



ANEJO N.º 05

DRENAJE



Índice

1. OBJETO.....	4
2. CRITERIOS GENERALES	4
2.1. Período de Retorno y Caudal de proyecto	4
2.2. Tipo de cuenca	4
3. CÁLCULO HIDROLÓGICO	5
3.1. Intensidad de precipitación	5
3.1.1. Intensidad media diaria de precipitación Pd	5
3.1.2. Factor reductor de la precipitación Ka	5
3.1.3. Factor de intensidad	5
3.1.4. Tiempo de concentración	6
3.2. Coeficiente de escorrentía	7
3.2.1. Determinación del umbral de escorrentía.....	7
3.2.2. Coeficiente corrector del umbral de escorrentía B	7
3.3. Determinación del área de la cuenca	8
3.4. Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación	8
3.5. Resultados de cálculo.....	8
4. CÁLCULO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE DRENAJE	9
4.1. Cálculo hidráulico del sistema de captación	9
4.2. Capacidad hidráulica del sumidero	10
4.3. Capacidad hidráulica del colector	11
5. REFERENCIAS	13
ANEXO 1. CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN DIARIA.....	14
1. CONSIDERACIONES GENERALES	15
2. MUESTRAS PLUVIOMÉTRICAS DE LAS ESTACIONES.....	15
3. FUNCIÓN EMPÍRICA	17
4. AJUSTE DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN	18
5. SELECCIÓN DEL MODELO PARAMÉTRICO	23



Índice de figuras

Figura 1. Recorrido del flujo de agua hasta la zona de desagüe.....	4
Figura 2. Mapa del índice de torrencialidad	6
Figura 3. Drenaje en sección transversal.	7
Figura 4. Área de las cuencas formadas por el paso superior.	8
Figura 5. Esquema tipo del sistema de drenaje	9
Figura 6. Variación del rendimiento en función de la longitud y la lámina de agua.	10
Figura 7. Características de la rejilla a disponer	10
Figura 8. Ubicación en planta de la rejilla y los sumideros dispuestos.....	11
Figura 9. Caudal en función del calado en elementos lineales en lámina libre en régimen uniforme.....	11
Figura 10. Ubicación de las estaciones meteorológicas y emplazamiento del paso superior.....	15
Figura 11. Representación gráfica y estadísticos muestrales de la serie de precipitaciones máximas mensuales de la estación pluviométrica de <i>Es Pil·larí</i> entre 2015-2018.	17
Figura 12. Representación gráfica y estadísticos muestrales de la serie de precipitaciones máximas mensuales de la estación pluviométrica <i>Ciudad Jardín</i> entre 2015-2018.	18
Figura 13. Función de distribución Gumbel ajustada a la función empírica de <i>Es Pil·larí</i>	18
Figura 14. Función de distribución TCEV ajustada a la función empírica de <i>Es Pil·larí</i>	19
Figura 15. Función de distribución GEV ajustada a la función empírica de <i>Es Pil·larí</i>	19
Figura 16. Función de distribución Log Normal 2 ajustada a la función empírica de <i>Es Pil·larí</i>	19
Figura 17. Función de distribución Log Gumbel ajustada a la función empírica de <i>Es Pil·larí</i>	19
Figura 18. Función de distribución Pareto de tres parámetros ajustada a la función empírica de <i>Es Pil·larí</i>	20
Figura 19. Función de distribución Exponencial ajustada a la función empírica de <i>Es Pil·larí</i>	20
Figura 20. Función de distribución SQRT ajustada a la función empírica de <i>Es Pil·larí</i>	20
Figura 21. Función de distribución Gumbel ajustada a la función empírica de <i>Ciudad Jardín</i>	20
Figura 22. Función de distribución TCEV ajustada a la función empírica de <i>Ciudad Jardín</i>	21
Figura 23. Función de distribución GEV ajustada a la función empírica de <i>Ciudad Jardín</i>	21
Figura 24. Función de distribución Log Normal 2 ajustada a la función empírica de <i>Ciudad Jardín</i>	21
Figura 25. Función de distribución Log Gumbel ajustada a la función empírica de <i>Ciudad Jardín</i>	21
Figura 26. Función de distribución Pareto de tres parámetros ajustada a la función empírica de <i>Ciudad Jardín</i>	22
Figura 27. Función de distribución Exponencial ajustada a la función empírica de <i>Ciudad Jardín</i>	22
Figura 28. Función de distribución SQRT ajustada a la función empírica de <i>Ciudad Jardín</i>	22
Figura 29. Comparativa de las funciones de distribución con mejor ajuste a la función empírica para <i>Es Pil·larí</i>	23
Figura 30. Comparativa de las funciones de distribución con mejor ajuste a la función empírica para <i>Ciudad Jardín</i>	24

Índice de tablas

Tabla 1. n_{dif} en función de la cobertura de terreno.....	7
Tabla 2. Tiempo de concentración de la cuenca en función del tiempo de recorrido del flujo difuso.....	7
Tabla 3. Resultados de cálculo para la obtención del caudal de proyecto del sistema de drenaje	8
Tabla 4. Cálculo de la capacidad de captación de la rejilla.....	10
Tabla 5. Número de sumideros a disponer.	11
Tabla 6. Velocidad máxima del agua admisible.....	11
Tabla 7. Muestra de precipitación diaria máxima mensual en la Estación <i>Es Pil·larí</i>	15
Tabla 8. Muestra de precipitación diaria máxima mensual en la Estación <i>Ciudad Jardín</i>	17
Tabla 9. Criterio de información de Akaike.	23
Tabla 10. Precipitaciones diarias máximas para un periodo de retorno de 25 años.	24

1. OBJETO

El objeto del presente anejo es el diseño y dimensionamiento del sistema de drenaje que captará la escorrentía superficial del paso superior en cuestión, atendiendo a los siguientes principios marcados por la *Instrucción 5.2.-I.C. "Drenajes"*:

- Evitar sobreelevaciones inadmisibles de la lámina libre de agua.
- Evitar velocidades que puedan producir erosiones en caso de que exista riesgo de ello.
- Identificar y controlar las posibles zonas de acumulación de sedimentos y arrastres
- Identificar y controlar los impactos de los vertidos de aguas recogidas por los elementos de drenaje superficial de la carretera
- Minimizar el impacto ambiental de la obra, incluyendo el posible efecto barrera sobre la fauna.

2. CRITERIOS GENERALES

En el siguiente apartado se definirán las directrices generales que indica la *Instrucción 5.2.-I.C. "Drenajes"* necesarias para el posterior cálculo hidrológico e hidráulico.

2.1. Período de Retorno y Caudal de proyecto

El caudal de proyecto es aquel para el cual se dimensionará el sistema de drenaje de la plataforma. Siguiendo las prescripciones de la *Instrucción de 5.2.-I.C.*, el período de retorno asociado al caudal de proyecto que se debe considerar para el drenaje de la plataforma y de márgenes es de 25 años, salvo en el caso que se desagüe por bombeo, que se podrán adoptar 50 años de período de retorno.

2.2. Tipo de cuenca

Según la presente instrucción, la cuenca generada por la construcción del paso superior es una Cuenca secundaria, cuya escorrentía se vierte a los elementos de drenaje de plataforma o márgenes. Debido a las características de trazado, el punto más elevado se encuentra en el paso superior, desaguardo a partir de éste hacia los estribos, tal y como se representa en la siguiente figura.

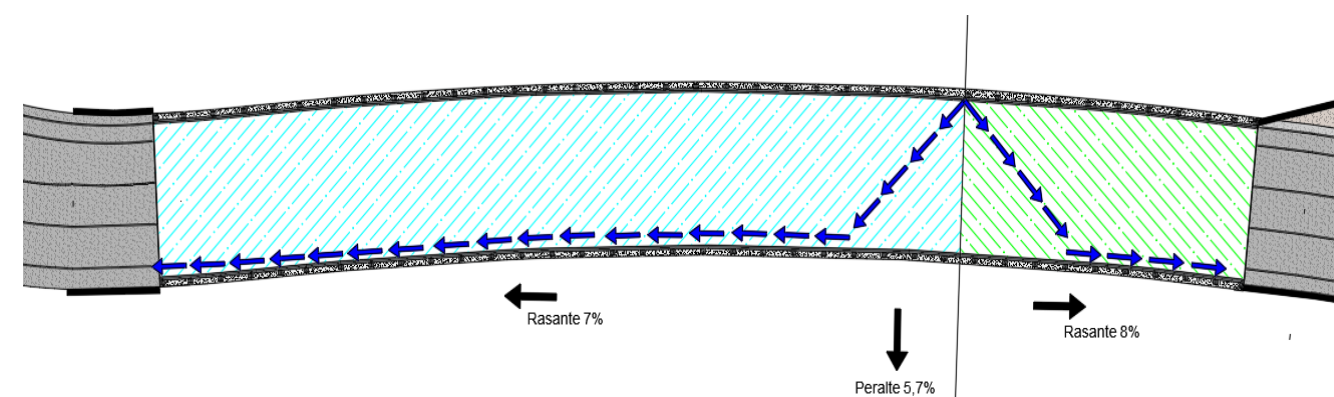


Figura 1. Recorrido del flujo de agua hasta la zona de desagüe.

De esta forma, el sistema de drenaje de la plataforma del puente no recibirá ninguna aportación de cuencas externas a éste, debiéndose dimensionar para el caudal producido por la escorrentía que se pueda producir en la plataforma.

3. CÁLCULO HIDROLÓGICO

El objeto del cálculo hidrológico es obtener los caudales de proyecto necesarios para el dimensionamiento de las obras de drenaje que se deberán disponer para garantizar el correcto drenaje del paso superior evitando vertidos sobre la M-30.

Para la obtención del caudal de proyecto se utilizará el método racional (*Témez modificado*), tal y como se establece en la *Instrucción 5.2.-I.C.*

El método racional se basa en la obtención de la escorrentía superficial en una determinada cuenca a partir de una intensidad representativa de precipitación uniforme en el tiempo, sobre toda su superficie.

La Instrucción aconseja la utilización del método racional para cuencas menores de 50 km². El paso superior conforma 2 cuencas artificiales de 0,0012 y 0,0004 Km², identificadas en la figura 1. Además de ello, la cuenca artificial generada por el paso superior es un problema estrictamente de cálculo de escorrentía sobre el pavimento, por lo que el método racional resulta ser un buen método para el cálculo de ésta y la obtención del caudal de proyecto a trasegar por el sistema de drenaje.

El método racional permite calcular el caudal máximo anual Q_T correspondiente a un período de retorno T, calculándose mediante la siguiente expresión:

$$Q_t = \frac{I(T, t_c) \cdot C \cdot A \cdot K_t}{3,6}$$

Donde:

- I(T,t_c) (mm/h): Intensidad de precipitación correspondiente al período de retorno considerado para una duración del aguacero igual al tiempo de concentración de la cuenca.
- C (Adimensional): Coeficiente medio de escorrentía de la cuenca
- A (Km²): Área de la cuenca o superficie considerada
- K_t (Adimensional): Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación

Las variables implicadas se determinarán en los siguientes apartados según lo recogido en la *instrucción 5.2.-I.C.*

3.1. Intensidad de precipitación

La intensidad de precipitación correspondiente a un periodo de retorno y a una duración del aguacero determinada I(T,t) se obtiene de la siguiente forma:

$$I(T, t) = I_d \cdot F_{int}$$

donde:

- I_d (mm/h): Intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al periodo de retorno considerado.

- F_{int} (Adimensional): Factor de intensidad

La duración del aguacero a considerar para el cálculo de la intensidad de precipitación máxima para un cierto período de retorno debe ser igual al tiempo de concentración. Al suponer la duración del aguacero con intensidad máxima igual a la del tiempo de concentración, se está considerando el escenario más desfavorable, ya que se admite que la intensidad máxima ocurrirá hasta que el punto de desagüe de la cuenca haya recibido las aportaciones de todos los puntos de la cuenca.

3.1.1. Intensidad media diaria de precipitación Pd

La intensidad media diaria de precipitación corregida para un período de retorno T se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$I_d = \frac{P_d \cdot K_a}{24}$$

donde:

- P_d (mm): Precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno considerado
- K_a (Adimensional): Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca

La precipitación diaria correspondiente a un período de retorno de 25 años se ha obtenido del *Anexo 1*, siendo ésta de 64,2 mm.

Según se indica en el apartado 2.2.2.2 de la *instrucción 5.2.-I.C.*, se debe escoger el máximo valor obtenido de la precipitación diaria entre el propuesto por la *Dirección General de Carreteras* y la obtenida de un análisis estadístico, considerando al menos las funciones Gumbel y SQRT.

Para el presente caso, la Dirección General de carreteras no proporciona ningún valor de la precipitación diaria máxima para las Islas Baleares, por lo que se ha realizado un ajuste extremal en el *Anexo 1*, obteniendo así dicho valor de la precipitación.

3.1.2. Factor reductor de la precipitación Ka

El factor reductor de la precipitación por área de la cuenca K_a tiene en cuenta la no simultaneidad de la lluvia en toda su superficie. El factor se obtiene según la siguiente expresión:

$$SI A < 1 \text{ Km}^2 \quad K_a = 1$$

$$SI A \geq 1 \text{ Km}^2 \quad K_a = 1 - \frac{\log_{10} A}{15}$$

donde A representa el área de la cuenca en Km²

3.1.3. Factor de intensidad

El factor de intensidad trata de caracterizar la torrencialidad de la lluvia y es dependiente de la duración del aguacero y del período de retorno.

