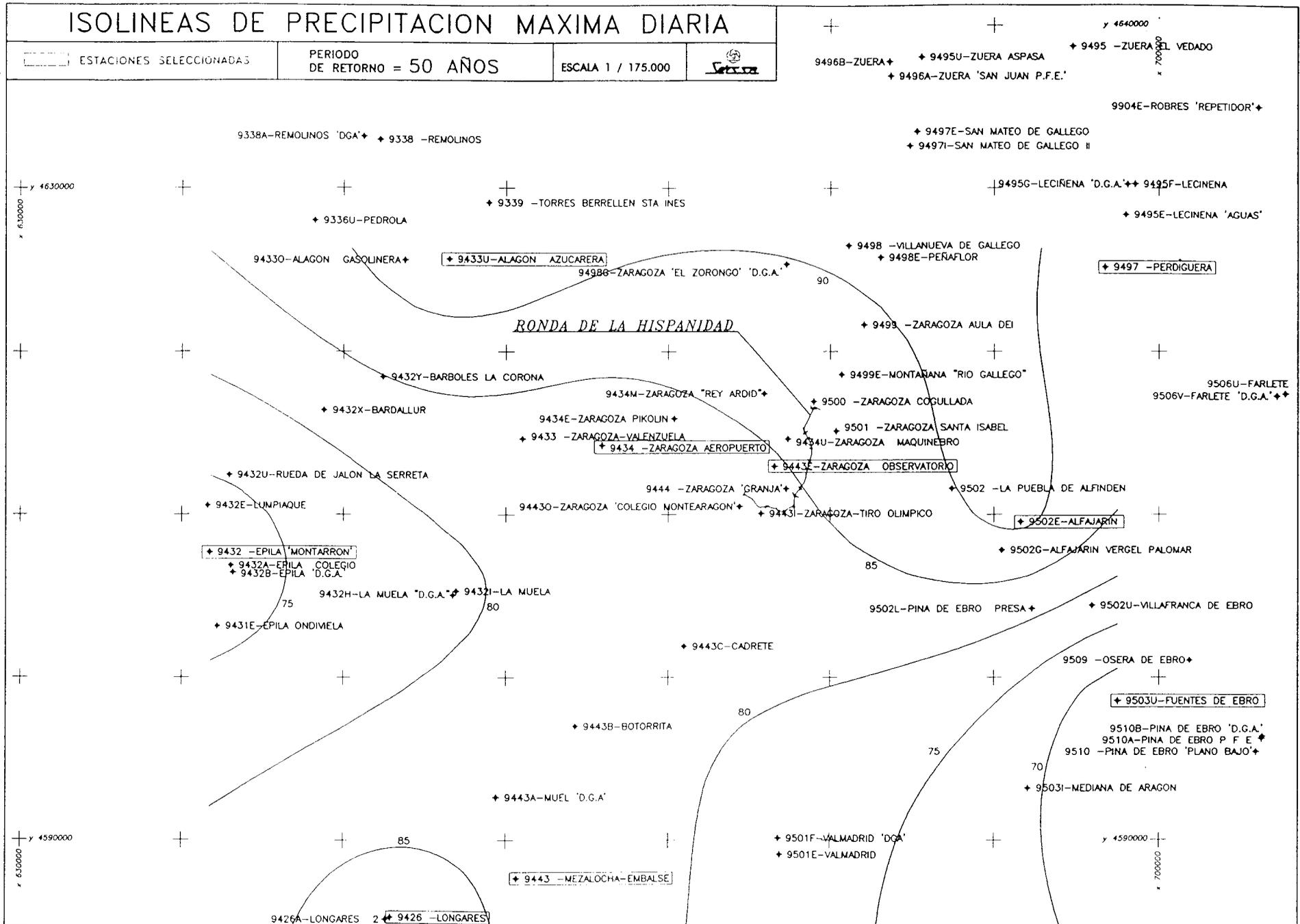


Figura A.6.16. : ISOLÍNEAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA (Proyecto del Tercer Cinturón). Periodo de retorno de 50 años.

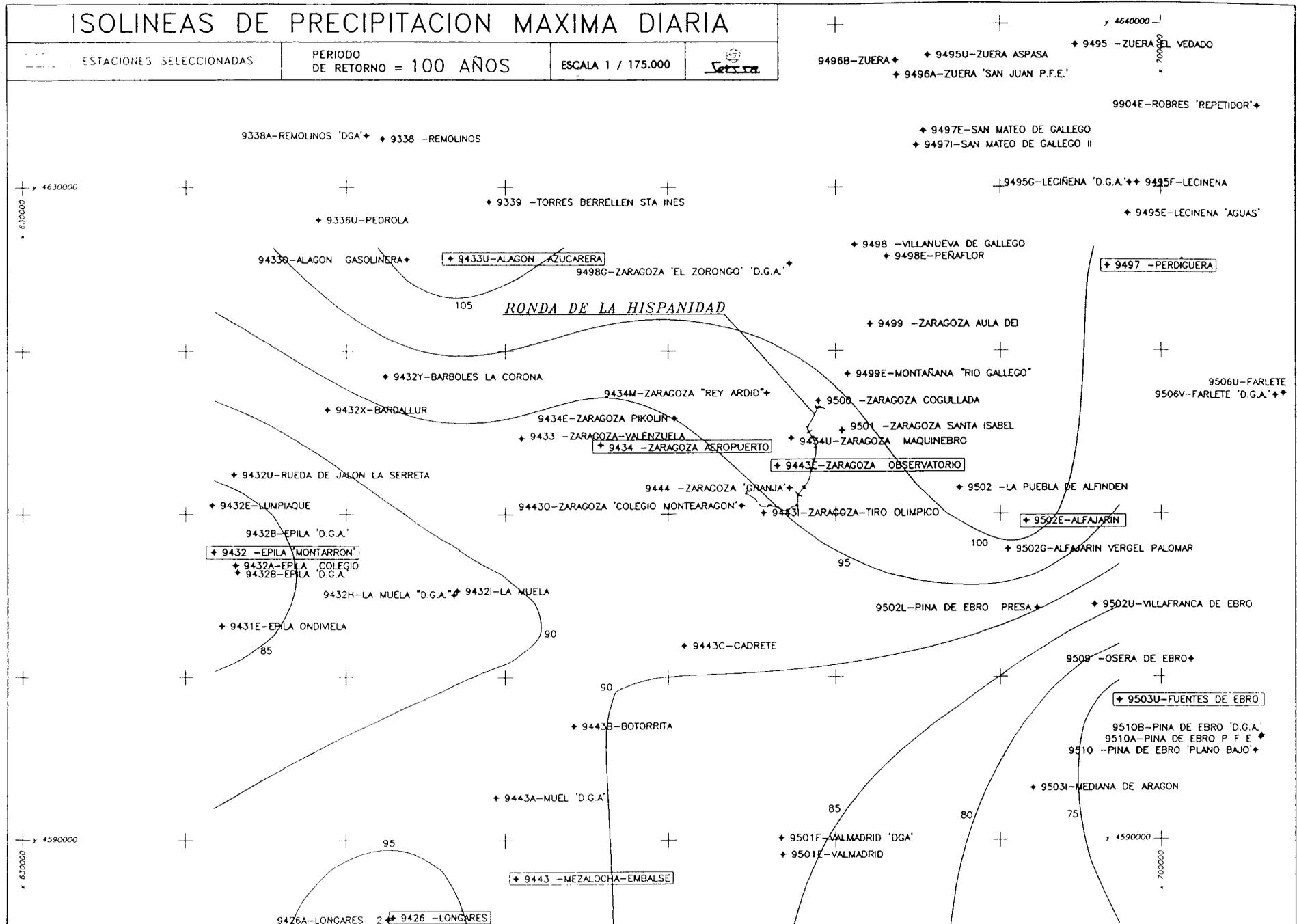


Figura A.6.17. : ISOLÍNEAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA (Proyecto del Tercer Cinturón). Periodo de retorno de 100 años.

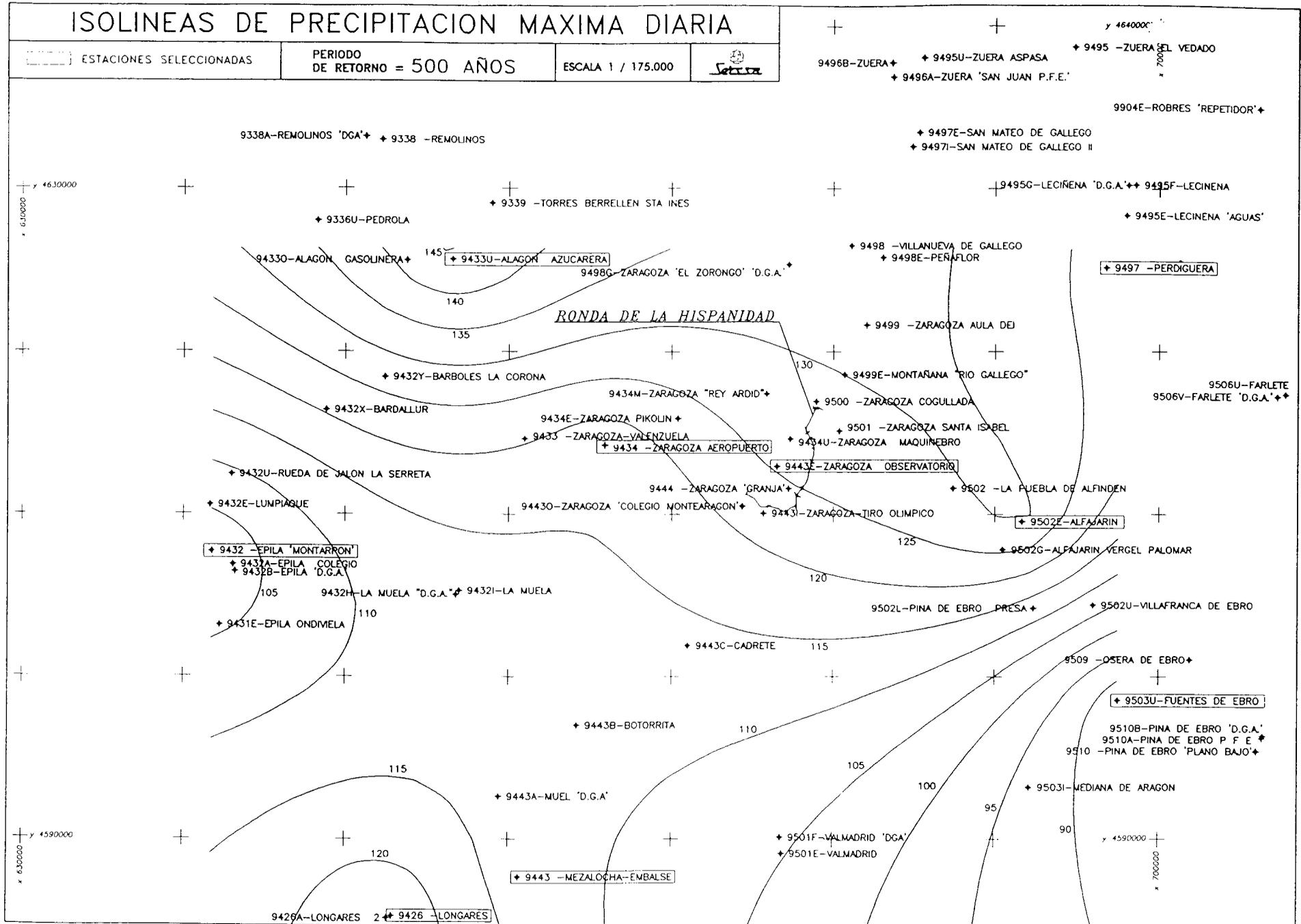


Figura A.6.18. : ISOLÍNEAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA (Proyecto del Tercer Cinturón). Periodo de retorno de 500 años.

En el Proyecto del Tercer Cinturón también se han recogido datos de precipitaciones máximas en períodos cortos de tiempo (intensidades) en los pluviógrafos del Aeropuerto (9433) y en el Observatorio de Zaragoza (9443 E). En particular se incluye el cálculo realizado por el:

Instituto Nacional de Conservación de la Naturaleza (ICONA)  
 Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA).  
 1979. Monografía 21: “Precipitaciones máximas en España”.