La instrucción indica que se debe adoptar el mayor valor de los obtenidos según la siguiente expresión

$$F_{int} = \max[F_a, F_b]$$

donde:

- F_a (Adimensional): Factor obtenido a partir del índice de torrencialidad (I_1/I_d)
- F_b (Adimensional): Factor obtenido a partir de las curvas IDF de un pluviógrafo próximo

El factor F_a se obtiene mediante la siguiente expresión:

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

donde:

- (I_1/I_d) (Adim): Índice de torrencialidad que expresa la relación entre la intensidad de precipitación horaria y la media diaria corregida.
- t (h): Duración del aguacero

El índice de torrencialidad se obtiene de la figura 2.4 de la instrucción, siendo su valor de 11 para el emplazamiento en cuestión. La duración del aguacero, tal como se justifica en el apartado 3.1 "Intensidad de precipitación" del presente anejo, debe ser como mínimo igual al tiempo de concentración de la cuenca considerada.

El factor F_b se obtiene a partir de las curvas IDF de un pluviógrafo próximo, donde en su defecto se adoptará el valor de F_a .

A continuación, se muestra la figura de la cual se obtiene el índice de torrencialidad.

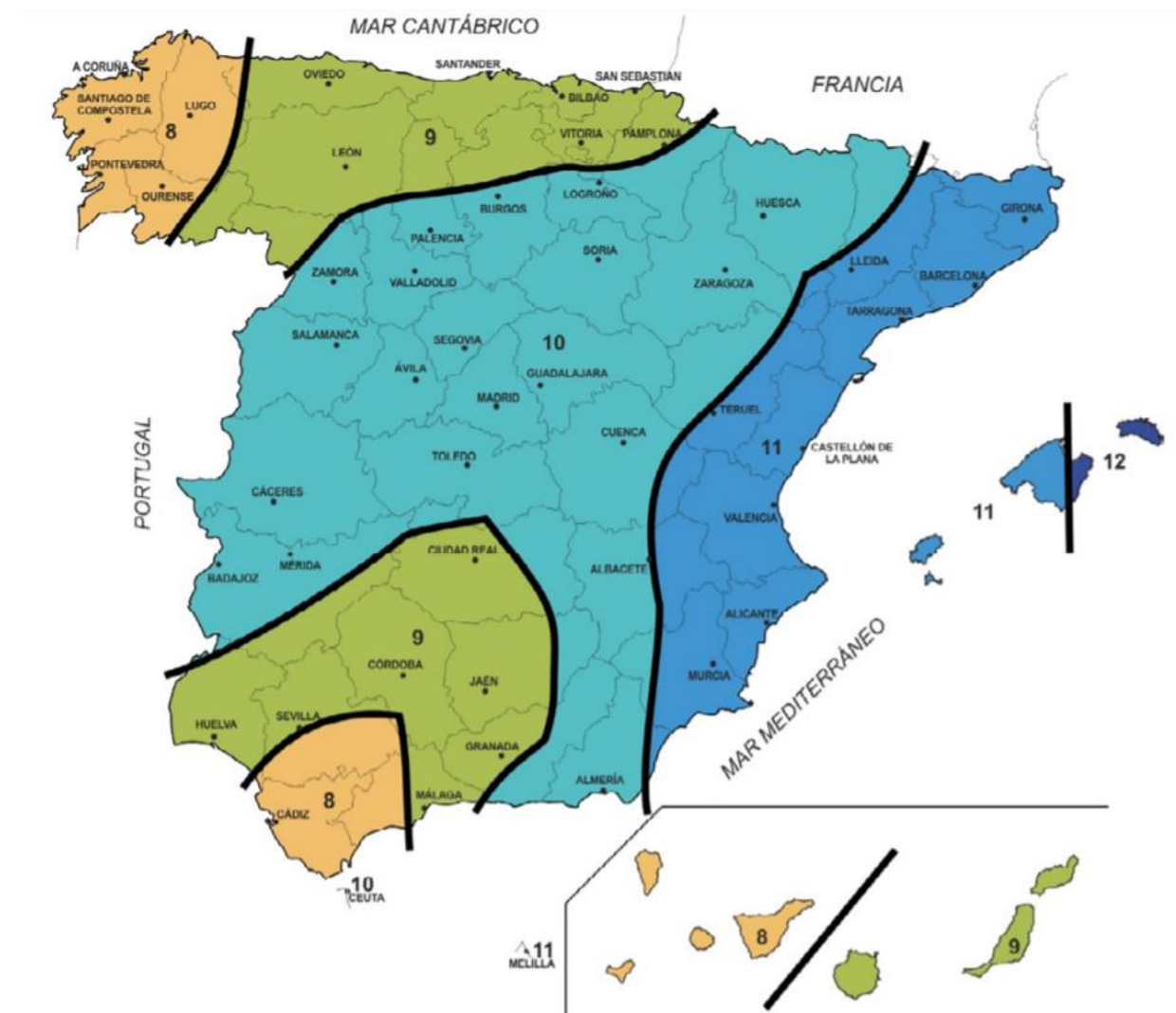


Figura 2. Mapa del índice de torrencialidad

3.1.4. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración representa el tiempo mínimo que debe pasar hasta que la última gota de la cuenca aporte escorrentía al punto de desagüe de la cuenca.

Para cuencas secundarias, la instrucción indica que el tiempo de concentración se debe determinar dividiendo el recorrido de la escorrentía en tramos de características homogéneas inferiores a 300 m de longitud, sumando posteriormente los tiempos parciales obtenidos.

Puesto que la escorrentía se captará mediante un colector paralelo a la directriz del paso superior, ubicado en la cota inferior de la superficie de la plataforma, tal y como se muestra en la siguiente figura, la escorrentía superficial únicamente se dará desde el punto más elevado de la sección transversal hasta

el colector. Una vez el flujo pasa al colector, el tiempo de llegada del flujo a los estribos se obtendrá mediante la ecuación de Manning partiendo de la suposición de régimen uniforme en lámina libre.

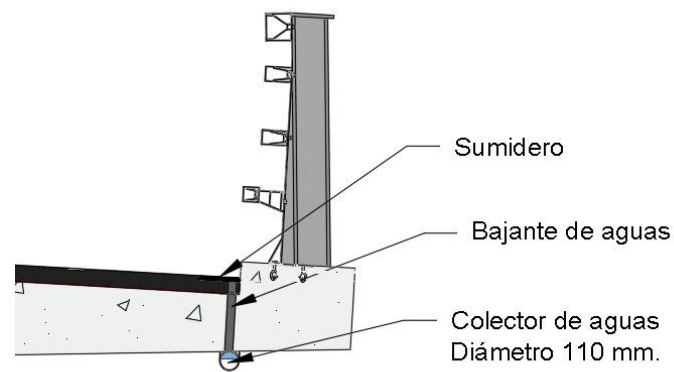


Figura 3. Drenaje en sección transversal.

Para la obtención del tiempo de concentración de la escorrentía superficial de la plataforma se adoptará la siguiente expresión proporcionada por la Instrucción 5.2.-I.C.

$$t_{dif} = 2 \cdot L_{dif}^{0,408} \cdot n_{dif}^{0,312} \cdot J_{dif}^{-0,209}$$

donde:

- t_{dif} (minutos): Tiempo de recorrido en flujo difuso del terreno
- n_{dif} (Adimensional): Coeficiente de flujo difuso
- L_{dif} (m): Longitud de recorrido del flujo difuso
- J_{dif} (Adimensional): Pendiente media

En la siguiente tabla, se muestran los valores que adopta n_{dif} según la cobertura de terreno.

Cobertura del terreno		n_{dif}
Pavimentado o revestido		0,015
No pavimentado ni revestido	Sin vegetación	0,050
	Con vegetación escasa	0,120
	Con vegetación media	0,320
	Con vegetación densa	1,000

Tabla 1. n_{dif} en función de la cobertura de terreno.

Una vez obtenido el tiempo de recorrido del flujo difuso, la Instrucción establece la siguiente relación, que permite obtener el tiempo de concentración.

t_{dif} (minutos)	t_c (minutos)
≤ 5	5
$5 \leq t_{dif} \leq 40$	t_{dif}
≥ 40	40

Tabla 2. Tiempo de concentración de la cuenca en función del tiempo de recorrido del flujo difuso.

3.2. Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía define la parte de la precipitación de intensidad $I(T,t)$ que transcurre como escorrentía superficial, generando el caudal de avenida en el punto de desagüe de la cuenca considerada en cuestión.

La obtención del coeficiente de escorrentía viene de la siguiente expresión:

$$\text{Si } P_d \cdot K_a > P_o \quad C = \frac{\left(\frac{P_d \cdot K_a}{P_o} - 1\right) \left(\frac{P_d \cdot K_a}{P_o} + 23\right)}{\left(\frac{P_d \cdot K_a}{P_o} - 1\right)^2}$$

$$\text{Si } P_d \cdot K_a \leq P_o \quad C = 0$$

donde:

- C (Adimensional): Coeficiente de escorrentía
- P_d (mm): Precipitación diaria correspondiente al período de retorno T considerado
- K_a (Adimensional): Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca
- P_o (mm): Umbral de escorrentía

3.2.1. Determinación del umbral de escorrentía

El umbral de escorrentía P_o representa la precipitación mínima que debe caer hasta que se empieza a generar escorrentía superficial. El umbral de escorrentía se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$P_o = P_o^i \cdot \beta$$

donde:

- P_o (mm): Umbral de escorrentía
- P_o^i (mm): Valor inicial del umbral de escorrentía
- β (Adimensional): Coeficiente corrector del umbral de escorrentía

3.2.2. Coeficiente corrector del umbral de escorrentía β

La instrucción aplica un coeficiente corrector β al umbral de escorrentía con el fin de calibrar los resultados del método racional con datos reales de cuencas.

La instrucción proporciona la siguiente expresión del coeficiente corrector para obras de drenaje transversal de la carretera en puentes.

$$\beta^{DT} = (\beta_m - \Delta 50) \cdot F_t$$

donde:

- β^{DT} (Adimensional): Coeficiente corrector del umbral de escorrentía para drenaje transversal de carretera
- β_m (Adimensional): Valor medio en la región, del coeficiente corrector del umbral de -- escorrentía
- $\Delta 50$ (Adimensional): Factor función del período de retorno
- F_t (Adimensional): Factor función del período de retorno

3.3. Determinación del área de la cuenca

El área de las cuencas se ha obtenido gráficamente en *AutoCAD*, siendo de 0,0012 km² y 0,0004 km², tal como se muestra en la siguiente figura.

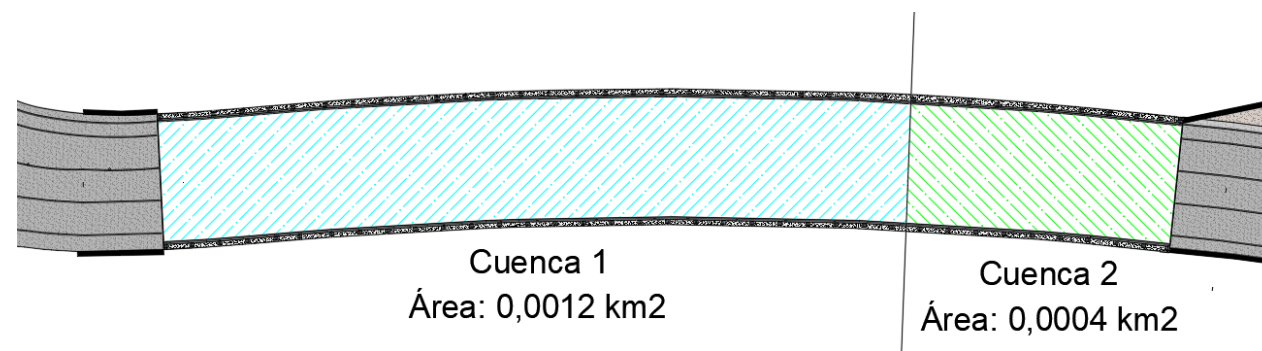


Figura 4. Área de las cuencas formadas por el paso superior.

3.4. Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación

El coeficiente de uniformidad se obtiene según el artículo 2.2.5 *Instrucción 5.2.-I.C.* Dicho coeficiente se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$K_t = \frac{t_c^{1,25}}{t_c^{1,25} + 14}$$

3.5. Resultados de cálculo

A continuación, se muestran los resultados de cálculo utilizados para caracterizar el caudal de proyecto para el sistema de drenaje. Con motivo de no modificar el diámetro del colector en ambos tramos para 20 m de longitud de la cuenca 2, se dispondrá un colector de diámetro continuo a lo largo de todo el paso superior, con caudal de proyecto el obtenido de la cuenca 1.

INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN		
Id (mm/h)	2,68	Intensidad media diaria de precipitación
Fint (Adimensional)	33,78	Factor de intensidad
I[T,t] (mm/h)	90,37	Intensidad de precipitación correspondiente a un periodo de retorno T

Id (mm/h)	2,68	Intensidad media diaria de precipitación corregida para un periodo T
Pd (mm)	64,20	Precipitación diaria correspondiente a un periodo T
Ka	1,00	Factor reductor de la precipitación

Fa (Adimensional)	33,78	Factor obtenido a partir del índice de torrencialidad
Fb (Adimensional)	0,57	Factor obtenido a partir de las curvas IDF de un pluviógrafo próximo
I1/Id (Adimensional)	11,21	Índice de torrencialidad
t (h)	0,14	Duración del aguacero
I1 (mm/h)	30,00	Intensidad de precipitación horaria
I IDF (T,tc) (mm/h)	1,00	Intensidad de precipitación correspondiente al periodo de Retorno T y al tiempo de concentración
I IDF (T,24) (mm/h)	2,00	Intensidad de precipitación correspondiente al periodo de Retorno T y al tiempo de aguacero Ig
Kb	1,13	Factor que tiene en cuenta la relación entre la intensidad máxima anual en un periodo de 24h y

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN PARA CUENCAS SECUNDARIAS		
t dif (minutos)	2,883479118	Tiempo de recorrido en flujo difuso sobre el terreno
L dif (m)	15	Coeficiente de flujo difuso
n dif (Adimensional)	0,015	Longitud de recorrido en flujo difuso
J dif (Adimensional)	0,065	Pendiente media

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN PARA CUENCAS SECUNDARIAS		
t dif (minutos)	5,322859201	Tiempo de recorrido en flujo difuso sobre el terreno
L dif (m)	70	Coeficiente de flujo difuso
n dif (Adimensional)	0,015	Longitud de recorrido en flujo difuso
J dif (Adimensional)	0,07	Pendiente media

COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA		
Ka	1	Factor reductor de la precipitación
Po	0,935	Umbral de escorrentía
C	0,977309291	Intensidad de precipitación correspondiente a un periodo de retorno T

UMBRAL DE ESCORRENTÍA		
Po (mm)	0,935	Umbral de escorrentía
Poi (mm)	1	Umbral de escorrentía inicial
Betta (mm)	0,935	Coeficiente corrector del umbral de escorrentía

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD		
tc (minutos)	8,206338319	Umbral de escorrentía
Kt (Adimensional)	1,49801906	Umbral de escorrentía inicial

CAUDAL POR EL MÉTODO RACIONAL		
C	0,98	
I	90,37	mm/h
A	0,0012	Km2
Kt	1,50	
Qt	0,04	m3/s

Tabla 3. Resultados de cálculo para la obtención del caudal de proyecto del sistema de drenaje

4. CÁLCULO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE DRENAJE

4.1. Cálculo hidráulico del sistema de captación

Por motivos de trazado, la pendiente transversal que dispone el paso superior obliga a disponer los elementos de drenaje en aquellos puntos de menor cota a lo largo de la longitud del mismo, tal como se muestra en la siguiente figura.

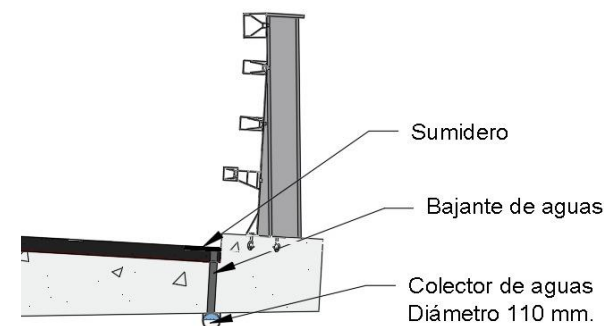


Figura 5. Esquema tipo del sistema de drenaje

El caudal de diseño se dimensionará por unidad de ancho, captando la escorrentía superficial. Las rejillas dependen principalmente de dos factores, como la velocidad del flujo y la superficie de huecos de la rejilla.

De esta manera, se supone que se acumulará una lámina de agua de 3 cm de altura, siendo éste un valor conservador. La velocidad máxima del flujo se estima en 0.6 m/s.

El estudio de la captación hidráulica se basa en las conclusiones extraídas en el Estudio llevado a cabo por la UPC de (Gómez y Russo a), donde se consiguieron resultados significativos, que dieron pie a un avance en la obtención de una expresión parcialmente teórica de la que se podría suponer como es el rendimiento de las rejillas sin necesidad de llevar a cabo una experimentación de la misma. La captación de escorrentía de la rejilla suele definirse mediante la eficiencia hidráulica, que es la relación entre el caudal captado por un metro de estructura de captación y el caudal unitario circulante:

$$\eta = \frac{q_{int}}{q_t}$$

La eficiencia hidráulica se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$\eta = A \left(\frac{Q}{y} \right)^{-B}$$

Donde

- A y B Parámetros dependientes de la rejilla
- Q Caudal a trasegar
- y Altura de la lámina de agua.

$$A = \frac{0.39}{A_g^{-0.35} \rho^{-0.13}} (n_t + 1)^{0.01} (n_l + 1)^{0.11} (n_d + 1)^{0.03}$$

$$B = 0.36 \cdot \frac{\text{longitud}}{\text{ancho}}$$

$$\rho = \frac{A_H}{A_g}$$

Donde

- A_g El área que engloba a todos los agujeros
- ρ El porcentaje en tanto por 100 que ocupan los agujeros (A_H) con respecto al área que engloban
- n_t Número de barras transversales
- n_l Número de barras longitudinales
- n_d Número de barras diagonales
- $long$ Dimensión de A_H en la dirección longitudinal del fluido
- $Ancho$ Es la dimensión A_H en la dirección transversal del fluido

De esta forma, como se puede observar en la siguiente gráfica, la eficiencia de las rejillas adopta las siguientes funciones en función de la longitud.

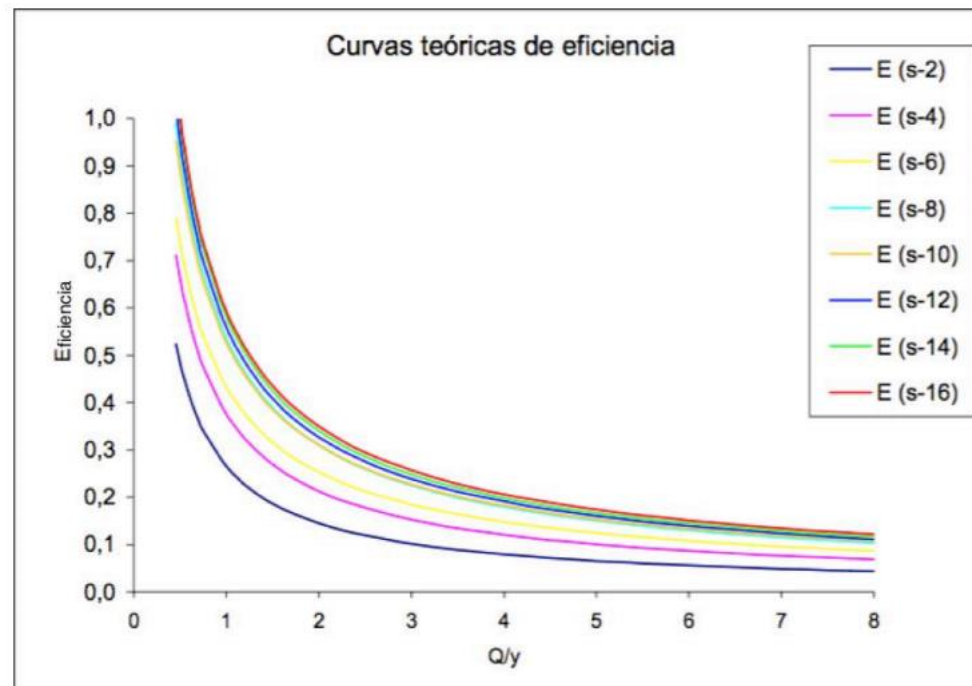


Figura 6. Variación del rendimiento en función de la longitud y la lámina de agua.

Donde para una rejilla de 120 mm de anchura y 284 mm de largo, presenta las siguientes características:

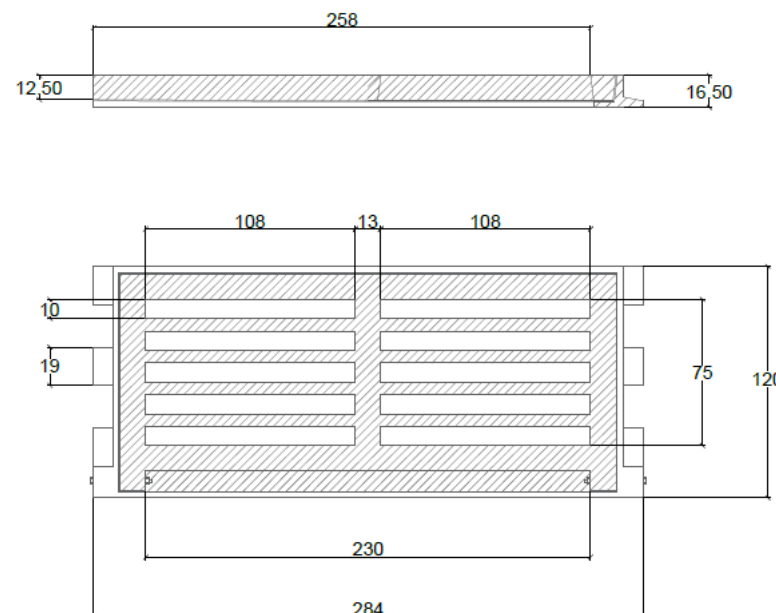


Figura 7. Características de la rejilla a disponer

Por cuestiones estructurales, la rejilla debe disponer de un espesor mínimo en las barras longitudinales de la misma para resistir el peso de los vehículos pesados, por lo que el tamaño de la misma es superior al que debe haber por cuestiones hidráulicas. La eficiencia de la misma para las siguientes características ronda al doble, por lo que puede evacuar hasta un caudal de dos veces el de proyecto.

η	2.12	adim	Eficiencia hidráulica
A	0.19	adim	Parámetro A
Q	0.02	m ³ /s	Caudal de eentrada al que esta sometido la rejilla
y	0.03	m	Altura de la lámina de agua
B	5.926	adim	Parámetro B

Ag	0.13632	m ²	Área de la rejilla
p	0.3169014	adim	Porcentaje del área de la rejilla que son huecos
nt	5	ud	Búmero de barras transversales
nl	2	ud	Número de barras longitudinales
nd	0	ud	Número de barras diagonales
Ah	0.0432	m ²	Área ocupada por los huecos
long	0.05	m	Es la dimensión de Ah en la dirección del fluido
ancho	0.864	m	Es la dimensión Ah en la dirección transversal del fluido

Tabla 4. Cálculo de la capacidad de captación de la rejilla.

Con ello, se puede observar que el sistema de drenaje dispuesto trasiega las aguas de tormenta posibles que puedan darse en la plataforma.

4.2. Capacidad hidráulica del sumidero

Los sumideros son los elementos cuya función es captar caudales de la plataforma y desaguar a un colector que posteriormente, desaguará mediante bajantes en los estribos.

En los puntos bajos en tramos en pendiente, con el fin de permitir que si un sumidero está ocluido, el agua que deje de entrar en él pueda recogerse en los siguientes situados aguas abajo, la capacidad de desagüe de cada sumidero deberá ser tal que permita absorber su caudal de proyecto más un treinta por ciento del caudal de proyecto de hasta tres sumideros situados inmediatamente aguas arriba.

Para láminas de agua inferiores a 12 cm, la expresión adoptada para obtener el flujo que capta un sumidero es la siguiente:

$$Q = 0.0164 \cdot P \cdot H^{3/2}$$

Donde

- P Es el perímetro de la abertura en cm
- H Es la profundidad de la lámina de agua en cm
- Q Caudal que capta el sumidero en l/s

De esta forma, los sumideros a disponer presentan las siguientes características

Q	13.03	l/s	Caudal ue capta el sumidero
H	10	cm	Altura de la lámina libre
P	25.1	cm	Perímetro de la lámina libre
Diametro	8	cm	Diámetro del sumidero
Qp	40	l/s	Caudal de proyecto
nº sum.	4	l/s	Número de sumideros necesarios distribuidos homogéneamente

Tabla 5. Número de sumideros a disponer.

De esta forma, se disponen tres sumideros por vano de 100 mm de diámetro cada uno de ellos. En la siguiente figura se muestra la disposición en planta de los mismo, para obtener así una ubicación espacial más clara.

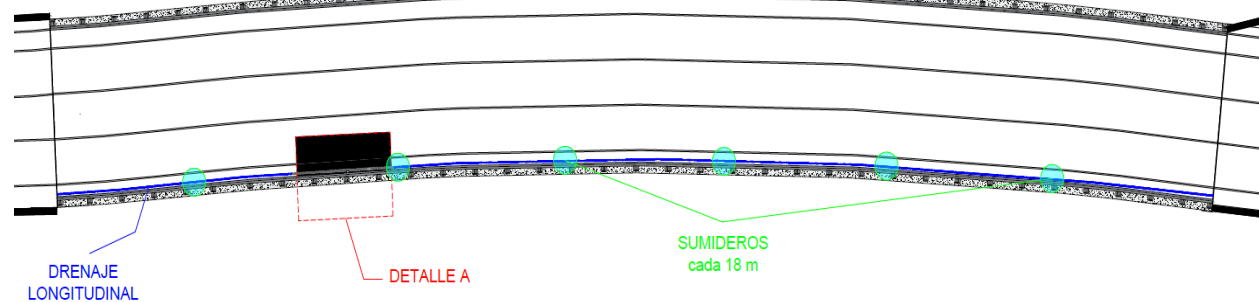


Figura 8. Ubicación en planta de la rejilla y los sumideros dispuestos.

4.3. Capacidad hidráulica del colector

En el artículo 3.4.5. de la *Instrucción 5.2-I.C.*, se establece el cálculo de colectores mediante la fórmula de Manning, para régimen uniforme, debiéndose cumplir la siguiente relación:

$$Q_{CH} = \frac{J^{\frac{1}{2}} \cdot R_H^{\frac{2}{3}} \cdot S_{max}}{n} \geq Q_p = V_p \cdot S_p$$

Donde:

- Q_{CH} Capacidad hidráulica del elemento de drenaje.
- J Pendiente geométrica del elemento lineal.
- R_H Radio hidráulico
- S_{max} Área de la sección transversal del conducto
- n Coeficiente de rugosidad de Manning, dependiente del tipo de material del elemento lineal
- Q_p Caudal de proyecto del elemento de drenaje
- V_p Velocidad media de la corriente para el caudal de proyecto
- S_p Área de la sección transversal ocupada por la corriente para el caudal de Proyecto

La Instrucción proporciona la siguiente figura para establecer el diámetro del colector en función del caudal.

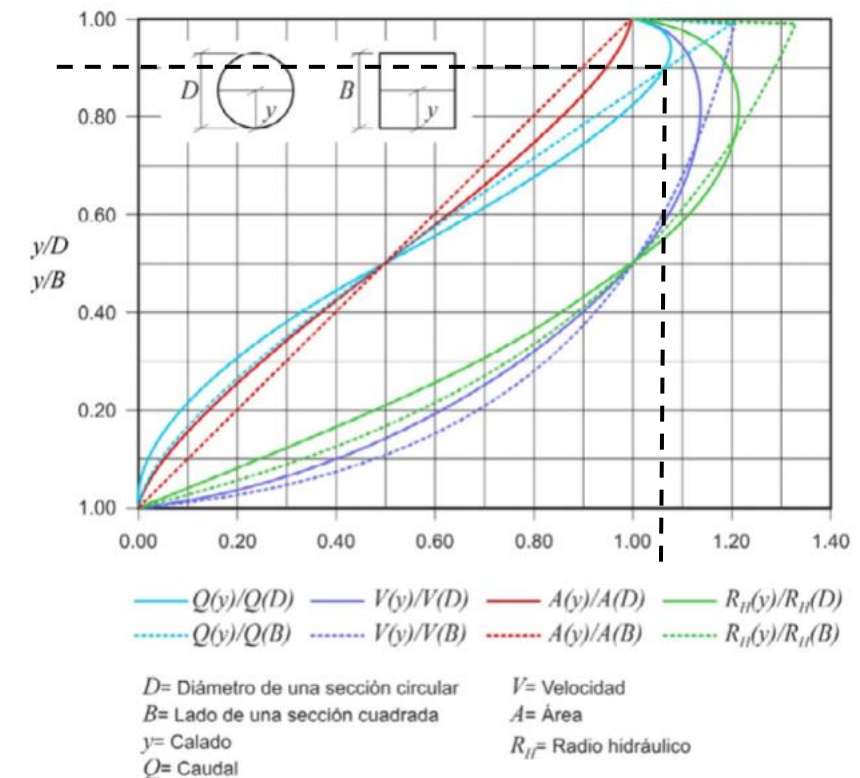


Figura 9. Caudal en función del calado en elementos lineales en lámina libre en régimen uniforme

Se limita la relación calado/diámetro a 0,9, con el objetivo de mantener cierto resguardo o margen de seguridad para que el colector no entre en carga y aprovechar la sección útil lo máximo posible. Limitada dicha relación, se obtiene que la relación $Q(y)/Q(D)$ es de 1,05.

El caudal de proyecto obtenido en el cálculo hidrológico es de 40 l/s, y la velocidad de proyecto queda limitada según la siguiente tabla:

Naturaleza de la superficie	Máxima velocidad admisible (m/s)
Terreno sin vegetación arenoso o limoso	0,20-0,60
Terreno sin vegetación arcilloso	0,60-0,90
Terreno sin vegetación en arcillas duras y margas blandas	0,90-1,40
Terreno sin vegetación en gravas y cantos	1,20-2,30
Terreno parcialmente cubierto de vegetación	0,60-1,20
Terreno con vegetación herbácea permanente	1,20-1,80
Rocas blandas	1,40-3,00
Mampostería, rocas duras	3,00-5,00
Hormigón	4,50-6,00

Tabla 6. Velocidad máxima del agua admisible.



El colector se instalará de materiales poliméricos como el PVC, no contemplado en la tabla anterior. Para el PVC se puede asumir la limitación de velocidad del hormigón, siendo entonces la velocidad de proyecto de 4,5 m/s.

De esta forma, el diámetro a disponer es el siguiente:

$$\frac{Q(y)}{Q(D)} = 1,05$$

$$Q(y) = Q_p = 1,05 \cdot Q(D)$$

$$Q(D) = \frac{0,04 \text{ m}^3/\text{s}}{1,05} = 0,0381 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q(D)}{V_p \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0381}{4,5 \cdot \pi}} \approx 110 \text{ mm}$$



5. REFERENCIAS

- BALEARS METEO. *Portal oficial de meteorología de las Islas Baleares*.
<<http://www.balearsmeteo.com/index.php>>
- MINISTERIO DE FOMENTO. *5.2-I.C Drenaje Superficial de la instrucción de carreteras*. Madrid.
- FRANCÉS GARCÍA, F.R., ALBENTOSA HERNÁNDEZ, E. *Estadística Paramétrica de Valores Extremos*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- BOTERO HERNÁNDEZ, B.A. (2006). *AFINS 2.0* [Software]
- GÓMEZ M. y RUSSO B. (2005b). *Comparative study among different methodologies to determine storm sewer inlet efficiency from test data*. 10th International Conference of Urban Drainage. Copenhagen, Dinamarca.
- GÓMEZ M. y RUSSO B. (2005b). *Eficiencia hidráulica de las rejillas transversales continuas*. Departamento de hidráulica de la ETSECCPB. U.P.C.



ANEXO 1. CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN DIARIA

1. CONSIDERACIONES GENERALES

En el presente anexo se determinará la precipitación diaria a considerar para el dimensionamiento de los sistemas de drenaje.

Los datos relativos a la precipitación diaria se han obtenido de la página web principal de meteorología de las Islas Baleares, adjuntada en referencias.

Las estaciones de meteorología más cercanas al emplazamiento del paso superior son *Es Pil·larí* y *Ciudad Jardín*, 5 y 1,5 km. Dichas estaciones tienen recogidas muestras desde el año 2015 y 2009. En la siguiente figura se muestra la ubicación de las estaciones y el emplazamiento del paso superior.



Figura 10. Ubicación de las estaciones meteorológicas y emplazamiento del paso superior.

2. MUESTRAS PLUVIOMÉTRICAS DE LAS ESTACIONES

La muestra correspondiente a *Es Pil·larí* es la siguiente:

Fecha	Pd máx. (mm)
jul-15	0
ago-15	47,6
sep-15	57,8
oct-15	36
nov-15	12
dic-15	23,6
ene-16	3,4
feb-16	19,2
mar-16	13,4
abr-16	18,2
may-16	11,4
jun-16	7,6
jul-16	0
ago-16	0,4
sep-16	30,4
oct-16	20,8
nov-16	21,4
dic-16	67
ene-17	33,6
feb-17	8,4
mar-17	25,6
abr-17	17,6
may-17	0
jun-17	43,4
jul-17	3,2
ago-17	7,6
sep-17	50,6
oct-17	26,2
nov-17	15,6
dic-17	11,6
ene-18	4,8
feb-18	17,2
mar-18	29
abr-18	18,6
may-18	16,8
jun-18	9,2
jul-18	0,2
ago-18	0

Tabla 7. Muestra de precipitación diaria máxima mensual en la Estación *Es Pil·larí*.

Fecha	Pd máx. (mm)
ago-09	1,2
sep-09	39,6



oct-09	20
nov-09	13,8
dic-09	25,2
ene-10	26
feb-10	10,2
mar-10	28,8
abr-10	15,2
may-10	64,6
jun-10	20,8
jul-10	2,4
ago-10	3,2
sep-10	29
oct-10	41,4
nov-10	9,2
dic-10	6,6
ene-11	13,6
feb-11	22,6
mar-11	13,8
abr-11	0,2
may-11	-
jun-11	-
jul-11	-
ago-11	-
sep-11	-
oct-11	-
nov-11	-
dic-11	-
ene-12	-
feb-12	-
mar-12	-
abr-12	-
may-12	-
jun-12	-
jul-12	-
ago-12	-
sep-12	-
oct-12	-
nov-12	-
dic-12	-
ene-13	-
feb-13	-
mar-13	-
abr-13	-
may-13	-
jun-13	-
jul-13	-
ago-13	-
sep-13	-
oct-13	-
nov-13	-

dic-13	-
ene-14	-
feb-14	-
mar-14	4
abr-14	8,8
may-14	2,6
jun-14	0
jul-14	0
ago-14	8
sep-14	16,6
oct-14	4,2
nov-14	14,4
dic-14	14,4
ene-15	12,4
feb-15	12,8
mar-15	14,4
abr-15	3,2
may-15	7,4
jun-15	1,2
jul-15	0
ago-15	27,6
sep-15	72,6
oct-15	17,8
nov-15	10,4
dic-15	0,2
ene-16	3,2
feb-16	12,4
mar-16	7,8
abr-16	16,8
may-16	15,6
jun-16	6,2
jul-16	0
ago-16	0,2
sep-16	16,4
oct-16	28
nov-16	17,6
dic-16	54,4
ene-17	41,6
feb-17	7,8
mar-17	24,6
abr-17	5,4
may-17	2,6
jun-17	31
jul-17	2,2
ago-17	7,8
sep-17	224
oct-17	21,8
nov-17	17
dic-17	8,6
ene-18	5,4

feb-18	24,8
mar-18	16,4
abr-18	12,2
may-18	26
jun-18	6,8
jul-18	0,4
ago-18	0

Tabla 8. Muestra de precipitación diaria máxima mensual en la Estación *Ciudad Jardín*.

3. FUNCIÓN EMPÍRICA

La función empírica es la función no paramétrica sobre la cual se ajustan las posteriores funciones de distribución consideradas. Dicha función no tiene capacidad de predicción, y se tiene que preparar previamente al ajuste de las funciones de distribución, eliminando los valores nulos y ordenándola de mayor a menor, para poder predecir mediante las funciones de distribución, los valores máximos que pueden darse para el cuantil o periodo de retorno deseado.

A continuación, se muestran las funciones empíricas utilizadas para el posterior ajuste de las funciones de distribución.

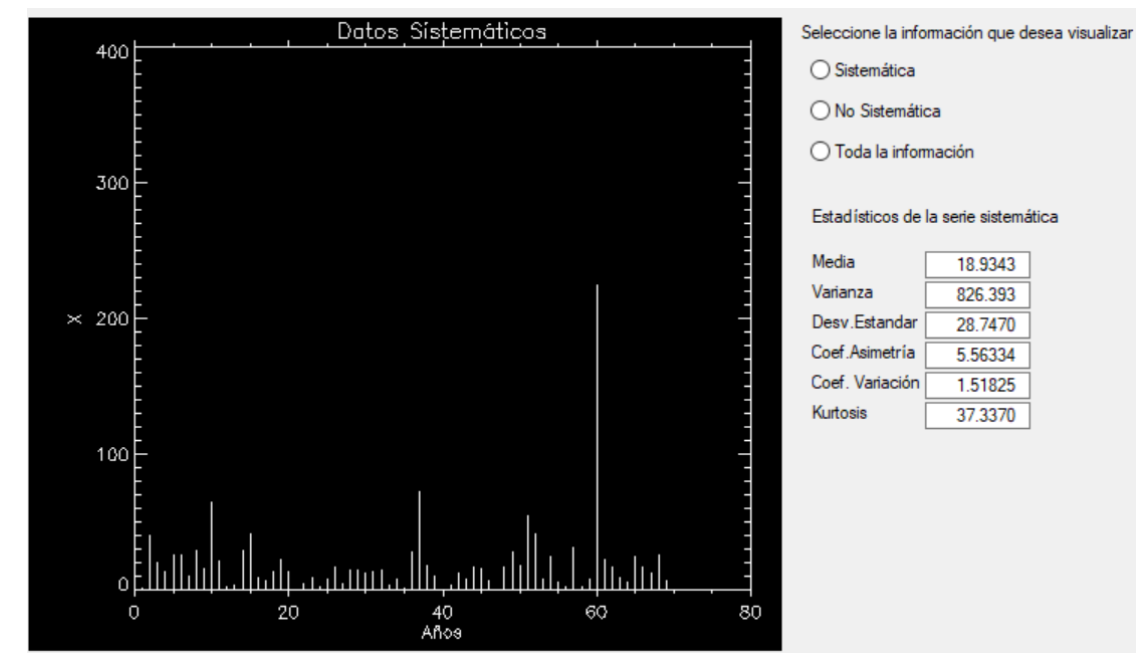


Figura 11. Representación gráfica y estadísticos muestrales de la serie de precipitaciones máximas mensuales de la estación pluviométrica de *Es Pil-larí* entre 2015-2018.