**DATOS DE PRECIPITACION EN 9433 ZARAGOZA AEROPUERTO**  
 Tomado de la Monografía nº 21 de ICONA

PRECIPITACIÓN EN mm.					
Período de retorno (años)	Duración				
	72 h.	48 h.	24 h.	12 h.	6 h.
2	47,3	43,7	37,5	30,2	24,2
5	63,6	60,1	54,3	39,8	33,1
10	73,8	71,0	65,6	46,2	39,0
25	87,2	84,8	79,8	54,2	46,4
50	97,2	95,1	90,3	60,1	52,0
100	107,1	105,1	100,9	65,9	57,5

INTENSIDAD EN mm/h.					
Período de retorno (años)	Duración				
	72 h.	48 h.	24 h.	12 h.	6 h.
2	0,7	0,9	1,6	2,5	4,0
5	0,9	1,3	2,3	3,3	5,5
10	1,0	1,5	2,7	3,9	6,5
25	1,2	1,8	3,3	4,5	7,7
50	1,4	2,0	3,8	5,0	8,7
100	1,5	2,2	4,2	5,5	9,6

% DE LA PRECIPITACIÓN EN 24 h.					
Período de retorno (años)	Duración				
	72 h.	48 h.	24 h.	12 h.	6 h.
2	126,1	116,5	100,0	80,5	64,5
5	117,1	110,7	100,0	73,3	61,0
10	112,5	108,2	100,0	70,4	59,5
25	109,3	106,3	100,0	67,9	58,1
50	107,6	105,3	100,0	66,6	57,6
100	106,1	104,2	100,0	65,3	57,0
<b>MEDIA</b>	113,1	108,5	100,0	70,7	59,6

**Cuadro A.6.7. :** Precipitaciones máximas en períodos cortos de tiempo.  
 Estación meteorológica de Zaragoza `Aeropuerto´ (9433)

**DATOS DE PRECIPITACION EN 9433E ZARAGOZA OBSERVATORIO**  
 Tomado de la Monografía nº 21 de ICONA

PRECIPITACIÓN EN mm.								
Período de retorno (años)	Duración							
	10 m.	30 m.	1 h.	6 h.	12 h.	24 h.	48 h.	72 h.
2	7,9	13,5	15,7	28,1	32,0	39,8	46,2	50,0
5	11,2	20,2	23,1	39,9	46,7	57,4	67,4	71,4
10	13,5	24,8	28,0	47,9	56,6	69,3	81,6	85,8
25	16,3	3,5	34,2	57,8	68,9	84,1	99,4	103,8
50	18,4	34,8	38,9	65,3	78,2	95,3	112,9	117,4
100	20,4	39,0	43,4	72,6	87,1	105,9	126,0	130,6

INTENSIDAD EN mm/h.								
Período de retorno (años)	Duración							
	10 m.	30 m.	1 h.	6 h.	12 h.	24 h.	48 h.	72 h.
2	47,4	27,0	15,7	4,7	2,7	1,7	1,0	0,7
5	67,2	40,4	23,1	6,7	3,9	2,4	1,4	1,0
10	81,0	49,6	28,0	8,0	4,7	2,9	1,7	1,2
25	97,8	61,0	34,2	9,6	5,7	3,5	2,1	1,4
50	110,4	69,6	38,9	10,9	6,5	4,0	2,4	1,6
100	122,4	78,0	43,4	12,1	7,3	4,4	2,6	1,8

% DE LA PRECIPITACIÓN EN 24 h.								
Período de retorno (años)	Duración							
	10 m.	30 m.	1 h.	6 h.	12 h.	24 h.	48 h.	72 h.
2	19,8	33,9	39,4	70,6	80,4	100,0	116,1	125,6
5	19,5	35,2	40,2	69,5	81,4	100,0	117,4	124,4
10	19,5	35,8	40,4	69,1	81,7	100,0	117,7	123,8
25	19,4	36,3	40,7	68,7	81,9	100,0	118,2	123,4
50	19,3	36,5	40,9	68,5	82,1	100,0	118,5	123,2
100	19,3	36,9	41,0	68,6	82,2	100,0	119,0	123,3
<b>MEDIA</b>	19,5	35,8	40,4	69,2	81,6	100,0	117,8	124,0

**Cuadro A.6.8. :** Precipitaciones máximas en períodos cortos de tiempo.  
 Estación meteorológica de Zaragoza `Observatorio´ (9433 E)

**4.1.3. Estudio Informativo del AVE.**

En el estudio que se indica a continuación, también se ha realizado un estudio pluviométrico:

Estudio Informativo de la Línea de Alta Velocidad  
 Madrid-Barcelona-Frontera Francesa. Tramo: Madrid-Zaragoza.  
 Acceso a Zaragoza. Alternativa complementaria.  
 Anejo 2: Hidrología y Drenaje.

**Procedimiento.**

Sigue el proceso indicado por la Instrucción de Carreteras y que ya ha sido expuesto anteriormente.

La precipitación máxima diaria, *Pd*, la calcula a partir de los datos pluviométricos de las estaciones de La Muela (9432 I), con 10 años de datos, y Zaragoza-Botánico (9443 U), con 11 años, ajustando por Grumbel.

PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS			
LA MUELA (9432 I)		BOTANICO (9443 U)	
Año	Pi (0,1 mm)	Año	Pi (0,1 mm)
1968	430	1975	344
1969	399	1976	309
1970	283	1977	313
1971	392	1978	256
1972	613	1979	576
1973	260	1980	362
1974	657	1981	455
1976	502	1982	331
1977	496	1983	393
1978	325	1984	416
		1986	719

**Cuadro A.6.9.** : Precipitaciones máximas diarias en las estaciones meteorológicas de La Muela (9432 I) y Zaragoza ‘Botánico’ (9443 U).

**Resultados.**

La intensidad máxima diaria I, viene en mm.

La Muela  $I = 37.879 - 9.8740 \cdot \ln(\ln \frac{T}{T-1})$

Botánico  $I = 34.875 - 10.050 \cdot \ln(\ln \frac{T}{T-1})$

**4.1.4. Estudio de Francisco Elías y Luis Ruiz.**

Los resultados obtenidos por estos autores se encuentran recogidos en la siguiente publicación:

Cálculo de caudales en las redes de saneamiento.  
 Fernando Catalá Moreno.  
 Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.  
 Colección SEINOR nº 5. Madrid, 1989.

Estos autores han obtenido la familia de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia para lluvias de corta (0 h. ó Δt ó 2 h.) y larga (2 h. ó Δt ó 72 h.) duración y periodos de retorno de 2, 5, 10, 30 y 50 años, en veinte estaciones pluviométricas españolas, entre ellas la de Zaragoza.

Las ecuaciones y gráficas contenidas en las Figuras A.6.19. y A.6.20. proporciona las Intensidades Medias máximas para periodos de retorno de 10 años. El cálculo de la intensidad correspondiente a otro período de retorno se realiza multiplicando el valor de la intensidad correspondiente a T=10 años por el coeficiente de equivalencia r, cuyo valor se encuentra tabulado en las citadas figuras.

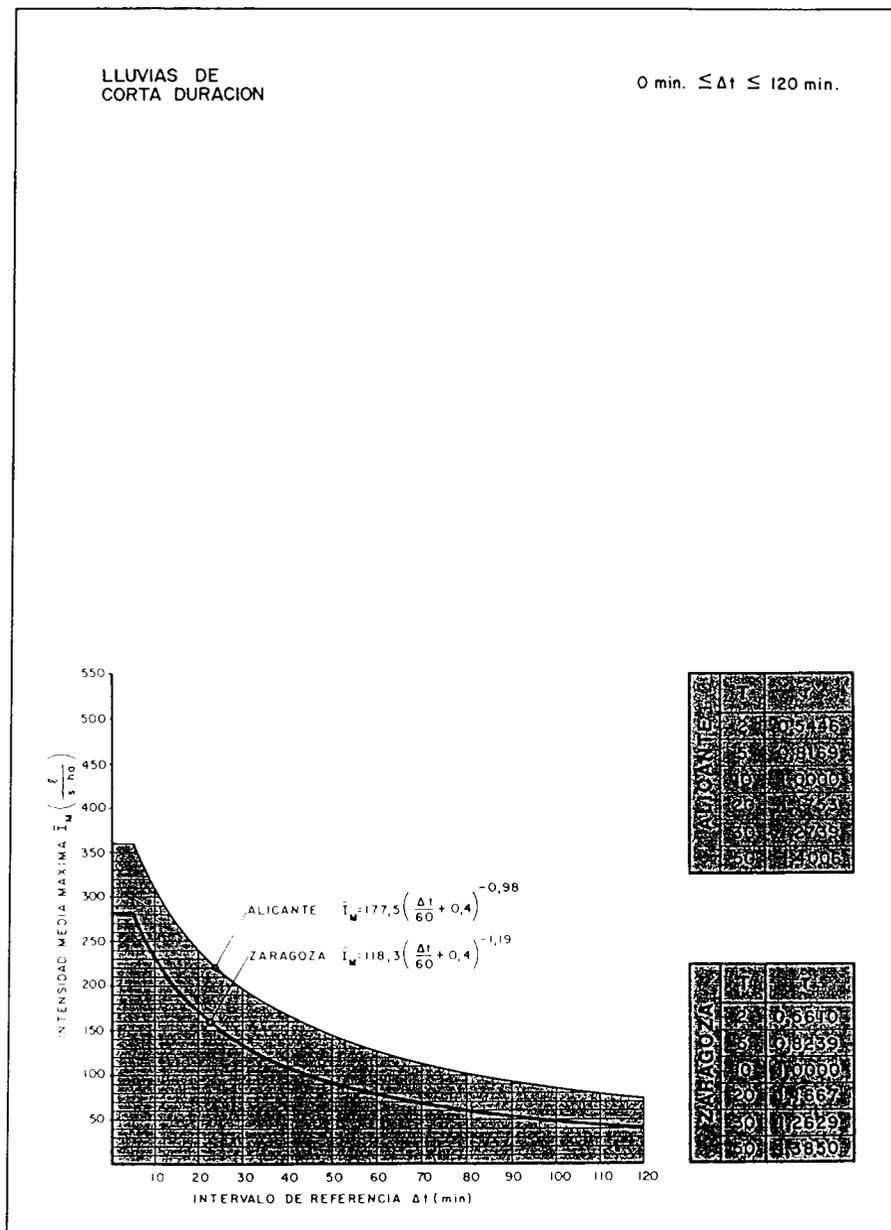


Figura A.6.19. : Función de Intensidad-Duración-Frecuencia en Zaragoza para lluvias de corta duración y T=10.

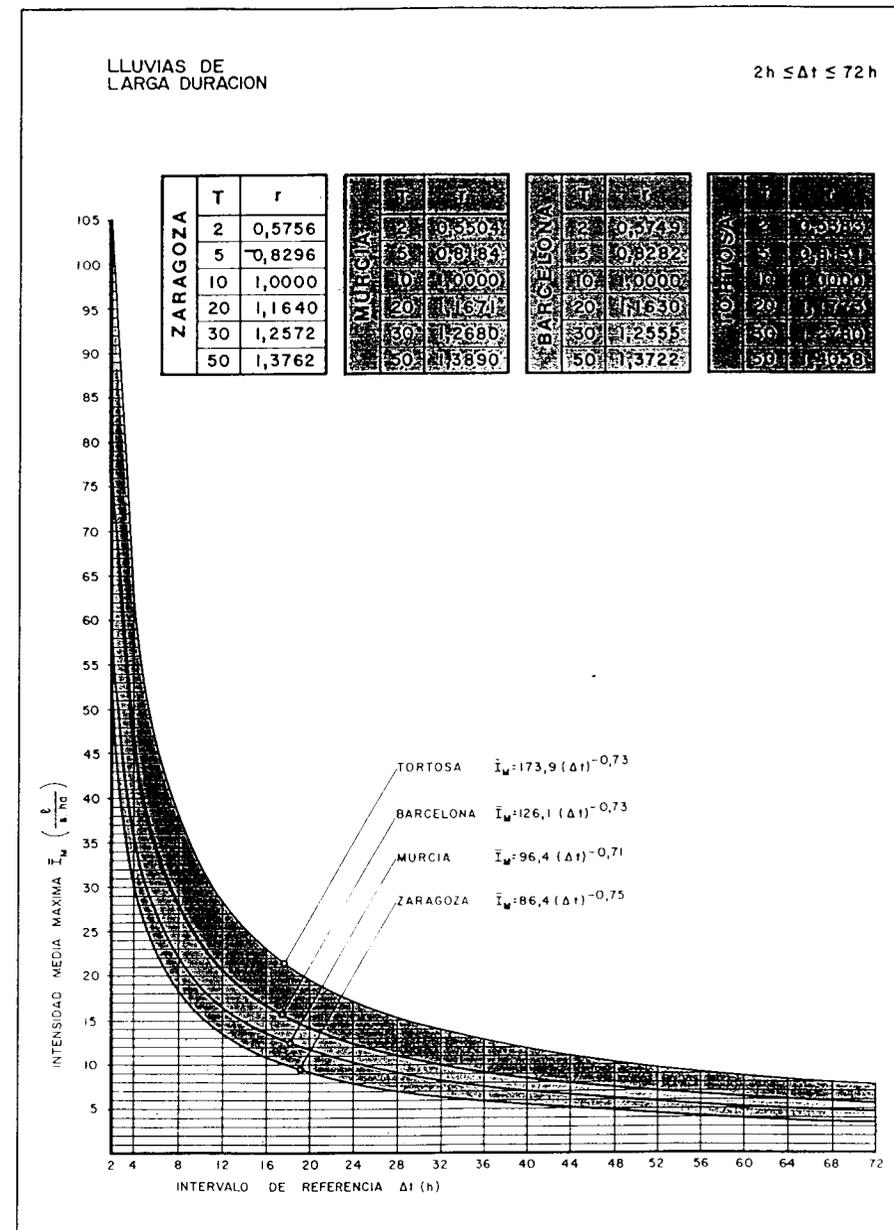


Figura A.6.20. : Función de Intensidad-Duración-Frecuencia en Zaragoza para lluvias de larga duración y T=10.

### 4.2. Precipitaciones máximas en un día.

Se va a proceder al análisis de las series de datos de esta variable en cada una de las estaciones pluviométricas de calidad y representativas de la zona de estudio, es decir, aquellas que encontrándose en el entorno geográfico de la zona, tienen series suficientemente largas y continuas. Para cada una de estas series se van a estimar los parámetros  $\xi$  y  $\theta$  de la ley de distribución de Gumbel para máximos por el método de la Máxima Verosimilitud. En el Cuadro A.6.10. se muestran las series definitivas de valores máximos que van a ser objeto del ajuste.

PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS DE AJUSTE.						
AÑO	OBSERVATORIO	AÑO	OBSERVATORIO	AEROPUERTO	LA MUELA	BOTÁNICO
1882	280	1941	650	674		
1883	320	1942	367	354		
1884	360	1943	416	526		
1885	290	1944	234	243		
1886	300	1945	109	973		
1887	310	1946	469	474		
1888	250	1947	441	257		
1889	330	1948	170	227		
1890	280	1949	264	355		
1891	650	1950	532	475		
1892	460	1951	403	378		
1893	210	1952	158	322		
1894	150	1953	322	447		
1895	260	1954	624	664		
1896	150	1955	293	323		
1897	410	1956	383	442		
1898	310	1957	385	399		
1899	170	1958	365	330		
1905	310	1959	367	517		
1906	220	1960	340	326		
1907	180	1961	381	361		
1908	930	1962	391	341		
1909	770	1963	260	353		
1910	220	1964	316	161		
1911	520	1965	308	222		
1912	320	1966	393	236		
1913	446	1967	555	292		
1914	234	1968	584	673	430	
1915	416	1969	432	327	399	
1916	250	1970	356	355	283	
1917	470	1971	410	361	392	
1918	313	1972	500	522	613	
1919	277	1973	250	233	260	
1920	617	1974	550	444	657	
1921	792	1975	344	315	502	344
1922	258	1976	338	241	496	309
1923	1223	1977	366	280	325	313
1924	153	1978	260	175		256
1925	308	1979	591	607		576
1926	395	1980	359	315		362
1927	208	1981	535	425		455
1928	225	1982	390	419		331
1929	201	1983	198	396		393
1930	448	1984	380	436		416
1931	268	1985	59	312		719
1932	669	1986		645		
1933	234	1987		430		
1934	284	1988		247		
1935	253	1989		178		
1936	680	1990		577		
1937	381	1991		517		
1938	407	1992		240		
1939	267	1993		237		
1940	294	1994		172		

Cuadro A.6.10. : Precipitaciones máximas diarias en las estaciones de ajuste.

### 4.2.1. Método de la Máxima Verosimilitud.

El Método de la Máxima Verosimilitud es un método de ajuste que está basado en el principio de la máxima verosimilitud que supone, en esencia, que la muestra es representativa de la población. Por ello elige como estimadores aquellos valores de los parámetros que maximizan la probabilidad de que ocurra la muestra observada (si X es una variable aleatoria discreta) o la densidad de probabilidad en el entorno de dicha muestra (si X es una variable aleatoria continua).

◆ **Función de verosimilitud:** Sea  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  una muestra con función de distribución  $F_\zeta(x_1, x_2, \dots, x_n)$  o simplemente  $F_\zeta(x)$ , donde  $x \equiv x_1, x_2, \dots, x_n$ , y cuya correspondiente función de probabilidad o de densidad de probabilidad se designa por  $f_\zeta(x_1, x_2, \dots, x_n)$  o simplemente  $f_\zeta(x)$ . Se llama función de verosimilitud de  $\zeta$  a la expresión :

$$L(\zeta / x) = f_\zeta(x)$$

considerada como función de  $\zeta$ , dada la realización de la muestra  $X = x$ .

◆ **Función logaritmo-verosimilitud:** Es la función:

$$l(\zeta / x) = \text{Ln}(L(\zeta / x))$$

obtenida al tomar logaritmo neperiano de la función de verosimilitud.

◆ **Ecuaciones de máxima verosimilitud:** Se llama así a las ecuaciones definidas por:

$$\frac{\partial l(\zeta/x)}{\partial \zeta_i} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, q$$

Aplicándolo a Gumbel:

La función de distribución de máximos para Gumbel de parámetros  $\xi$  y  $\theta > 0$  esta dada por:

$$F(x) = \text{Prob}[Gumbel(\xi, \theta) \leq x] = e^{-e^{-\frac{x-\xi}{\theta}}}$$

y su función de densidad por:

$$f(x) = \frac{\partial F(x)}{\partial x} = \frac{1}{\theta} \cdot e^{-e^{-\frac{x-\xi}{\theta}}} \cdot e^{-\frac{x-\xi}{\theta}}$$

La función de verosimilitud es la siguiente:

$$L(\zeta / x) = f_\zeta(x) = f_\zeta[(x_1, x_2, \dots, x_n), \xi, \theta]$$

y como se trata de una muestra es aleatoria simple (M.A.S.) se puede escribir como

$$L(\zeta / x) = f_\zeta(x_1) \cdot f_\zeta(x_2) \cdot \dots \cdot f_\zeta(x_n)$$

y por lo tanto:

$$L(\zeta/x) = \frac{1}{\theta^n} \cdot e^{-\frac{1}{\theta} \cdot \sum (x_i - \xi)} \cdot e^{-\sum e^{-\frac{x_i - \xi}{\theta}}}$$

La función logaritmo-verosimilitud es:

$$L(\zeta/x) = -n \cdot \text{Ln} \theta - \frac{1}{\theta} \sum (x_i - \xi) - \sum e^{-\frac{x_i - \xi}{\theta}}$$

y las ecuaciones de máxima verosimilitud, debidamente operadas son:

$$\frac{\partial l(\zeta/x)}{\partial \theta} = 0 \Rightarrow \bar{x} = \bar{\theta} + \frac{\sum x_i \cdot e^{-\frac{x_i}{\bar{\theta}}}}{\sum e^{-\frac{x_i}{\bar{\theta}}}}$$

$$\frac{\partial l(\zeta/x)}{\partial \xi} = 0 \Rightarrow \bar{\xi} = -\bar{\theta} \cdot \ln \left[ \frac{1}{n} \sum e^{-\frac{x_i}{\bar{\theta}}} \right]$$

donde el último miembro de la segunda ecuación es una función creciente de  $\theta$ .

Sustituyendo la primera ecuación en la segunda se obtiene una ecuación cuya única variable independiente es  $\theta$ , que se resolverá por el método de Newton-Raphson.

### 4.2.2. Método de Newton-Raphson.

El método de Newton-Raphson es uno de los más frecuentemente usados dentro de las fórmulas para la aproximación de raíces. Si el valor inicial de la raíz es  $x_i$ , entonces se puede trazar una tangente desde el punto  $[x_i, f(x_i)]$ . El punto donde esta tangente corta al eje x representa una aproximación mejorada de la raíz, y se toma como  $x_{i+1}$ .

La primera derivada en x es equivalente a la pendiente.

$$f'(x_i) = \frac{f(x_i) - 0}{(x_i) - (x_{i+1})}$$

que se puede reordenar para obtener:

$$x_{i+1} = x_i - \frac{f(x_i)}{f'(x_i)}$$

a la que se conoce como fórmula de Newton-Raphson.

La aproximación de la raíz se obtendrá con diez iteraciones y tomando como valor inicial el que proporciona el método de los momentos para estimar el parámetro  $\theta$ , es decir:

$$ini = 0.5772156649 \cdot \frac{\sqrt{6}}{\pi} \cdot S_x - \bar{x}$$

### 4.2.3. Pruebas de la Bondad del Ajuste.

A continuación se presentan los fundamentos en que están basados los métodos más usados para realizar contrastes de hipótesis sobre la bondad de ajustes de distribuciones. Solamente se expone el caso de comprobar la bondad del ajuste para la distribución maximal de Gumbel cuando se estiman sus dos parámetros,  $\xi$  y  $\theta$ , por el método de la máxima verosimilitud.

Todos ellos siguen un esquema similar:

❶ Se realizan  $n$  observaciones independientes,  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , de una variable aleatoria,  $X$  (precipitación máxima), con función de distribución  $F(x)$  (en este caso Gumbel). Se trata de contrastar la hipótesis sobre  $F(x)$ .

❷ Hipótesis nula:

$$H_0: F(x) = F_0(x)$$

❸ Cálculo de los Estadísticos y Funciones auxiliares.

Cada prueba tiene los suyos. Se calculan dentro de cada módulo, y son los mismos sea cual sea el caso de distribución sometida al contraste.

❹ Región de Rechazo de  $H_0$ .

Con los estadísticos y las funciones auxiliares calculadas, y otras nuevas que dependen de la prueba y de cada caso, se calcula un valor numérico,  $P_{real}$ , que si es mayor que un  $P_i(\alpha)$  se rechaza la hipótesis.

$$P_{real} > P_i(\alpha)$$

#### 4.2.3.1. Prueba de la Bondad de Ajuste de Kolmogorov - Smirnov.

El proceso para calcular el  $P_{real}$  de la prueba de Kolmogorov-Smirnov es el siguiente:

❶ Cálculo de los Estadísticos y Funciones auxiliares.

Sea  $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$  el conjunto de estadísticos de orden de la muestra aleatoria simple  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , a la función:

$$S_n(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x < x_{(1)} \\ i/n & , \quad x_{(i)} \leq x < x_{(i+1)} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \\ 1 & , \quad x_{(n)} \leq x \end{cases}$$

se la llama función de distribución empírica. Los estadísticos de Kolmogorov son:

$$\begin{aligned} D^+ &= \sup_x [S_n(x) - F(x), 0] = \max_{1 \leq i \leq n} [(i/n - z_i), 0] \\ D^- &= \sup_x [F(x) - S_n(x), 0] = \max_{1 \leq i \leq n} [(z_i - (i-1)/n), 0] \\ D &= \max(D^+, D^-) \end{aligned}$$

donde  $z_i(x) = F[x_i]$  y  $F(x)$  pueden contener parámetros estimados.

❷ Región de Rechazo de  $H_0$ .

$$P_{real} = K_i(n) (D - G_i(n)) > P_i(\alpha)$$

donde  $K_i(n)$ ,  $G_i(n)$  y  $P_i(\alpha)$  dependen del caso de que se trate. Para el caso considerado:

$$K_i(n) = \sqrt{n}$$

$$G_i(n) = 0$$

$P_i(\alpha)$  se tabula para todos los casos más adelante.

### 4.2.3.2. Prueba de la Bondad de Ajuste de Cramer- Von Mises.

El proceso para calcular el  $P_{real}$  de la prueba de Cramer-Von Mises es el siguiente:

- ⊕ Cálculo de los Estadísticos y Funciones auxiliares.

El estadístico de Cramer-Von Mises es:

$$W^2 = \sum_i [z_i \frac{2 \cdot i - 1}{2 \cdot n}]^2 + \frac{1}{12 \cdot n}$$

donde  $z_i(x) = F[x_i]$  y  $F(x)$  pueden contener parámetros estimados.

- ⊕ Región de Rechazo de  $H_0$

$$P_{real} = K_i(n) (W^2 - G_i(n)) > P_i(\alpha)$$

donde  $K_i(n)$ ,  $G_i(n)$  y  $P_i(\alpha)$  dependen del caso de que se trate. Para el caso considerado:

$$K_i(n) = 1 + 0.2 / \sqrt{n}$$

$$G_i(n) = 0$$

$P_i(\alpha)$  se tabula para todos los casos más adelante.

### 4.2.3.3. Prueba de la Bondad de Ajuste de Kuiper.

El proceso para calcular el  $P_{real}$  de la prueba de Kuiper es el siguiente:

- ⊕ Cálculo de los Estadísticos y Funciones auxiliares.

El estadístico de Kuiper es:

$$V = D^+ + D^-$$

donde  $D^+$  y  $D^-$  son estadísticos de Kolmogorov.

- ⊕ Región de Rechazo de  $H_0$

$$P_{real} = K_i(n) (V - G_i(n)) > P_i(\alpha)$$

donde  $K_i(n)$ ,  $G_i(n)$  y  $P_i(\alpha)$  dependen del caso de que se trate. Para el caso considerado:

$$K_i(n) = \sqrt{n}$$

$$G_i(n) = 0$$

$P_i(\alpha)$  se tabula para todos los casos más adelante.

#### 4.2.3.4. Prueba de la Bondad de Ajuste de Watson.

El proceso para calcular el  $P_{\text{real}}$  de la prueba de Watson es el siguiente:

- ④ Cálculo de los Estadísticos y Funciones auxiliares.

El estadístico de Watson es:

$$U^2 = W^2 - n \cdot \left( \bar{z} - \frac{1}{2} \right)$$

donde  $z_i(x) = \sum z_i / n$  y  $W^2$  es el estadístico de Cramer-Von Mises.

- ④ Región de Rechazo de  $H_0$ .

$$P_{\text{real}} = K_i(n) (U^2 - G_i(n)) > P_i(\alpha)$$

donde  $K_i(n)$ ,  $G_i(n)$  y  $P_i(\alpha)$  dependen del caso de que se trate.

Para el caso considerado:

$$K_i(n) = 1 + 0.2 / \sqrt{n}$$

$$G_i(n) = 0$$

$P_i(\alpha)$  se tabula para todos los casos más adelante.

#### 4.2.3.5. Prueba de la Bondad de Ajuste de Anderson - Darling.

El proceso para calcular el  $P_{\text{real}}$  de la prueba de Anderson-Darling es el siguiente:

- ④ Cálculo de los Estadísticos y Funciones auxiliares.

El estadístico de Anderson-Darling es:

$$A^2 = -n - \left( \frac{1}{n} \right) \cdot \sum_i (2 \cdot i) [Ln(z_i) + Ln(1 - z_{n+1-i})]$$

donde  $z_i(x) = F[x_i]$  y  $F(x)$  pueden contener parámetros estimados.