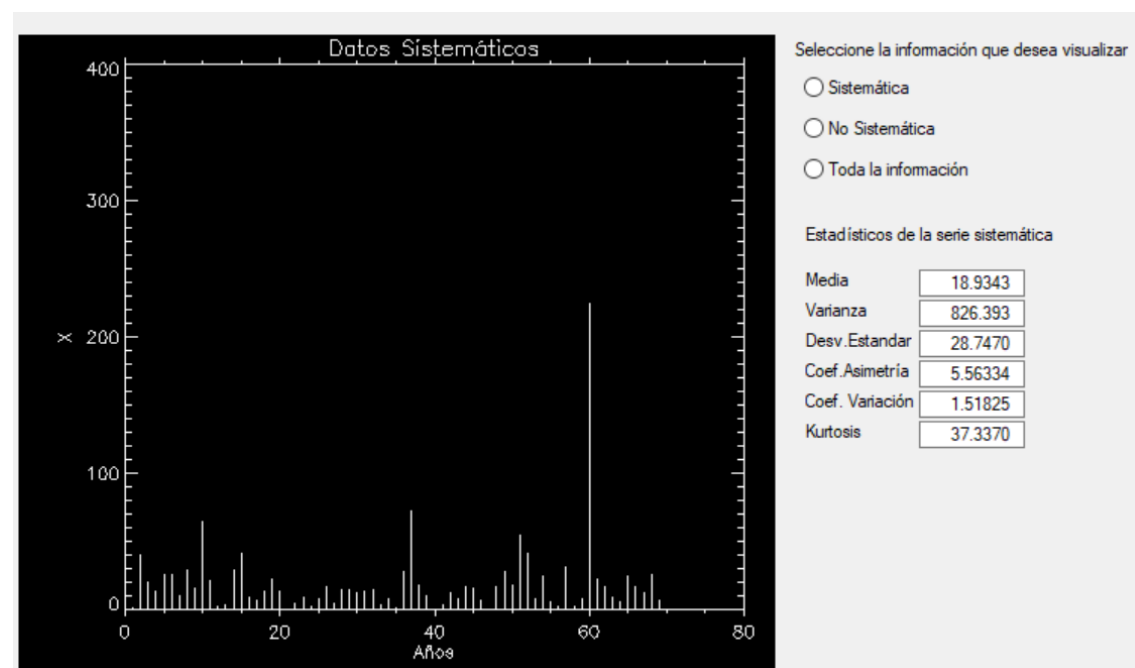


Figura 12. Representación gráfica y estadísticos muestrales de la serie de precipitaciones máximas mensuales de la estación pluviométrica Ciudad Jardín entre 2015-2018.

4. AJUSTE DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN

Para el ajuste de las funciones de distribución se ha empleado el software *AFINS 2.0*. El modelo estadístico a emplear está compuesto de la función de distribución y el método de estimación de los parámetros de las mismas. Las funciones de distribución ajustadas que se emplean a la función empírica son las siguientes:

- Gumbel
- TCEV
- GEV
- Log Normal 2
- Log Gumbel
- Pareto de 3 parámetros
- Exponencial
- SQRT

El ajuste de parámetros de las expresiones anteriores se realiza en primera instancia por el método de los momentos, posteriormente ajustándolos por el método de la máxima verosimilitud.

Las siguientes figuras muestran el ajuste de las funciones de distribución a la función empírica de cada estación meteorológica.

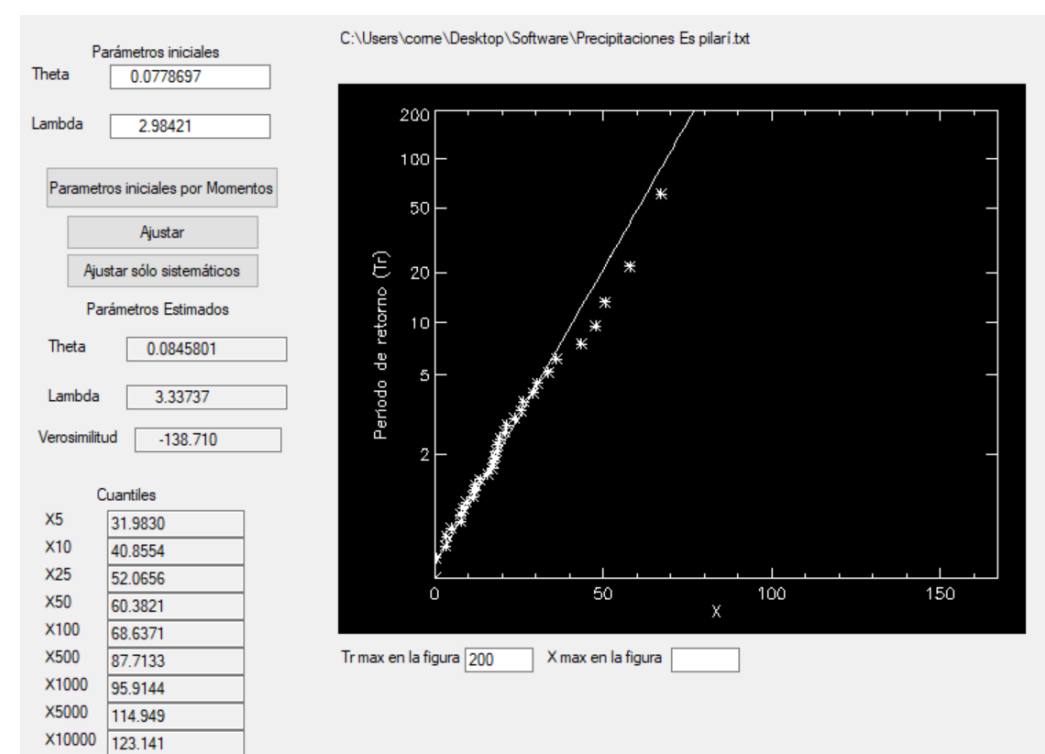


Figura 13. Función de distribución Gumbel ajustada a la función empírica de Es Pil-larí.

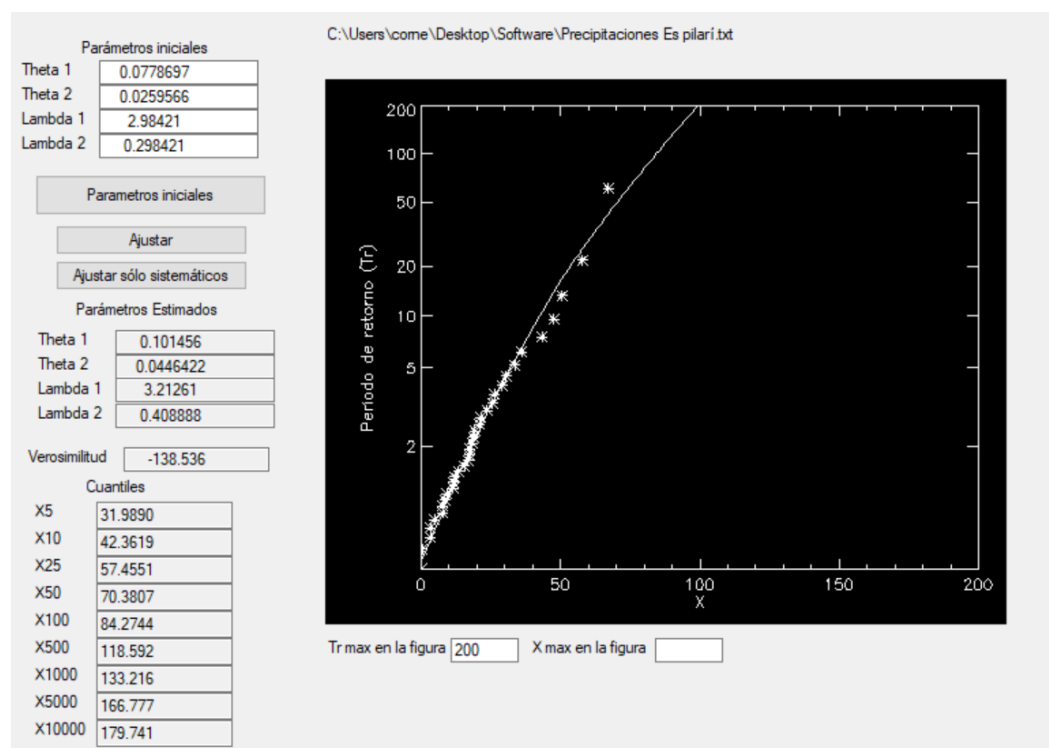


Figura 14. Función de distribución TCEV ajustada a la función empírica de *Es Pil-larí*.

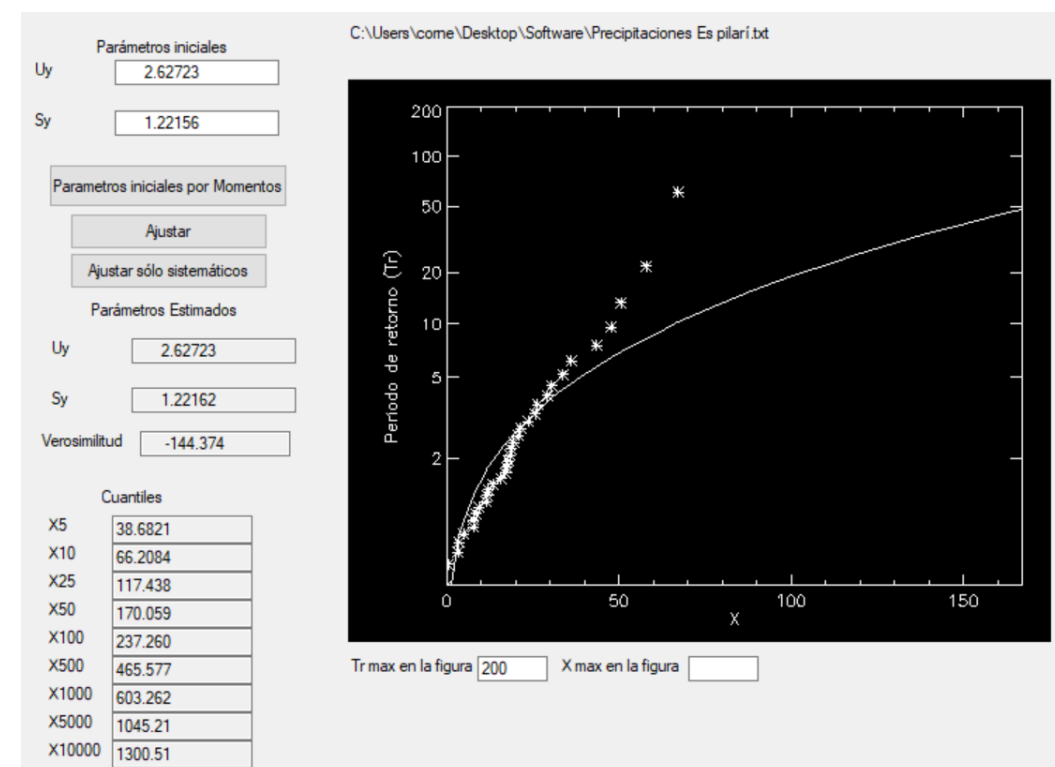


Figura 16. Función de distribución Log Normal 2 ajustada a la función empírica de *Es Pil-larí*.

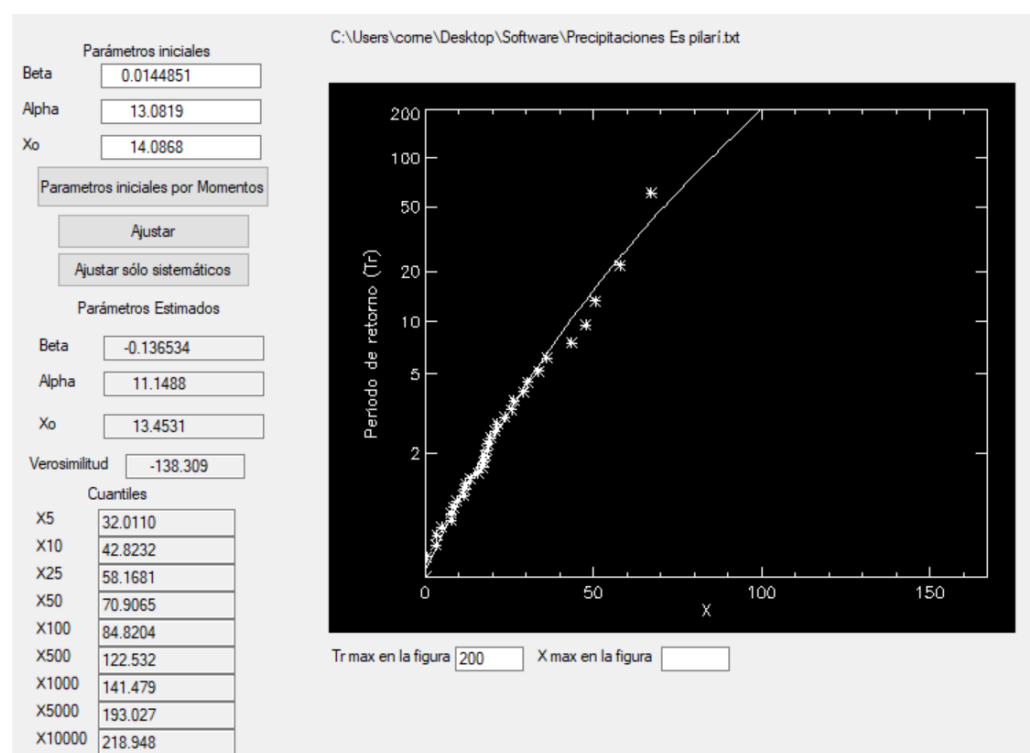


Figura 15. Función de distribución GEV ajustada a la función empírica de *Es Pil-larí*.

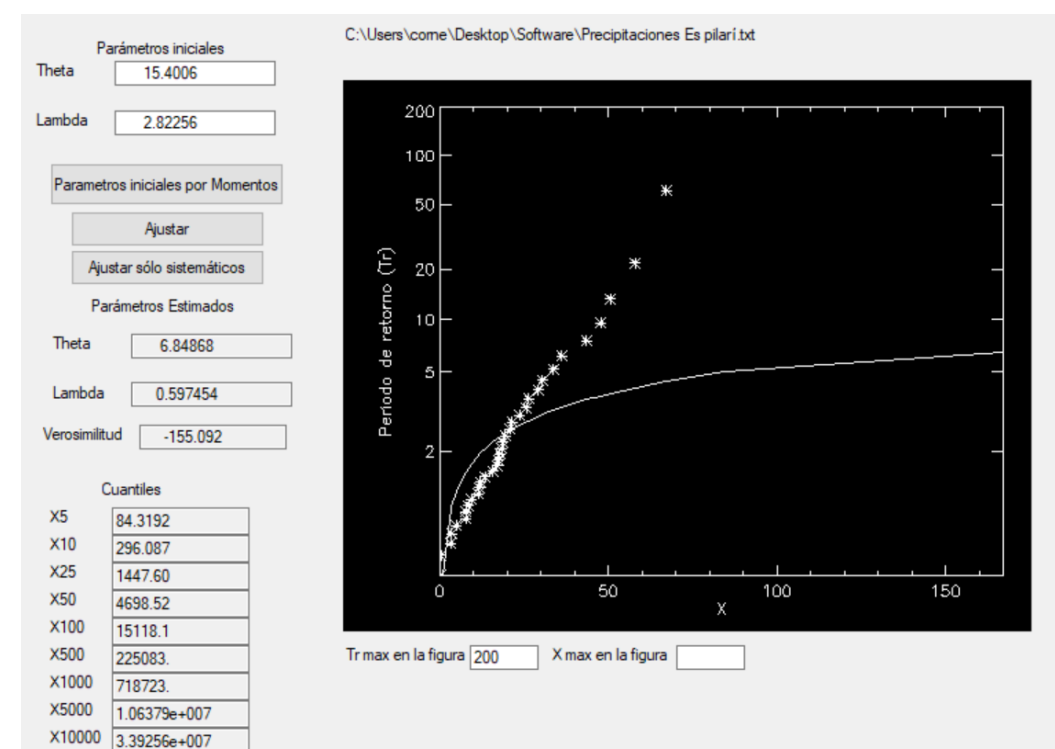


Figura 17. Función de distribución Log Gumbel ajustada a la función empírica de *Es Pil-larí*.

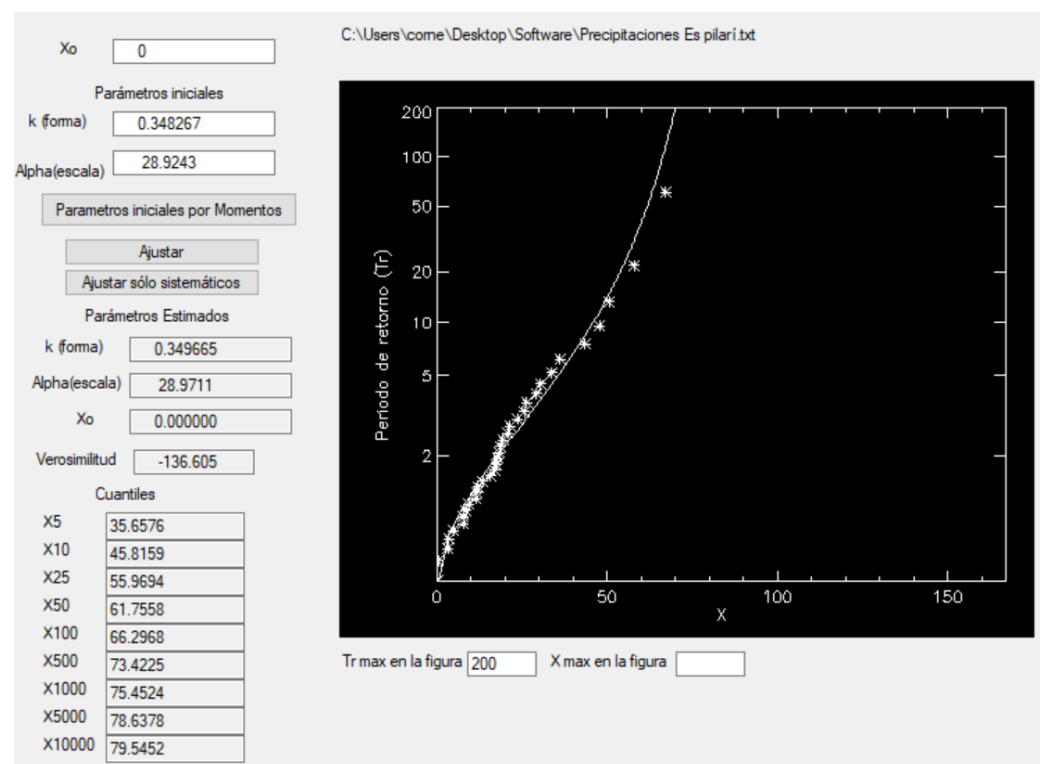


Figura 18. Función de distribución Pareto de tres parámetros ajustada a la función empírica de *Es Pil-larí*.

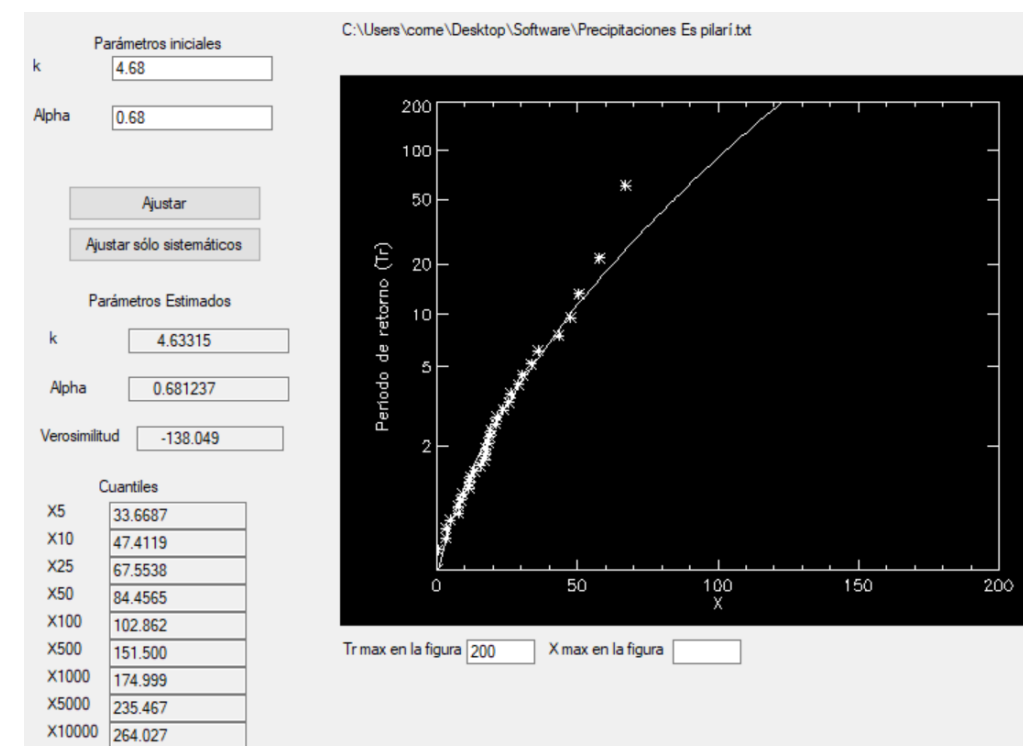


Figura 20. Función de distribución SQRT ajustada a la función empírica de *Es Pil-larí*.

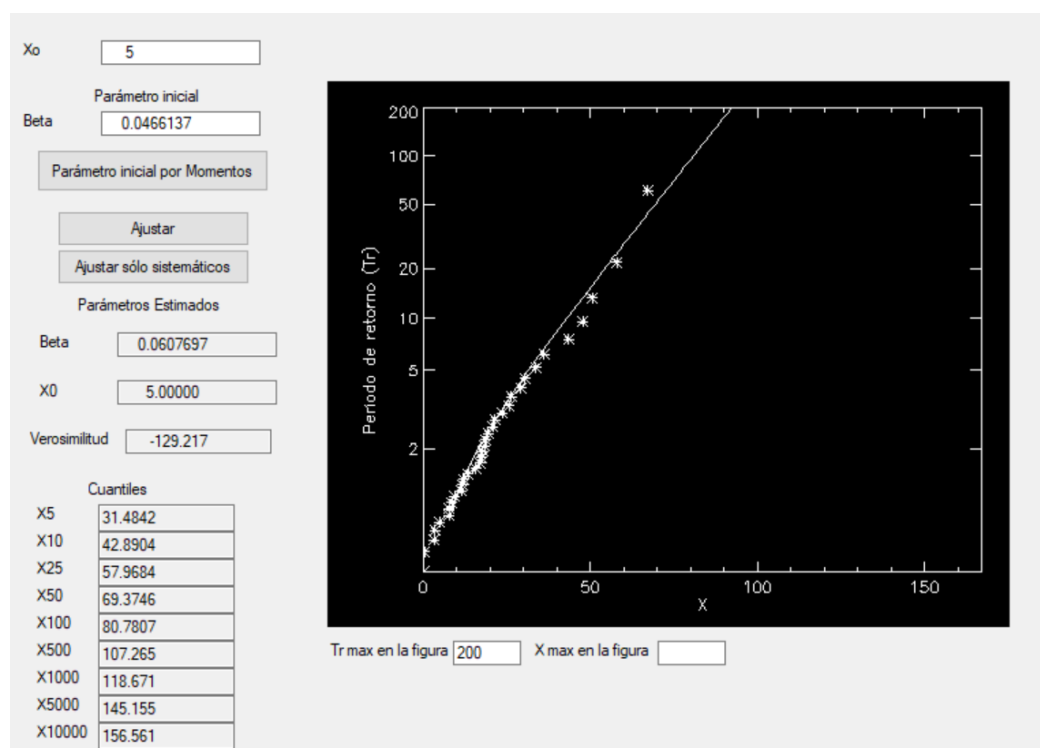


Figura 19. Función de distribución Exponencial ajustada a la función empírica de *Es Pil-larí*.

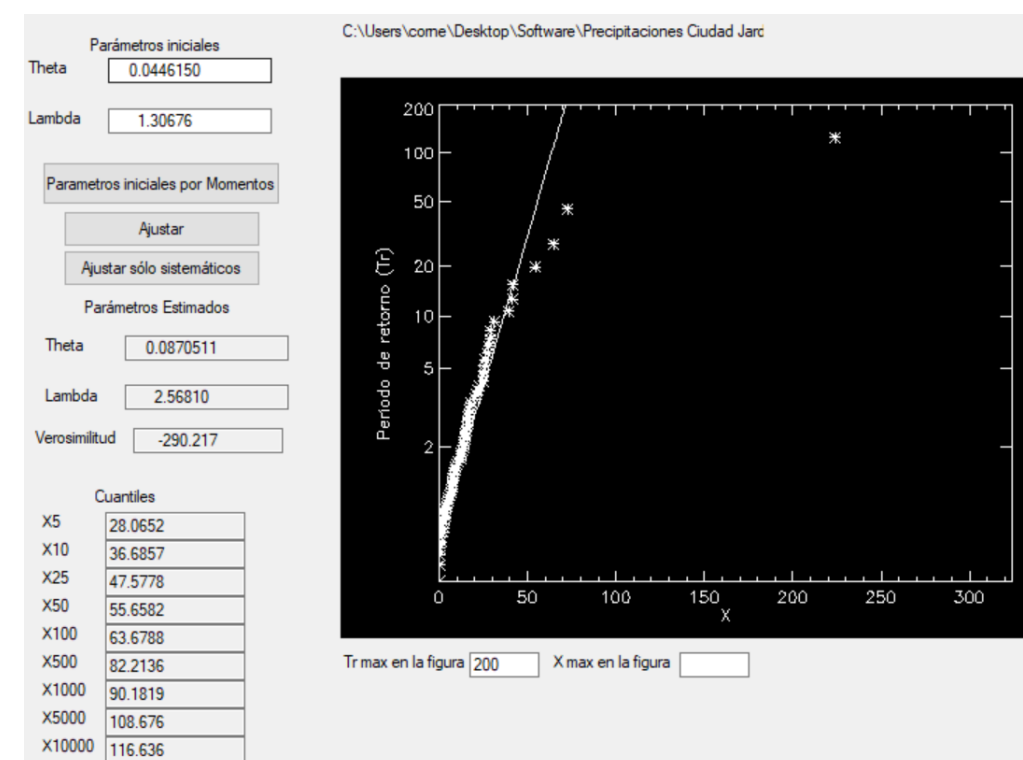


Figura 21. Función de distribución Gumbel ajustada a la función empírica de *Ciudad Jardín*.