- ④ Región de Rechazo de  $H_0$ .

$$P_{\text{real}} = K_i(n) (A^2 - G_i(n)) > P_i(\alpha)$$

donde  $K_i(n)$ ,  $G_i(n)$  y  $P_i(\alpha)$  dependen del caso de que se trate.

Para el caso considerado:

$$K_i(n) = 1 + 0.2 / \sqrt{n}$$

$$G_i(n) = 0$$

$P_i(\alpha)$  se tabula para todos los casos más adelante.

### 4.2.3.6. Valores de $P_i(\alpha)$ .

En la siguiente tabla se muestran los valores de  $P_i(\alpha)$  para el caso de comprobar la bondad del ajuste según la distribución maximal de Gumbel cuando se estiman sus dos parámetros,  $\xi$  y  $\theta$ , por el método de la máxima verosimilitud.

$P_i(\alpha)$	$\alpha$			
	0,100	0,050	0,025	0,010
PRUEBA.	0,100	0,050	0,025	0,010
Kolmogorov-Smirnov.	0,803	0,874	0,939	1,007
Cramer - Von Mises.	0,102	0,124	0,146	0,175
Kuiper.	1,372	1,477	1,557	1,671
Watson.	0,097	0,117	0,138	0,165
Anderson - Darling.	0,637	0,757	0,877	1,038

Cuadro A.6.11. : Valores de  $P_i(\alpha)$ .

### 4.2.3.7. Papel probabilístico de Gumbel.

El papel probabilístico consiste en modificar las escalas del dibujo de la variable aleatoria y de la probabilidad, de modo que la familia biparamétrica de funciones de distribución se convierta en una familia de rectas. Así, al representar la muestra sobre el papel probabilístico, su proximidad o no a una recta indica si se puede aceptar (y en tal caso estimar sus parámetros) o rechazar que la muestra procede de esa población.

Los puntos se dibujan en el papel probabilístico según la fórmula propuesta por Hazen:

$$\left( x_i, \frac{i - \frac{1}{2}}{n} \right) \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

que suele ser la más frecuente, y donde  $x_i$  son las precipitaciones máximas ordenadas de menor a mayor.

La función de distribución de máximos para Gumbel de parámetros  $\theta > 0$  y  $\xi$  esta dada por:

$$y = Prob [Gumbel (\xi, \theta) \leq x] = e^{-e^{-\frac{x-\xi}{\theta}}}$$

Tomando logaritmos de  $1/y$  dos veces se obtiene:

$$- Ln [ Ln (\frac{1}{y}) ] = \frac{x - \xi}{\theta}$$

El cambio de variable es:

$$\chi = g(x) = x$$

$$\eta = h(y) = -Ln \left( Ln \frac{1}{y} \right)$$

y queda:

$$\eta = a \cdot \chi + b$$

con:

$$a = \frac{1}{\theta}$$

$$b = \frac{-\xi}{\theta}$$

#### 4.2.4. Resultados.

Siguiendo los criterios y procedimientos indicados en el apartado anterior, se obtienen los siguientes resultados.

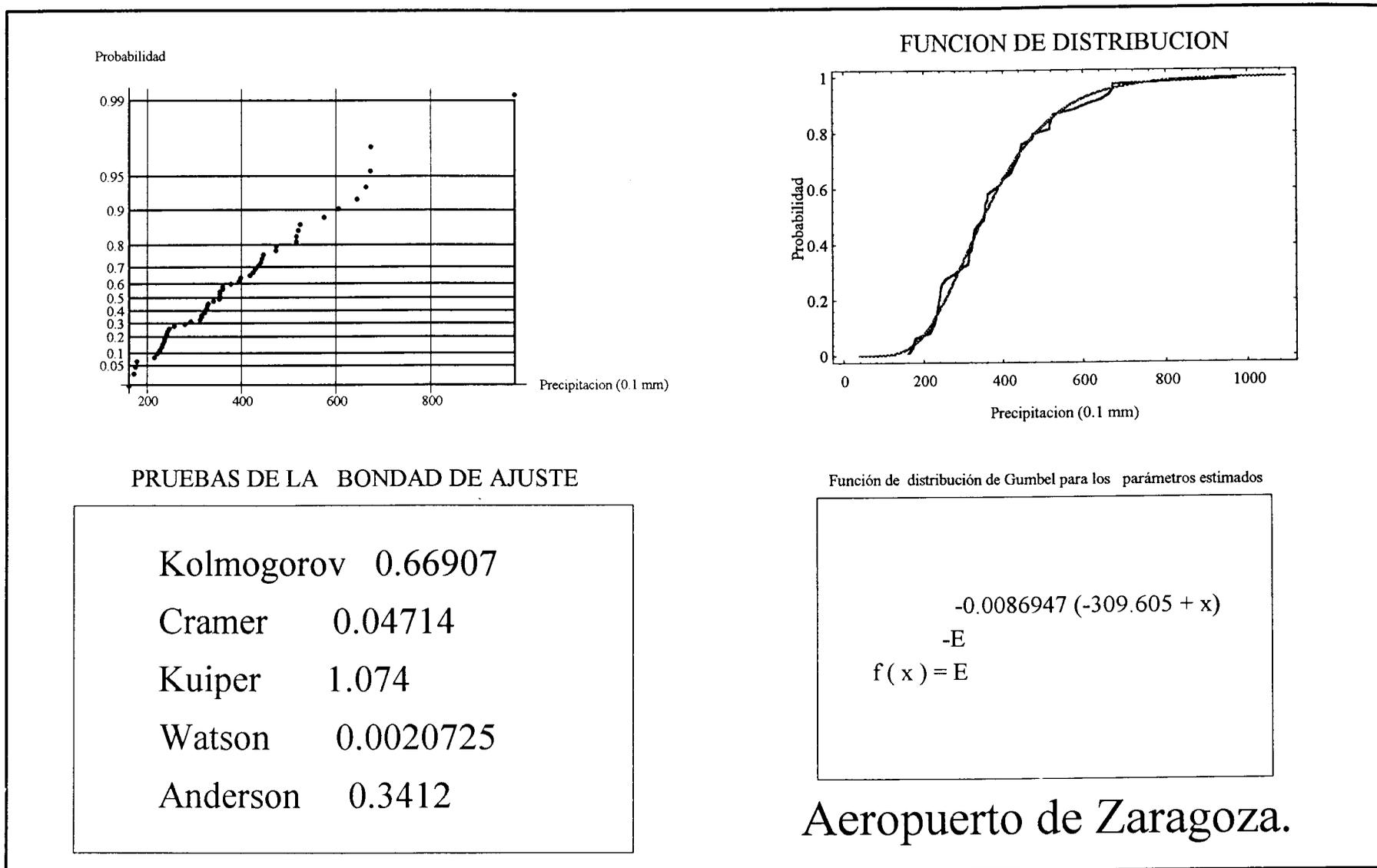


Figura A.6.21. : Ajuste para la estación meteorológica del Aeropuerto de Zaragoza (9434).

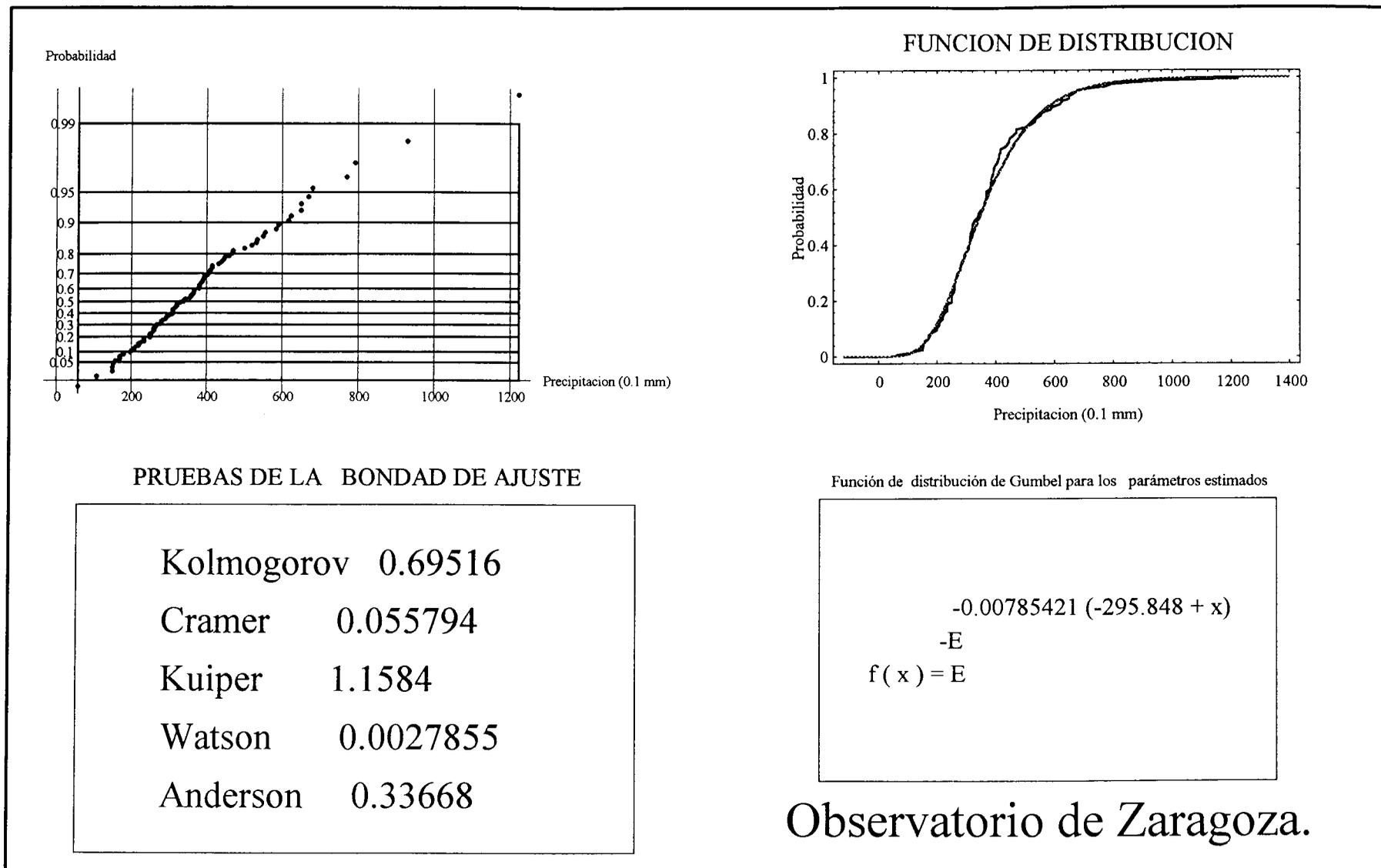


Figura A.6.22. : Ajuste para la estación meteorológica del Observatorio de Zaragoza (9443 E).

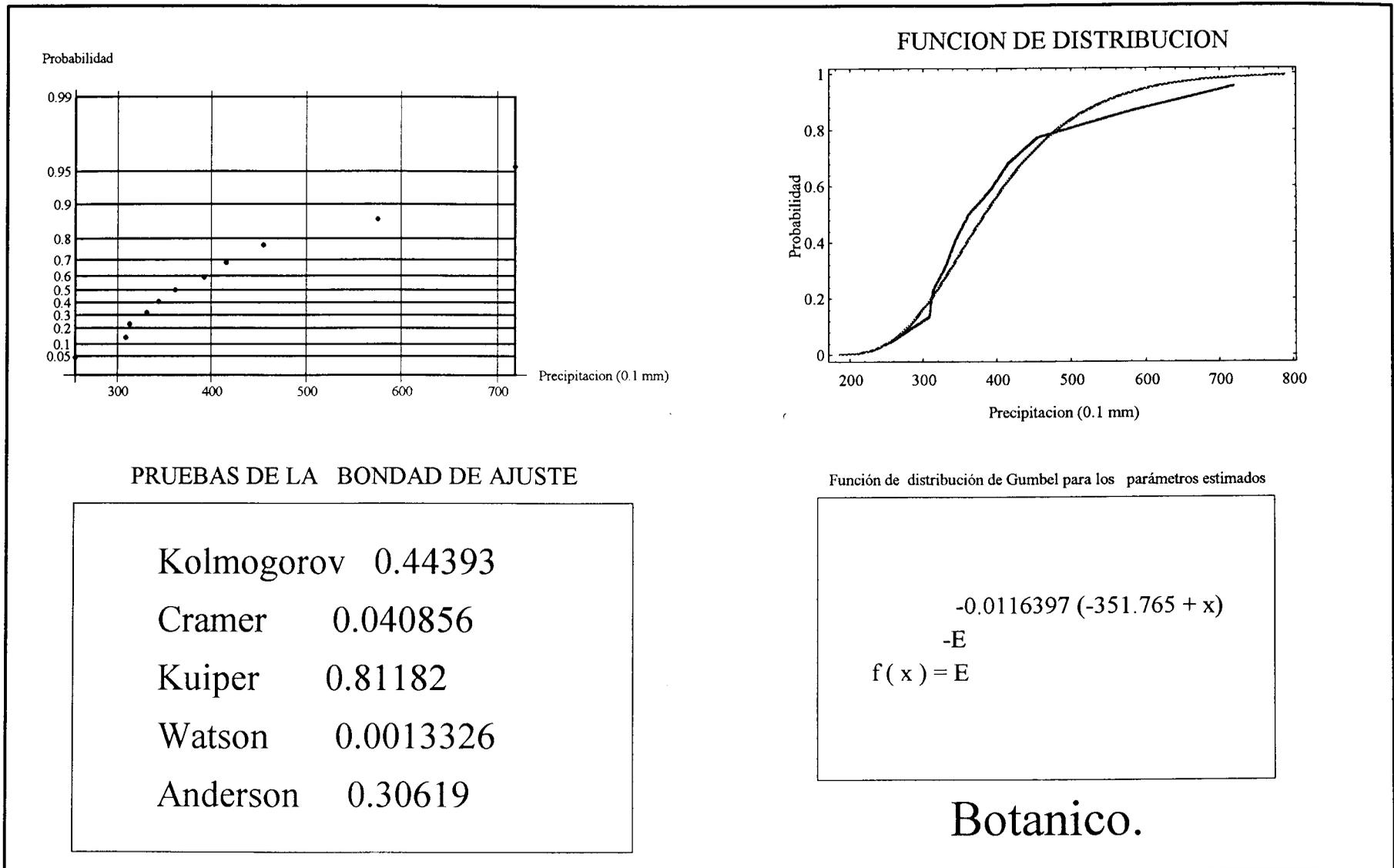


Figura A.6.23. : Ajuste para la estación meteorológica del Botánico (9443 U).

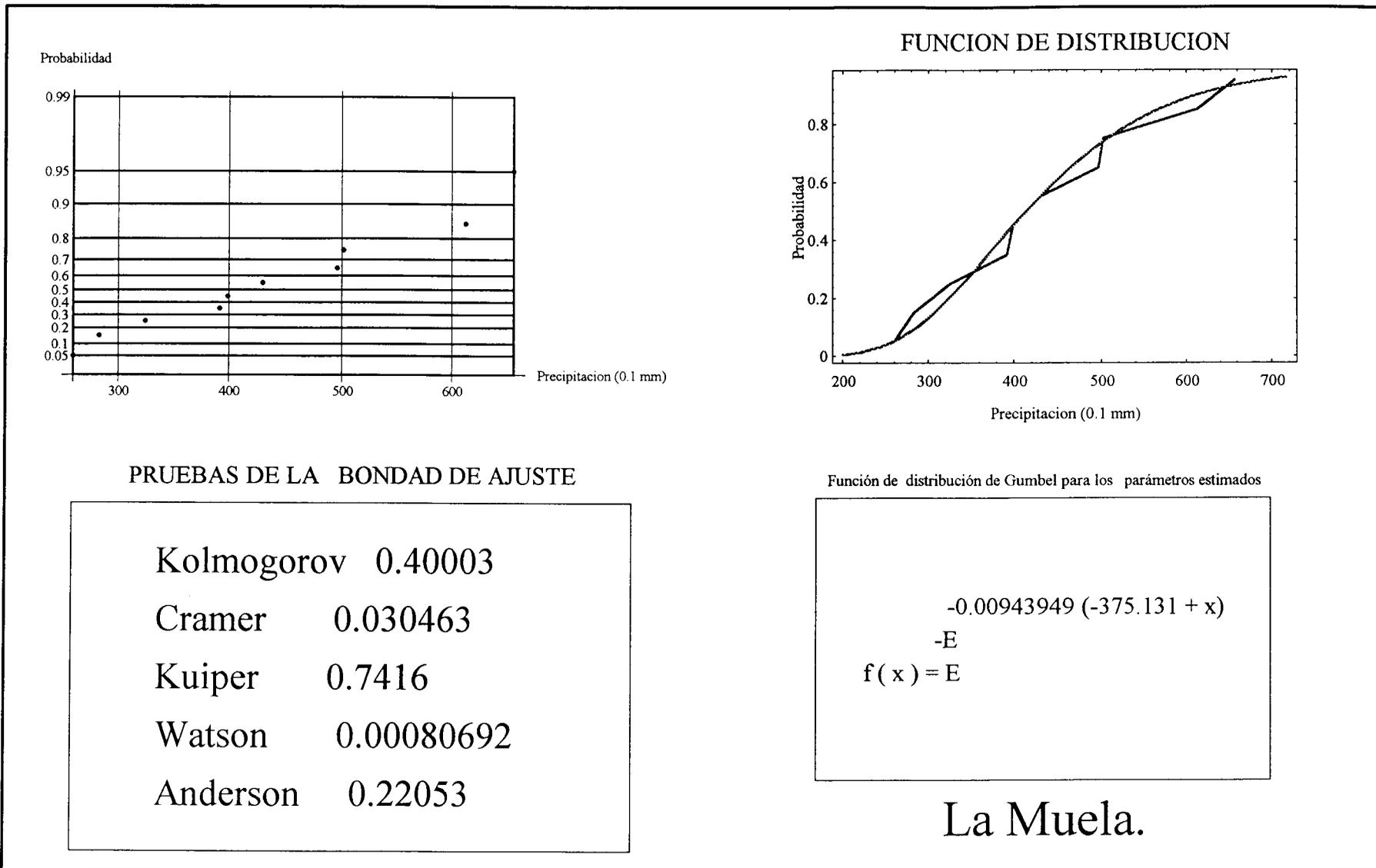


Figura A.6.24. : Ajuste para la estación meteorológica La Muela (9432 I).

### 4.3. Análisis comparativo de los estudios existentes.

En las Figuras de las páginas siguientes se han representado para diferentes períodos de retorno ( $T = 2, 5, 10$  y  $25$  años) las curvas Intensidad-Duración obtenidas de los estudios anteriormente explicados. A continuación se especifica concretamente a que estudio corresponde cada epígrafe de la leyenda:

Antiguas Fórmulas.

Según las antiguas fórmulas aplicadas por Vialidad y Aguas.

Instrucción 5.2-IC.

Según la Instrucción de Carreteras 5.2-IC “Drenaje Superficial” de mayo de 1.990, que es también el actual método utilizado por Vialidad y Aguas. Se han tomado para los valores de la precipitación total diaria los mismos que acostumbra a emplear dicho servicio.

▣▣▣ Tercer Cinturón.

Se han tomado los valores de la precipitación total diaria de los mapas de isolíneas de precipitación máxima diaria calculados en el proyecto del Tercer Cinturón.

▣▣▣ Icona.

Son las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia obtenidas por Icona directamente de los registros de lluvias en períodos cortos de tiempo.

▣▣▣ AVE La Muela.

Según el ajuste de los datos disponibles en la estación de La Muela hecho en el Estudio Informativo del AVE.

▣▣▣ AVE Botánico.

Según el ajuste de los datos disponibles en la estación del Botánico hecho en el Estudio Informativo del AVE.

▣▣▣ Francisco Elías.

Según el Estudio de Francisco Elías y Luis Ruiz para lluvias de corta duración.

▣▣▣ Aeropuerto.

Según el ajuste realizado en el presente anejo de los datos de la estación meteorológica 9434 Aeropuerto de Zaragoza.

▣▣▣ Observatorio.

Según el ajuste realizado en el presente anejo de los datos de la estación meteorológica 9443 E.

▣▣▣ La Muela.

Según el ajuste realizado en el presente anejo de los datos de la estación meteorológica 9432 I.

▣▣▣ Botánico.

Según el ajuste realizado en el presente anejo de los datos de la estación meteorológica 9443 U.

Puede observarse que en todos los casos, las antiguas fórmulas de Vialidad y Aguas representan los valores máximos (en la Figura A.6.23., la curva de la Instrucción de Carreteras corresponde a un período de retorno de 3 años), seguida del estudio del Icona. Para lluvias de más de 45 minutos de duración, el método de Instrucción da valores mayores que los del Icona. El método de Francisco Elías da valores próximos a los anteriores para lluvias de menos de una hora, acercándose a partir de dicha duración al resto de ajustes, que más o menos se encuentran en la misma banda, inferior a los anteriores.

CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN PARA T = 2 AÑOS.

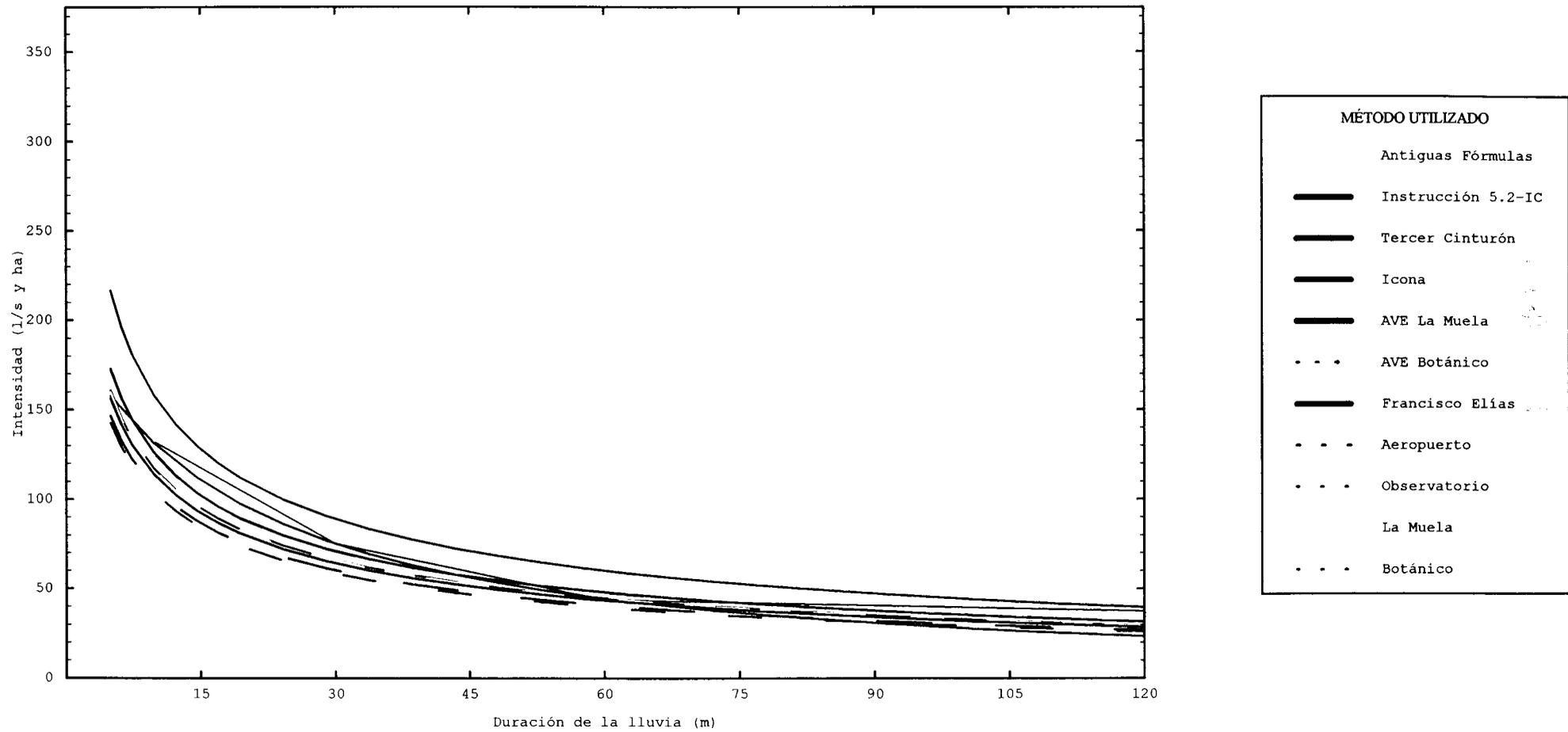


Figura A.6.25. : Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia para 2 años de período de retorno.

CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN PARA T = 5 AÑOS.