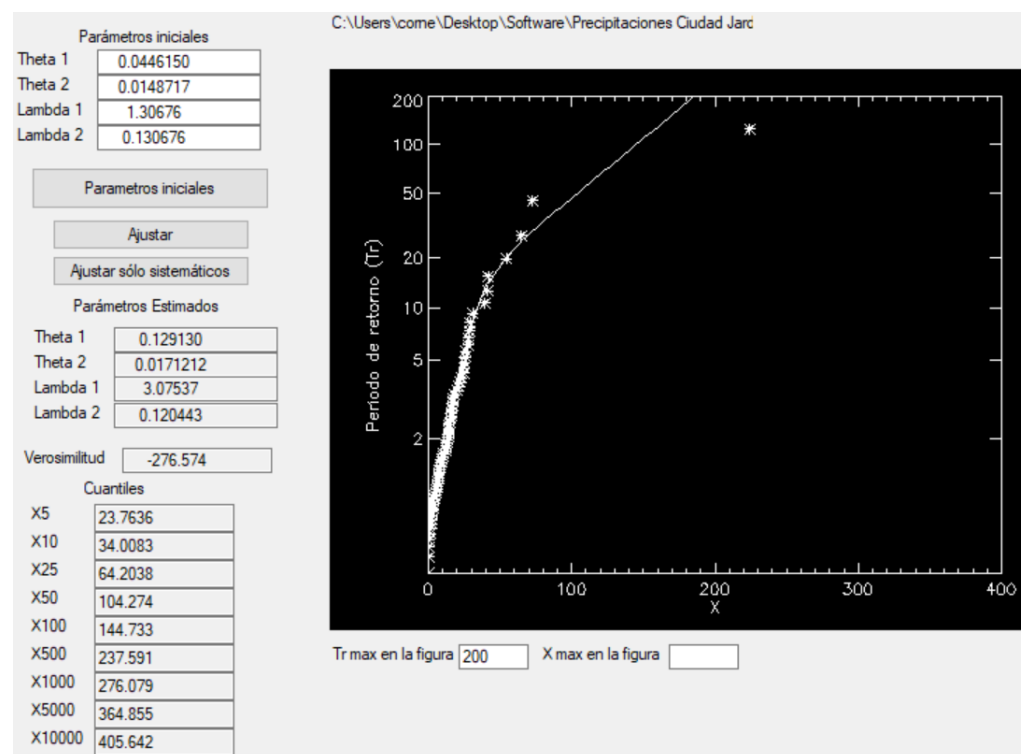


Figura 22. Función de distribución TCEV ajustada a la función empírica de Ciudad Jardín.

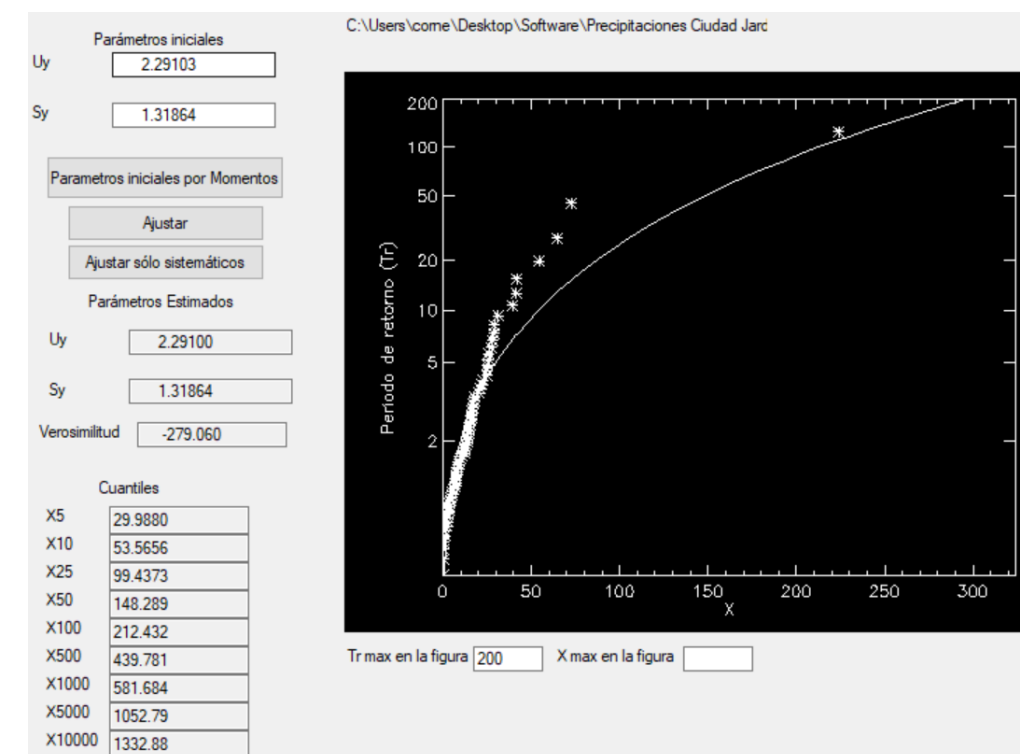


Figura 24. Función de distribución Log Normal 2 ajustada a la función empírica de Ciudad Jardín.

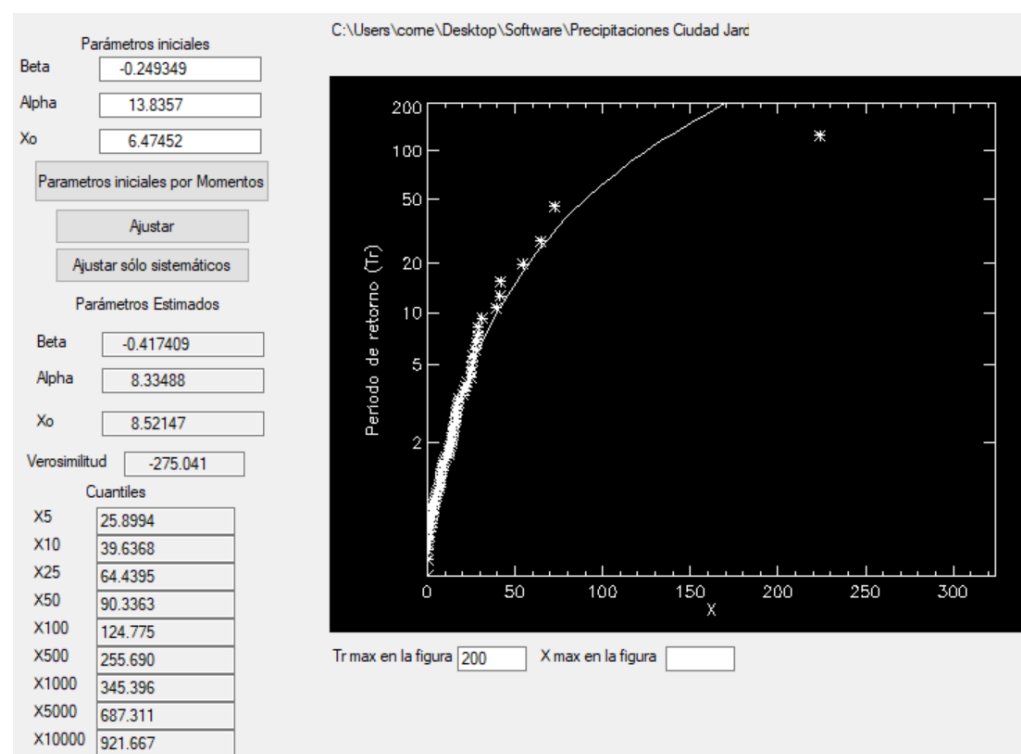


Figura 23. Función de distribución GEV ajustada a la función empírica de Ciudad Jardín.

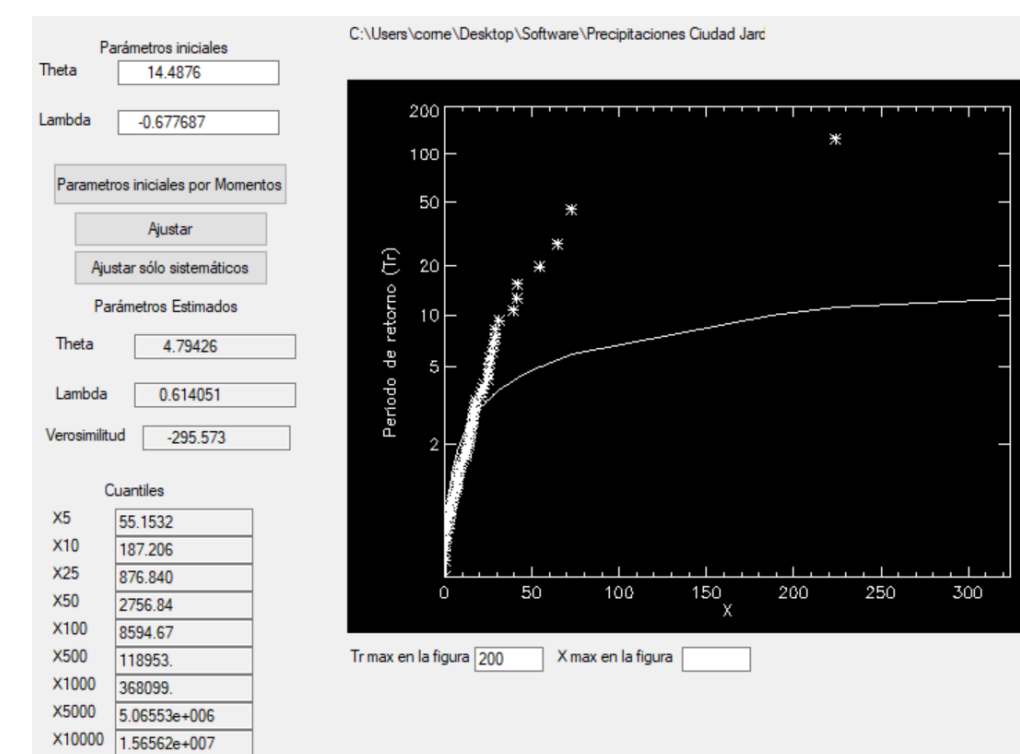


Figura 25. Función de distribución Log Gumbel ajustada a la función empírica de Ciudad Jardín.

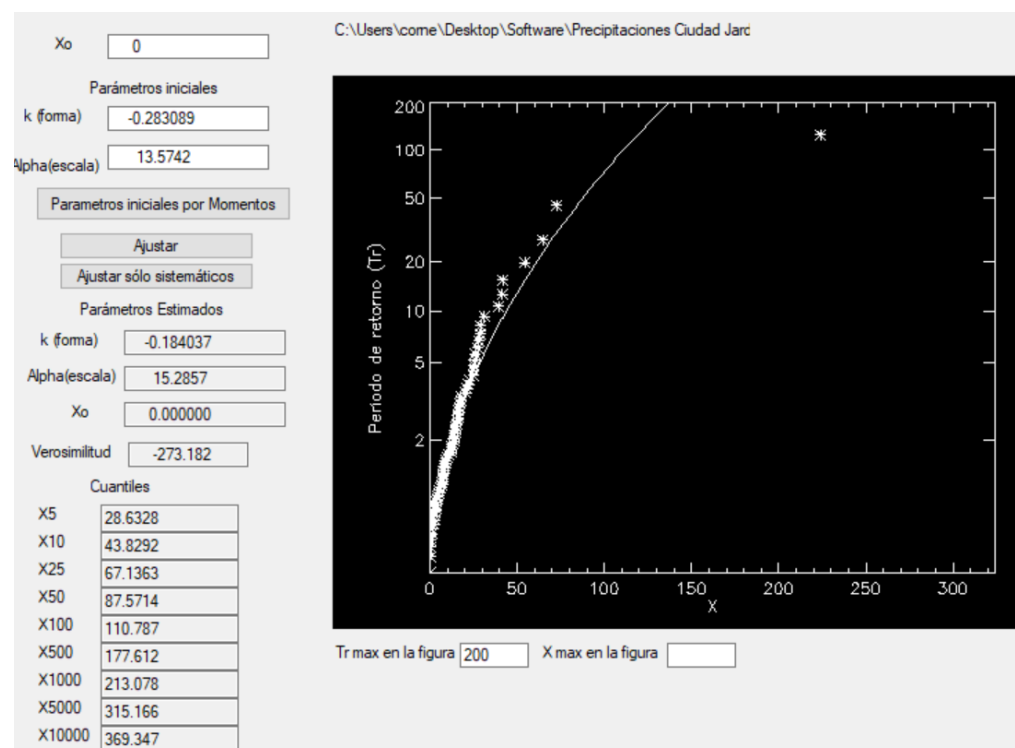


Figura 26. Función de distribución Pareto de tres parámetros ajustada a la función empírica de *Ciudad Jardín*.

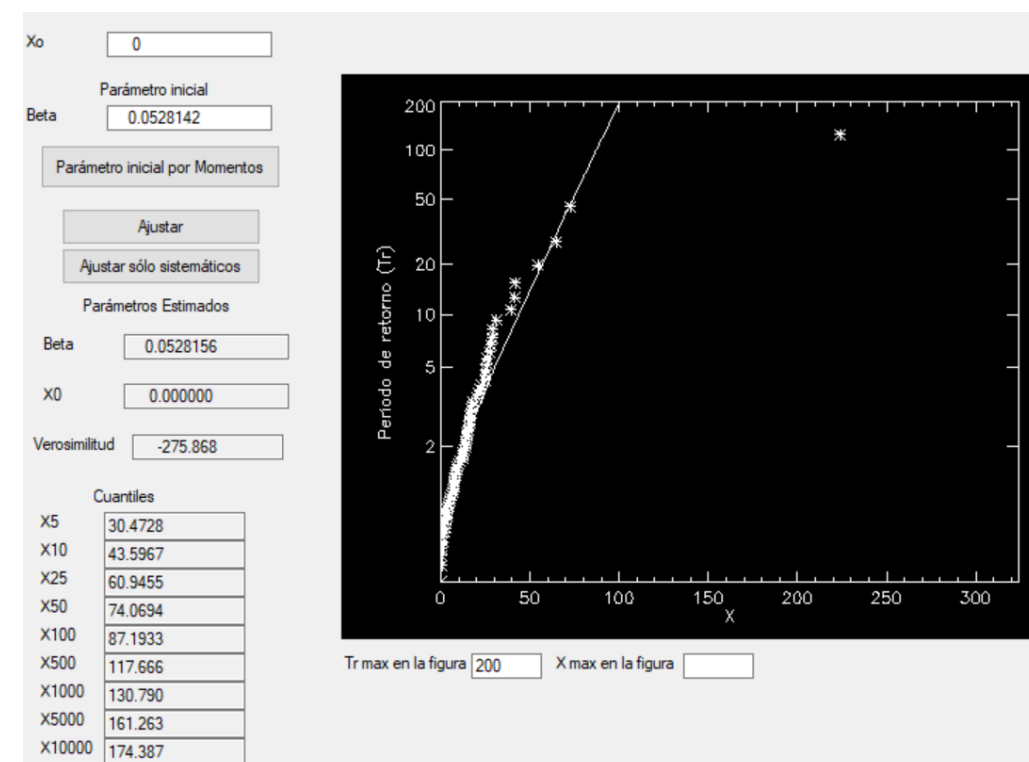


Figura 27. Función de distribución Exponencial ajustada a la función empírica de *Ciudad Jardín*.