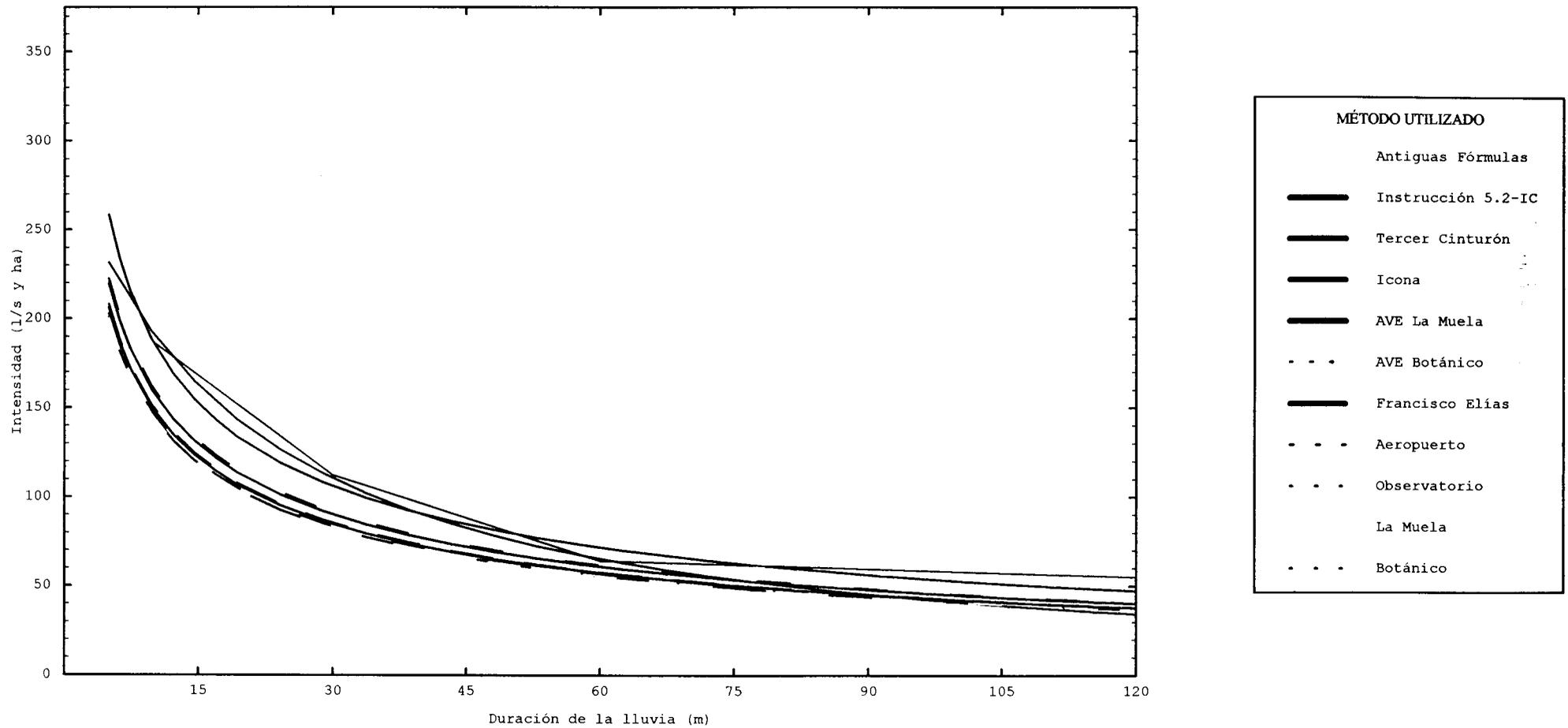


Figura A.6.26. : Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia para 5 años de período de retorno.

CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN PARA T = 10 AÑOS.

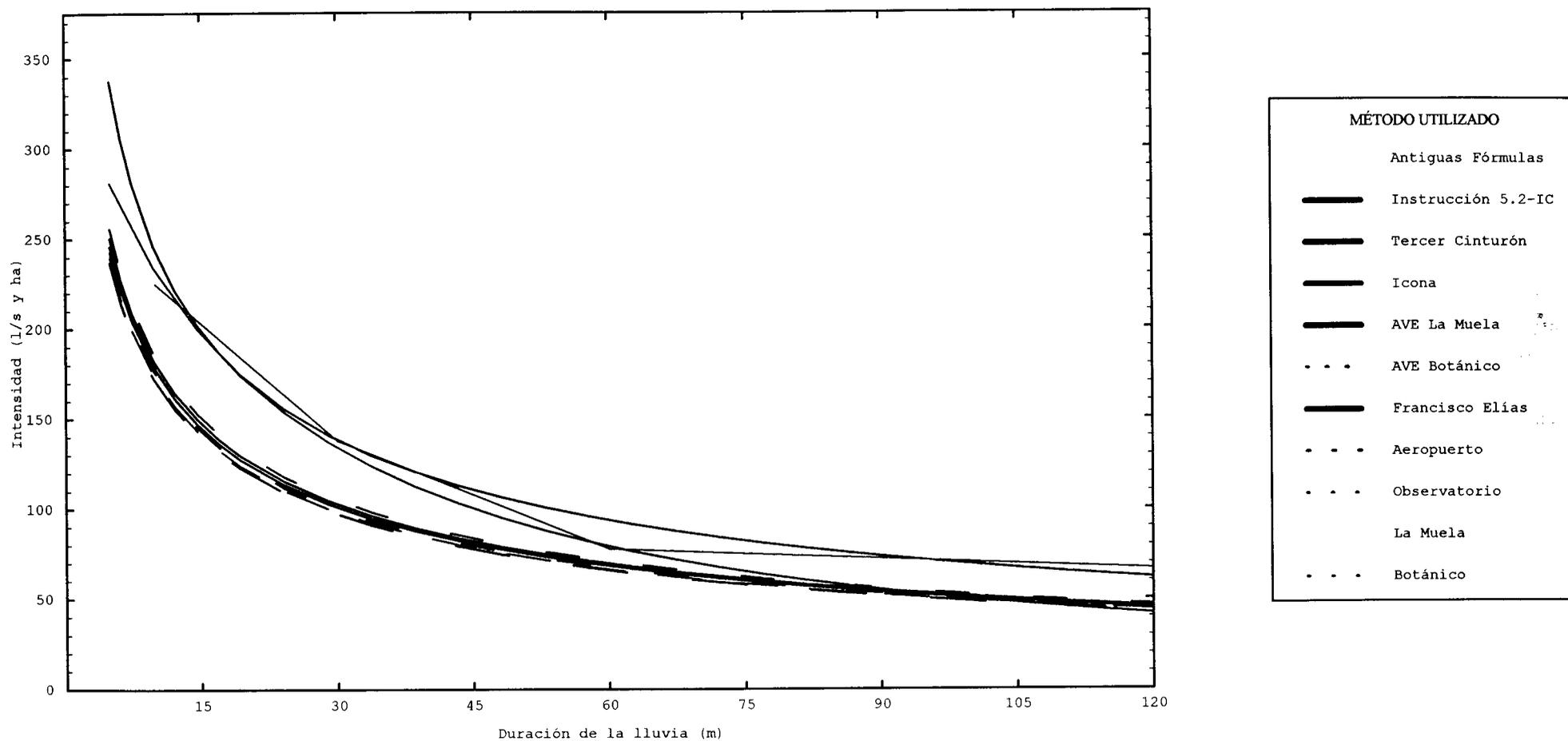


Figura A.6.27. : Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia para 10 años de período de retorno.

CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN PARA T = 25 AÑOS.

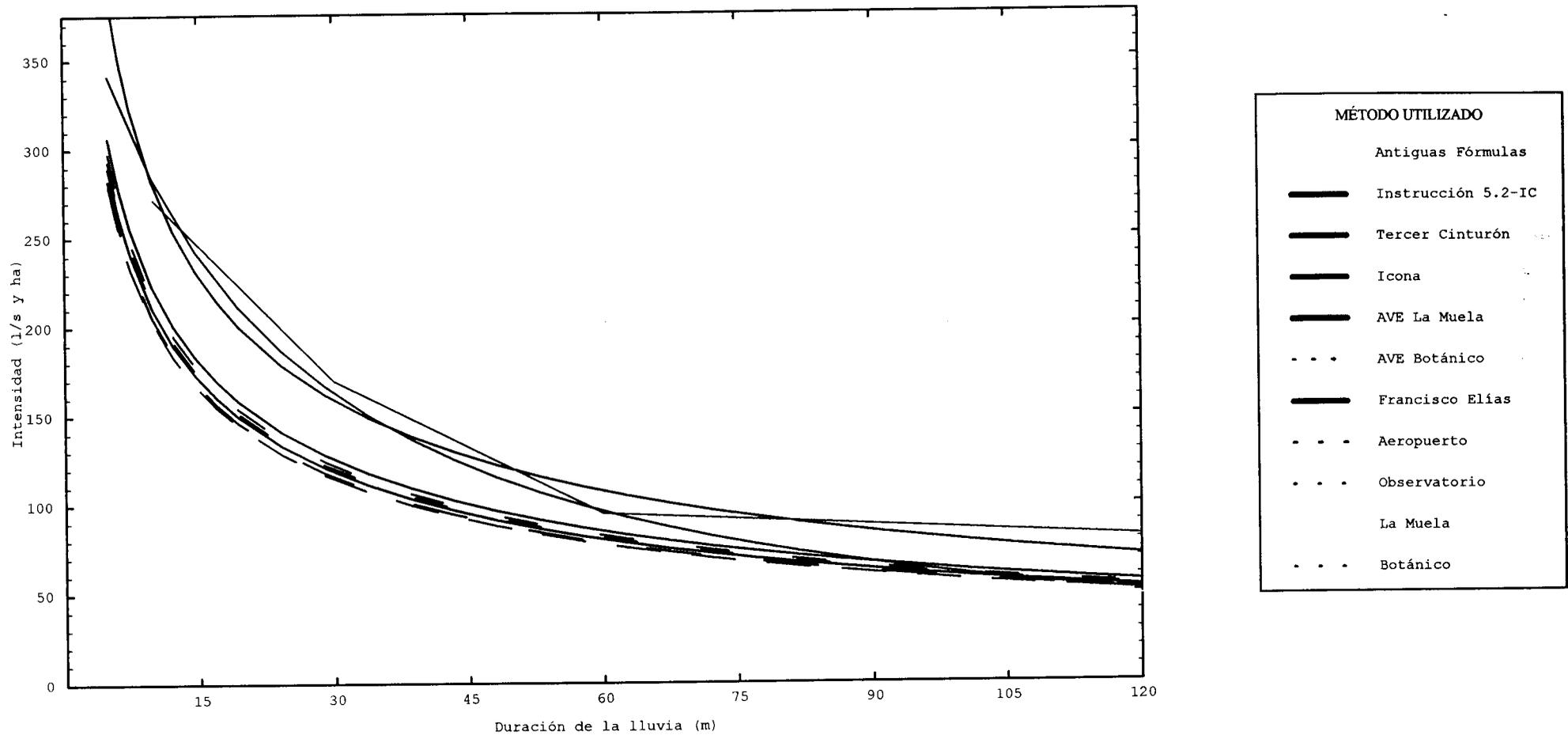


Figura A.6.28. : Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia para 25 años de período de retorno.

---

**ANEJO 7:**  
**HIDROLOGÍA.**

## ÍNDICE DEL ANEJO 7.

### 1. INTRODUCCIÓN.

### 2. DEFINICIONES.

- Cuenca vertiente topográfica.
- Cuenca vertiente real.
- Período de retorno.
- Coeficiente de escorrentía.
- Tiempo de escorrentía,  $T_e$ .
- Tiempo de recorrido,  $T_r$ .
- Tiempo total,  $T$ .
- Tiempo de concentración,  $T_c$ .

### 3. COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA.

3.1. Valores típicos del coeficiente de escorrentía.

3.2. Método de cálculo del coeficiente de escorrentía según la Instrucción de Carreteras S.2.-IC.

3.3. Mapa de cultivos y aprovechamientos.

### 4. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.

### 5. CÁLCULO DE CAUDALES DE ESCORRENTÍA.

5.1. Generalidades.

5.2. Procedimiento de cálculo: Método Racional.

## 1. INTRODUCCIÓN.

Todo proceso de urbanización lleva consigo la interacción de ésta y sus infraestructuras con el medio natural, y en particular con la red natural de escorrentía y drenaje. Por ello es necesario conocer el caudal de lluvia aportado por cada cuenca con el fin de diseñar correctamente su drenaje a dos niveles:

◆ Drenaje de las cuencas naturales interceptadas por las áreas urbanas.

▣ Generan únicamente aguas pluviales.

◆ Drenaje de las cuencas urbanas.

▣ Generan aguas pluviales y aguas residuales urbanas.

En el Anejo 6: Climatología se han calculado las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia que se emplean ahora para el cálculo de las aportaciones de aguas pluviales.

También es necesario conocer las características hidrológicas de todas las cuencas, tanto naturales como urbanas, en especial su coeficiente de escorrentía y el tiempo de concentración, así como el punto donde desagüa de forma natural dicha cuenca.

## 2. DEFINICIONES.

### • Cuenca vertiente topográfica.

Se llama cuenca vertiente topográfica en una sección de un curso de agua (continuo o torrencial) a la extensión de terreno separada de las vecinas por la línea de separación de aguas, que coincide con la e crestas que bordea la cuenca, y cuya característica fundamental es que no atraviesa el curso de agua más que en la sección considerada.

### • Cuenca vertiente real.

Se llama cuenca vertiente real en una sección de un curso de agua a la totalidad de la superficie topográfica drenada por ese curso de agua y sus afluentes, aguas arriba de la sección considerada.

Ambas cuencas vertientes, topográfica y real, pueden ser diferentes, debido por ejemplo:

▣ a la existencia de zonas kársticas o permeables que descansan sobre capas impermeables de distinta topografía a la superficial, y que desagüan fuera de la cuenca topográfica considerada.

▣ a la acción del hombre que recoge el agua de una cuenca y la transporta o otra a través de las redes de alcantarillado.

En lo sucesivo al hablar de cuenca vertiente, se hará referencia a la topográfica, indicándose de modo explícito cuando se hable de cuenca vertiente real.

- **Período de retorno.**

Sea un suceso X con probabilidad p de presentarse al menos una vez en un año. El período de retorno, T, del suceso, X, es la esperanza matemática del tiempo transcurrido entre la presentación de 2 sucesos iguales o mayores que X.

$$T = \sum (t) = 1p + 2p(1-p) + 3p(1-p)^2 + \dots + np(1-p)^{n-1}$$

$$T = \sum np(1-p)^{n-1} = \frac{1}{p}$$

T es el número medio de años que transcurre entre la presentación de 2 sucesos iguales o mayores a X.

- **Coefficiente de escorrentía.**

Se denomina coeficiente de escorrentía al cociente entre el caudal de agua que circula por una sección de una cuenca a consecuencia de un suceso lluvioso (lluvia neta), y el volumen de agua que ha precipitado sobre la misma (lluvia total). Es decir, se trata de la proporción de lluvia real que produce escorrentía superficial.

$$C(t) = \frac{\text{escorrentia superficial}}{\text{precipitacioncaida}}$$

- **Tiempo de escorrentía, T<sub>e</sub>.**

También llamado tiempo de entrada, es el tiempo que tarda una gota de agua caída en un punto de la cuenca en alcanzar a entrada al sistema de colectores (escorrentía superficial) o, si estos no existen al medio receptor.

- **Tiempo de recorrido, T<sub>r</sub>.**

Es el tiempo que tarda una gota en recorrer el camino que separa la entrada al sistema de colectores y la sección de cálculo. Si no existe sistema de colectores, el tiempo de recorrido es nulo. En el caso de que la velocidad de circulación por las conducciones fuera constante e igual a V (Régimen laminar y uniforme), siendo la distancia que separa la entrada de la sección de cálculo, se obtiene:

$$T_r = \frac{\text{longitud}}{\text{velocidad}} = \frac{l}{v}$$

- **Tiempo total, T.**

Es el tiempo que tarda una gota caída en un punto de la cuenca en alcanzar la sección de cálculo. Es suma del tiempo de escorrentía y del tiempo de recorrido. Por lo tanto:

$$T = T_e + T_r$$

- **Tiempo de concentración, T<sub>c</sub>.**

Se refiere a una sección de cálculo, y se define como el tiempo que tarda una gota caída en el punto hidráulicamente más alejado de la cuenca vertiente de una sección en alcanzar la misma. Por lo tanto, se tiene:

$$T_c = \max(T) = \max(T_e + T_r)$$

extendiendo el máximo a todos los puntos de la cuenca que vierten en la sección de cálculo.

### 3. COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA.

Del agua de lluvia que cae sobre la superficie de un terreno, una parte se evapora, otra discurre por la superficie (escorrentía) y otra penetra en el terreno (infiltración).

Se define como coeficiente de escorrentía,  $C$ , de una superficie,  $S$ , al cociente del caudal que discurre por dicha superficie,  $Q_E$ , en relación con el caudal total precipitado,  $Q_T$ .

$$C = \frac{Q_E}{Q_T}$$

El coeficiente de escorrentía varía a lo largo del tiempo y es función de las características del terreno (naturaleza, vegetación, permeabilidad, inclinación, humedad inicial del suelo, ...) y de la zona (temperatura, intensidad y duración de la precipitación, humedad relativa, velocidad del viento, horas de soleamiento, dimensiones de la cuenca vertiente, ...).

Los factores indicados se influyen mutuamente, siendo complicado el análisis aislado de cada uno de ellos. No obstante, y teniendo en cuenta que el objetivo perseguido es el dimensionamiento hidráulico de los colectores de saneamiento y sistemas de regulación, se analiza su influencia únicamente desde este aspecto.

Así, en una precipitación la evaporación y la infiltración de agua irán disminuyendo conforme vaya aumentando la humedad relativa y el estado de inbibición del terreno, aumentando consecuentemente el coeficiente de escorrentía desde valores iniciales iguales o próximos a cero hasta valores finales iguales o cercanos a la unidad.

Si se tiene en cuenta la importancia de las Intensidades medias Máximas a utilizar para los cálculos hidráulicos, se puede considerar despreciable la influencia de la evaporación y de la humedad inicial del suelo, que en algunos métodos se tiene en cuenta a través del concepto de umbral de escorrentía, que se comenta más adelante.

El coeficiente de escorrentía crece con la Intensidad y con la duración de la precipitación. Para un período de retorno dado, el aumento de la duración de la precipitación implica una disminución de la Intensidad Media Máxima, por lo que es bastante complicado el estudio de la influencia de los factores intensidad y duración de la precipitación sobre el valor del coeficiente de escorrentía.

La naturaleza del suelo tiene una gran importancia en el coeficiente de escorrentía. Por ello es fundamental que su tipología se analice a la vista del planeamiento urbanístico vigente. En efecto; unos terrenos sin urbanizar, actualmente, pueden aconsejar que se adopte un coeficiente de escorrentía bajo, lo que conducirá a la obtención de un pequeño caudal de pluviales a evacuar; si estos terrenos están sujetos a un planeamiento que posibilita su urbanización, se producirá un notable incremento en el futuro del caudal de pluviales a evacuar, con la consiguiente insuficiencia de la red de saneamiento inicialmente prevista.

A falta de datos más precisos, se considera constante, durante el tiempo de duración de la precipitación, el coeficiente instantáneo de escorrentía, que se convierte de este modo en coeficiente medio de escorrentía. Éste se obtendrá mediante el método de la Instrucción de Carreteras, y adoptará alguno de los valores típicos tabulados en el apartado 5.1. Valores típicos del presente Anejo.

A mayor pendiente, mayor coeficiente de escorrentía.

Para períodos de retorno elevados, el valor obtenido del coeficiente de escorrentía se suele incrementar en un 10% o en un 20% según e trate,

respectivamente, de períodos de retorno iguales a 25 ó 50 años. Este incremento nunca provocará que el coeficiente de escorrentía supere el valor de la unidad.

Se puede considerar el área total o dividir la misma en diferentes subcuencas con diferentes características. En cualquier caso, cuando se trata de una zona uniforme (sea el área total o la de una subcuenca) será necesario determinar un valor del coeficiente de escorrentía medio para la misma. Dado que puede estar formado por terreno de diferente tipo, diferentes densidades de edificación, etc., se calcula el coeficiente de escorrentía medio realizando una media ponderada de los diferentes coeficientes de escorrentía de cada una de las subzonas en las que se puede dividir el área considerada. De esta forma se llega a la expresión del coeficiente de escorrentía medio  $C$  para una zona formada por diferentes subáreas  $A_i$  con diferentes coeficientes de escorrentía  $C_i$ :

$$C = \frac{\sum A_i C_i}{\sum A_i}$$

### 3.1. Valores típicos del coeficiente de escorrentía.

Se han recogido valores típicos del coeficiente de escorrentía de diferentes fuentes, entre otras las siguientes:

- Servicio de Infraestructura Hidráulica.  
Ayuntamiento de Zaragoza.
- Instrucción de Carreteras 5.2.-IC. Drenaje Superficial.  
Dirección General de Carreteras. 1990.
- Manual de Depuración Uralita.  
Aurelio Hernández Muñoz. et al. 1995.
- American Society of Civil Engineers.
- Especificaciones Técnicas Básicas para Proyectos de Conducciones Generales de Saneamiento.  
Confederación Hidrográfica del Norte. 1995.
- Otras.

En los Cuadros A.7.4. y A.7.5. se indican los valores más típicos del coeficiente de escorrentía para distintos tipos de área y para diferentes tipos de superficies.

<b>COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.</b>							
<b>TIPO DE ÁREA</b>	S.I.H.	INSTRUCCIÓN	URALITA	A.S.C.E.	C.H.N.	OTROS	
	<b>LLUVIAS DE ...</b>	<b>CORTA DURACIÓN</b>					<b>LARGA DURACIÓN</b>
	Población densa					0,75 a 0,95	
	Casco urbano con edificación muy densa			0,70 a 0,90			
	Barrio antiguo con edificación densa			0,65 a 0,90			
	Barrio moderno con muchos edificios			0,50 a 0,70			
	Zona residencial densa					0,60 a 0,75	
	Manzana cerrada	0,60 a 0,70	0,57 a 0,69			0,80	
	Zona residencial de edificios aislados						
	Zona residencial media					0,40 a 0,60	
	Bloque aislado	0,40 a 0,50	0,43 a 0,52			0,40 a 0,60	
	Zona residencial unifamiliar en extraradio			0,25 a 0,50		0,30 a 0,50	
	Unifamiliar en hilera	0,30 a 0,40	0,31 a 0,41			0,40	
	Unifamiliar aislada	0,20 a 0,30	0,24 a 0,33			0,40	
	Alrededores de zonas residenciales					0,25 a 0,40	
<b>RESIDENCIAL</b>	Barrios periféricos					0,50 a 0,70	
	Zona suburbana poco poblada			0,10 a 0,30			
	Zona rural			0,05 a 0,25	0,50	0,10 a 0,25	
	Viviendas/Ha						
	0 a 5					0,10 a 0,25	0,50 a 0,60
	5 a 10					0,25 a 0,35	0,60 a 0,80
	10 a 25					0,30 a 0,50	0,80 a 0,90
	25 a 50					0,40 a 0,70	1,00
	50 a 100					0,65 a 0,80	1,00
	100 a 150					0,75 a 1,00	1,00
	> 150					0,70 a 1,00	1,00
<b>COMERCIAL</b>	Centrica				0,70 a 0,95	0,70 a 0,95	1,00
	Periférica				0,50 a 0,70	0,50 a 0,85	1,00
	Intensiva	0,60 a 0,70				0,70	0,60 a 0,90
	Extensiva	0,45 a 0,55				0,70	0,50 a 0,80
<b>INDUSTRIAL</b>	Ligera				0,50 a 0,80	0,70	0,50 a 0,80
	Pesada				0,60 a 0,90	0,70	0,60 a 0,90
	En ciudad			0,60 a 0,85		0,80	
	De edificios aislados			0,25 a 0,60			
	Deportiva				0,20 a 0,35		0,20 a 0,35
<b>OTRAS</b>	Parques y jardines				0,20 a 0,35		0,05 a 0,25
	Cementerios				0,20 a 0,35		0,10 a 0,25
	Estaciones de ferrocarril						0,20 a 0,40

Cuadro A.7.4. : Coeficientes de escorrentía para distintas áreas urbanas.

<b>COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA.</b>				
<b>TIPO DE SUPERFICIE</b>			<b>Para lluvias de duración</b>	
			<b>Corta</b>	<b>Larga</b>
<b>SIN PAVIMENTAR</b>			0,10 a 0,30	
	Asfálticos		0,85 a 0,90	1,00
	Mezclas bituminosas		0,90 a 1,00	1,00
		Ordinario	0,50 a 0,70	0,95
	Adoquinado	Rejuntado	0,80 a 0,85	0,95
		Con juntas	Estancas	0,70 a 0,80
				Abiertas
<b>PAVIMENTOS</b>			0,15 a 0,30	
	Empedrado	Ordinario	0,15 a 0,30	0,80
		De mosaíco	0,40 a 0,50	0,80
	Macadam	Ordinario	0,25 a 0,50	0,80
		Bituminoso	0,70 a 0,90	1,00
	Hormigón		0,90 a 1,00	1,00
	Ladrillo		0,70 a 0,95	1,00
	Grava		0,20 a 0,30	0,60
<b>CUBIERTAS</b>			0,70 a 0,95	
	Impermeables		0,70 a 0,95	1,00
	Tejados y azoteas		0,90 a 1,00	1,00
<b>SUPERFICIES IMPERMEABLES, INMUEBLES, VIARIOS Y PLAZAS PÚBLICAS</b>			0,90 a 1,00	

Cuadro A.7.5. : Coeficientes de escorrentía para diferentes superficies.

### 3.2. Método de cálculo del coeficiente de escorrentía según la Instrucción 5.2. I-C.

El coeficiente C de escorrentía define la proporción de la componente superficial de la precipitación de intensidad I, y depende de la razón entre la precipitación diaria Pd correspondiente al período de retorno (Anejo 6: Climatología) y el umbral de escorrentía Po, a partir del cual se inicia ésta.

$$C = \frac{\text{Escorrentia}}{\text{Precipitacion}} = f \left[ \frac{Pd(t)}{Po} \right]$$

$$\text{Si } \frac{Pd}{Po} < 1 \implies C = 0$$

$$\text{Si } \frac{Pd}{Po} \geq 1 \implies C = \frac{\left[ \frac{Pd}{Po} - 1 \right] \left[ \left( \frac{Pd}{Po} \right) + 23 \right]}{\left[ \left( \frac{Pd}{Po} \right) + 11 \right]^2}$$

El umbral de escorrentía  $P_o$  se podrá obtener del Cuadro A.7.6., multiplicando los valores en el contenidos por el coeficiente corrector dado por la Figura A.7.3. Este coeficiente refleja la variación regional de la humedad habitual en el suelo al comienzo de aguaceros significativos, e incluye una mayoración (del orden del 100 por 100) para evitar sobrevaloraciones del caudal de referencia a causa de ciertas simplificaciones del tratamiento estadístico del método hidrometeorológico: el cual ha sido contrastado en distintos ambientes de la geografía española. Para el uso del Cuadro A.7.6. los suelos se clasificarán en los grupos del Cuadro A.7.7., en cuya definición interviene la textura definida por la Figura A.7.4.

Cuadro A.7.6.: **Estimación inicial del umbral de escorrentía  $P_o$  (mm).**



Figura A.7.3. : Mapa del coeficiente corrector del umbral de escorrentía.

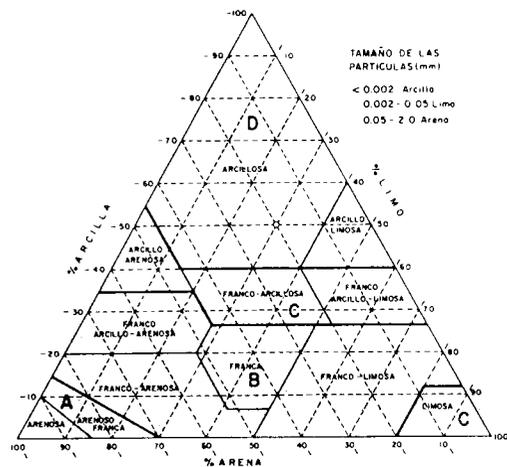


Figura A.7.4. : Diagrama triangular para la determinar la textura del suelo.

Grupo	Infiltración (cuando están muy húmedos)	Potencia	Textura	Drenaje
A	Rápida	Grande	Arenosa Areno-limosa	Perfecto
B	Moderada	Media a grande	Franco-arenosa Franca Franco-Arcillosa-arenosa Franco-limosa	Bueno a moderado
C	Lenta	Media a pequeña	Franco-arcilloso Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto
D	Muy lenta	Pequeño (litosuelo) u horizontes de arcilla	Arcillosa	Pobre o muy pobre

Nota: Los terrenos con nivel freático alto se incluirán en el Grupo D.

Cuadro A.7.7. : Clasificación de suelos a efectos del umbral de escorrentía.

Los núcleos urbanos, edificaciones rurales, caminos, etc., no se tendrán en cuenta donde representen una proporción despreciable del área total. En su caso, deberán diferenciarse las proporciones de los distintos tipos de suelo, atribuyendo a cada una el valor correspondiente de Po. Deberán tenerse en cuenta las modificaciones futuras previsibles en la cuenca, tales como urbanizaciones, repoblaciones, cambios de cultivos, supresión de barbechos, etc.

Si no se requiriera gran precisión, podrá tomarse simplifiéadamente un valor conservador de Po (sin tener que multiplicarlo luego por el coeficiente de la Figura A.7.3.) igual a 20 mm, salvo en cuencas con rocas o suelos arcillosos muy someros, en las que se podrá tomar igual a 10 mm.

### 3.3. Mapa de cultivos y aprovechamientos.

A partir de la información contenida en la cartografía del Servicio de Técnica Fiscal del ayuntamiento de Zaragoza se ha elaborado el mapa de cultivos y aprovechamientos, en el cual se distinguen los siguientes usos, diferenciándose la edificación de alta y baja densidad en función del grado de impermeabilidad de la superficie:

- o MONTE BAJO (MB).
- o TERRENO DE CULTIVO (TC).
- o ERIAL (ER).
- o FRUTALES (FR).
- o EDIFICACIÓN DE BAJA DENSIDAD (EBD).
- o EDIFICACIÓN DE ALTA DENSIDAD (EAD).
- o RESTO.

#### 4. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.

Se supondrá que tanto el tiempo de escorrentía como el tiempo de recorrido, el tiempo total y el tiempo de concentración son independientes del instante considerado.

El tiempo de escorrentía,  $T_e$ , depende, en general, de la pendiente del suelo, de la distancia a recorrer, y de la naturaleza del terreno. Un orden de magnitud para el cálculo del tiempo de escorrentía en redes de saneamiento, varía de 2 a 20 minutos, siendo frecuente adoptar valores del orden de 5 minutos para zonas urbanas y de 5 a 10 minutos para zonas semiurbanas. Otros autores recomiendan, para zonas de elevada densidad de población con un elevado porcentaje de superficie impermeable, un tiempo de escorrentía de 5 minutos. Para zonas de pequeña pendiente con importante densidad de edificación se adoptarían tiempos entre 10 y 15 minutos, mientras que en zonas residenciales con pequeñas pendientes y en las que el espaciamiento entre los imbornales (entradas a la red de colectores) es superior, se adoptarán valores entre 20 y 30 minutos.

En la Figura A.7.5. se da el gráfico de obtención del tiempo de escorrentía en función de la pendiente, la distancia a recorrer y del coeficiente de escorrentía (gráfico propuesto por la Agencia Federal de Aviación de EEUU). También es interesante tener en cuenta los tiempos de escorrentía superficial máximos en función del período de retorno elegido (The Wallingford Procedure) que se muestran en el Cuadro A.7.10.

<b>TIEMPO DE ESCORRENTÍA, <math>T_e</math> (minutos)</b>		
Área ( $m^2$ )	< 200	> 400
Pendiente (%)	> 3,3	< 2,0
T = 5 años	3	6

**Cuadro A.7.10.** : Tiempos de escorrentía en función del período de retorno.

En la Figura A.10.6. se da un ábaco que permite calcular el tiempo de escorrentía según que el flujo de agua se efectúe sobre la superficie del terreno o por pequeños canales. El coeficiente n de dicho ábaco es un índice de rugosidad característico de la superficie sobre la que discurre el agua

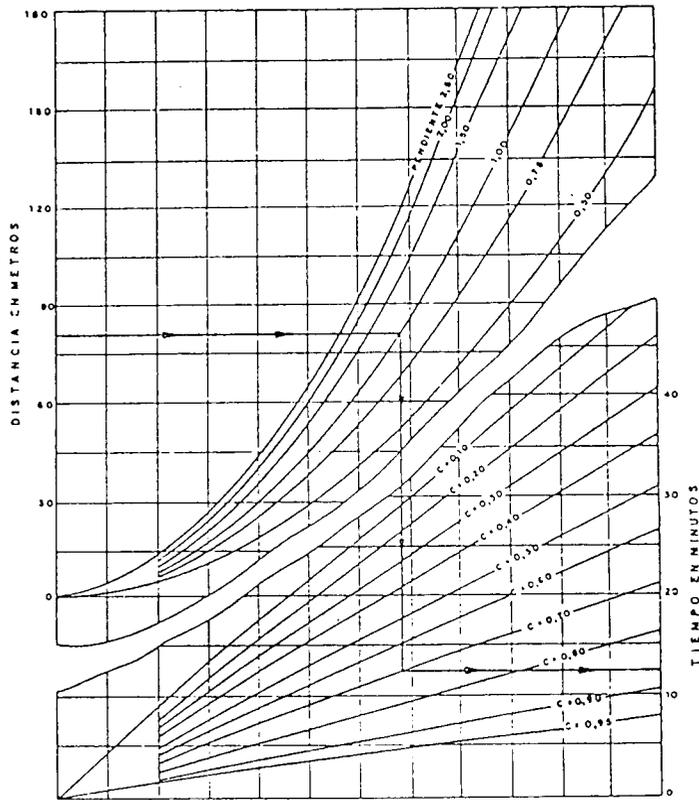


Figura A.7.5. : Ábaco para el cálculo del tiempo de escorrentía,  $T_e$ .

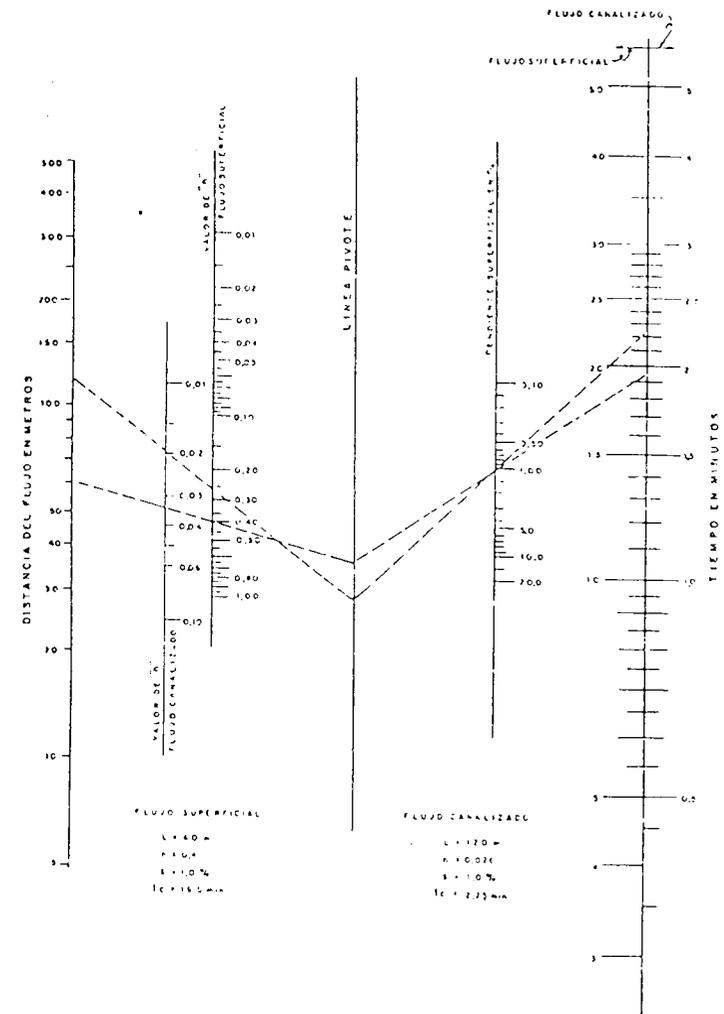


Figura A.7.6. : Ábaco para el cálculo del tiempo de escorrentía,  $T_e$ .

A falta de estudios más precisos puede calcularse  $T_e$  a través de la fórmula la Instrucción de Carreteras 5.2-IC

$$T_e = 0,3 \cdot \left[ \left( \frac{L}{J^4} \right)^{0,76} \right]$$

donde:

- ▣  $T_e$  es el tiempo de escorrentía en
- ▣  $L$  es la longitud del cauce principal en kilómetros.
- ▣  $J$  es la pendiente del cauce principal en tanto por uno.

En cuanto a los tiempos de recorrido,  $T_r$ , se estimará la velocidad de circulación del agua por la red, valor que posteriormente podrá ser recalculado a fin de afinar el cálculo.

Para calcular dentro de una cuenca vertiente el valor del tiempo de concentración ( $T_c = \text{máx} (T_e + T_r)$ ), es necesario conocer la extensión de la red de alcantarillado, y los puntos de entrada a la misma, para poder distinguir el "flujo de escorrentía" del "flujo de recorrido". Esta distinción es bastante incierta, debido al desconocimiento de la red de alcantarillado con suficiente detalle, tanto de las existentes, como de las proyectadas y futuras. Además, debido a la extensión de las subcuencas vertientes, puede ocurrir que la red de alcantarillado sólo cubra una parte de dicha superficie, por lo que, salvo que existan condiciones diferentes a las descritas, se adoptan las siguientes hipótesis para el cálculo del tiempo de concentración:

1.  $LT$  es la longitud total del cauce principal de cada cuenca.

2. En las cuencas donde no existe alcantarillado, el tiempo de concentración es igual al tiempo de escorrentía calculado según la fórmula de la Instrucción de Carreteras.

$$T_c (\text{en } h) = T_e = 0,3 \cdot \left[ \left( \frac{LT}{J^4} \right)^{0,76} \right]$$

con  $LT$  en kilómetros y  $J$  en tanto por uno.

3. En las cuencas donde existe alcantarillado, el tiempo de concentración es igual a la suma de:

- ▣ el tiempo de escorrentía según la fórmula de la Instrucción de Carreteras, tomando  $\frac{1}{3}$  de  $LT$  para la longitud del cauce principal (o la longitud máxima de escorrentía si se conoce).
- ▣ el tiempo de recorrido para el resto de la  $LT$  (o para la longitud máxima de recorrido), y una velocidad de recorrido,  $v_r$ , que se supondrá, para un primer tanteo, como se indica en el Cuadro A.7.11.

Pendiente media de la cuenca (%)	Velocidad de recorrido inicial (m/s)
Menor del 5 %	1 m/s
Del 5 a 10 %	1 - 2 m/s
Mayor del 10 %	2 m/s

**Cuadro A.7.11.** : Velocidades de recorrido de tanteo, en función de la pendiente media de la cuenca.

$$T_c(\text{en } h) = T_e + T_r = 0,3 \cdot \left[ \left( \frac{\frac{1}{3} LT}{J^4} \right)^{0,76} \right] + \frac{\frac{2}{3} LT}{3,6 \cdot v_r}$$

con LT en kilómetros, J en tanto por uno y  $v_r$  en metros por segundo.

El tiempo de concentración,  $T_c$ , se calcula para la sección de desagüe de cada una de las cuencas vertientes, siendo los resultados obtenidos los indicados en el Cuadro A.7.12.

No se adoptarán valores del tiempo de escorrentía inferiores a 5 minutos, ni tampoco del tiempo de concentración menores de 10 minutos.

## 5. CÁLCULO DE CAUDALES DE ESCORRENTÍA.

### 5.1. Generalidades.

La mayor parte del tiempo, las redes de alcantarillado sólo transportan aguas residuales o de infiltración, cuyos caudales son inferiores al producido por un suceso lluvioso. En el diseño de las soluciones de saneamiento, se busca evacuar, lo antes posible, las aguas pluviales de la red al medio natural, siendo preferible no incorporar a la red aquellas aguas pluviales que procedan del exterior de las áreas drenadas, procurando que sigan los cauces de sus desagües naturales.

### 5.2. Procedimiento de cálculo: Método Racional.

El caudal de aguas pluviales se obtiene mediante el Método Racional. Este método, que la literatura inglesa atribuye a Lloyd-George en 1.906, si bien los principios del mismo fueron establecidos por Mulvaney en 1.850, permite determinar el caudal máximo que discurrirá por una determinada sección de la red de alcantarillado, bajo el supuesto que éste acontecerá para una lluvia de intensidad media máxima constante correspondiente a una duración D igual al tiempo de concentración de la sección.

$$Q_{\text{máx}} = C A I(T_c)$$

en donde:

$Q_{\text{máx}}$  : Caudal máximo en la sección de cálculo (QP).

C : Coeficiente de escorrentía medio ponderado de la cuenca.

A : Área total de la cuenca vertiente en la sección de cálculo.

$I(T_c)$  : Intensidad media máxima para una duración igual al tiempo de concentración,  $T_c$ , de la sección de cálculo.