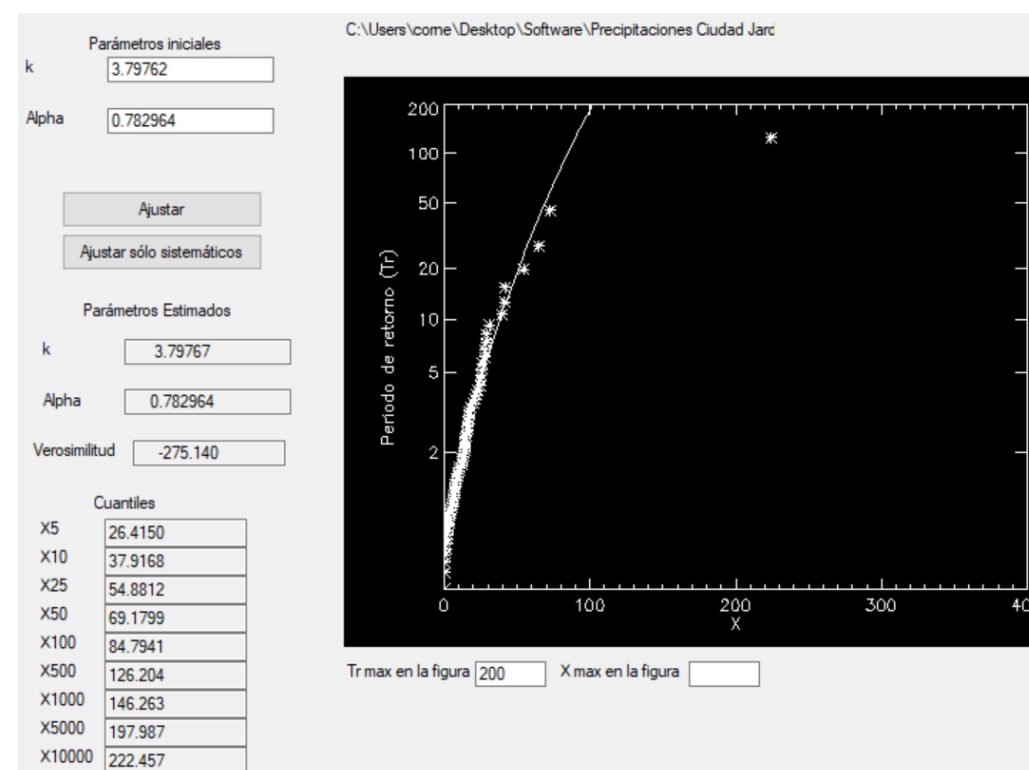


Figura 28. Función de distribución SQRT ajustada a la función empírica de *Ciudad Jardín*.

5. SELECCIÓN DEL MODELO PARAMÉTRICO

Para la selección del modelo se aplican los siguientes criterios:

- Comparación con la distribución empírica en ejes probabilísticos
- Principio de parsimonia
- Criterio de información de AKAIKE

El criterio de información de Akaike involucra la bondad de ajuste del modelo y la complejidad del mismo. Dicho criterio se evalúa mediante la siguiente expresión:

$$AIC = -2 MLL + 2k$$

Siendo:

- MLL Máxima verosimilitud logarítmica
- K Número de parámetros

En la siguiente tabla se muestra el criterio de información de Akaike para cada modelo.

CRITERIO DE INFORMACIÓN DE AKAIKE					
	Verosimilitud Pil-lari	Verosimilitud Ciudad J.	Parámetros	CRITERIO DE INFORMACIÓN DE AKAIKE	CRITERIO DE INFORMACIÓN DE AKAIKE
<i>Gumbel</i>	138,71	290,217	2	-5,86	-7,34
<i>TCEV</i>	138,536	276,574	3	-3,86	-5,24
<i>GEV</i>	138,039	275,041	4	-1,86	-3,23
<i>Log Normal 2</i>	144,374	279,06	2	-5,94	-7,26
<i>Log Gumbel</i>	155,092	295,573	2	-6,09	-7,38
<i>Pareto 3</i>	136,605	273,182	3	-3,83	-5,22
<i>Exponencial</i>	129,217	275,868	2	-5,72	-7,24
<i>SQRT</i>	138,049	275,14	2	-5,86	-7,23

Tabla 9. Criterio de información de Akaike.

El criterio de información de Akaike nos proporciona información complementaria a la elección del modelo. Principalmente se escogerá el modelo de manera visual al comparar las funciones de distribución con la función empírica, viendo cual de ellas reproduce mejor la función empírica. Principalmente, este criterio y la experiencia propia son los que suelen prevalecer en el soporte de decisiones.

Superponiendo las funciones de distribución a la empírica, se puede observar aquellas que se ajustan mejor. Para cada estación meteorológica hay una muestra empírica, por tanto, se tienen dos ajustes. En las siguientes figuras se muestra el ajuste de las funciones de distribución que mejor se ajustan a la función empírica.

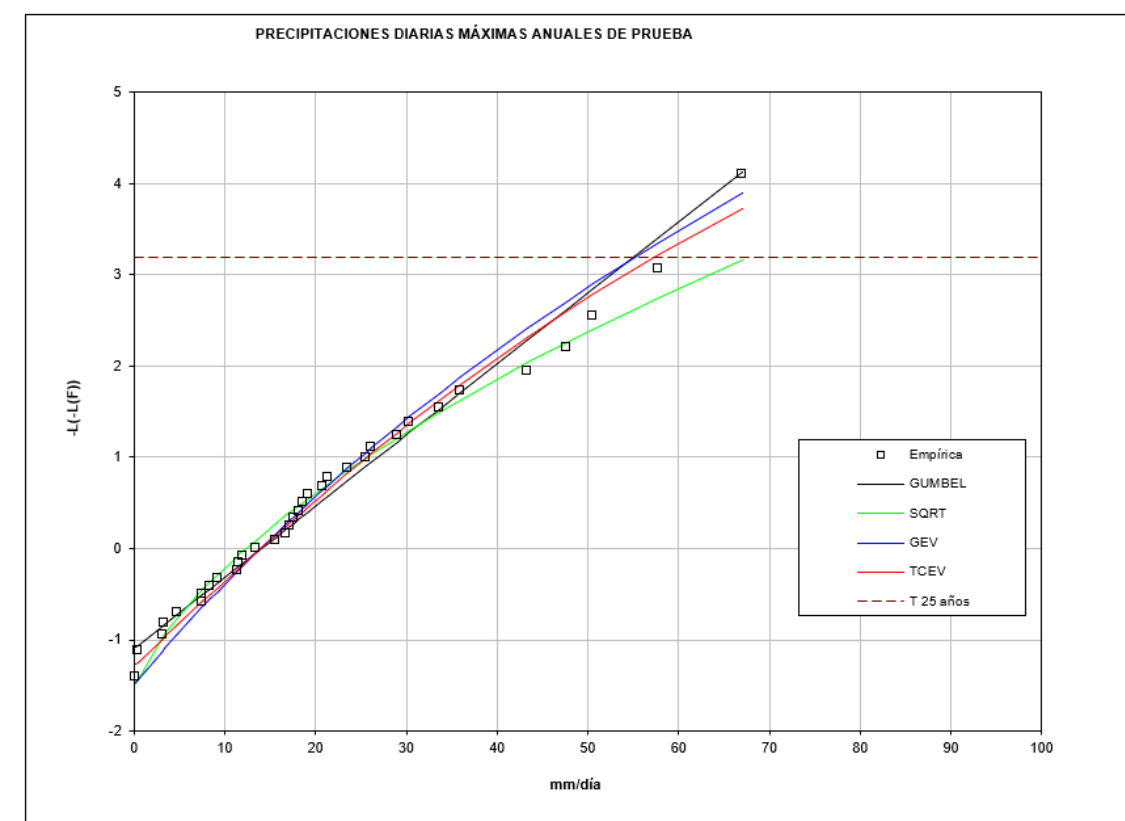


Figura 29. Comparativa de las funciones de distribución con mejor ajuste a la función empírica para Es Pil-lari

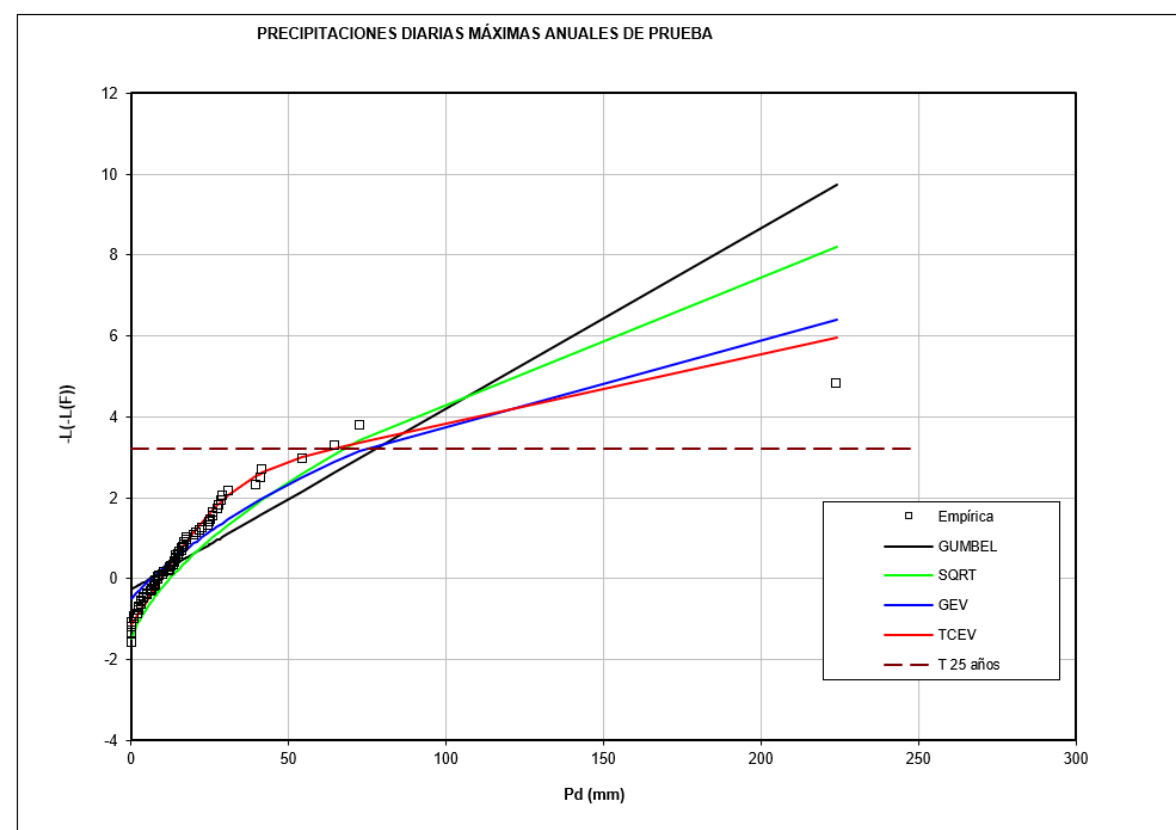


Figura 30. Comparativa de las funciones de distribución con mejor ajuste a la función empírica para *Ciudad Jardín*.

Se puede observar, que ambas muestras tienen características diferentes. La muestra extraída de la estación meteorológica de es Pil·larí es mucho más regular que la extraída de Ciudad Jardín, la cual se puede apreciar un valor anómalo. Para la estación de es Pil·larí, las funciones que mejor se ajustan son la TCEV y la SQRT. Para la estación de ciudad Jardín, queda mucho más claro que la función de distribución que mejor se ajusta es la TCEV. La función TCEV justo fue creada para poder representar estos fenómenos con valores anómalos, como puede ser el fenómeno de la gota fría en la comunidad valenciana, por ello, es la que presenta mejor ajuste.

Decidido el modelo de predicción, las precipitaciones obtenidas para un cuantil o periodo de retorno de 25 años de los modelos anteriores, se recogen en la siguiente tabla:

Fecha	Pd (T=25 años)
TCEV e.p	57,5 mm
SQRT	58,2 mm
TCEV c.j.	64,2 mm

Tabla 10. Precipitaciones diarias máximas para un periodo de retorno de 25 años.

La precipitación diaria máxima de cálculo adoptada para un periodo de retorno de 25 años es de 64,2 mm. Se ha escogido dicha precipitación máxima diaria por ser la más restrictiva y la más representativa por las siguientes causas:

- La estación meteorológica de Ciudad Jardín está ubicada más próxima al emplazamiento que la de *Es Pil·larí*
- La muestra recogida en la estación de *Ciudad Jardín* es de 70 datos frente a 38 de *Es Pil·larí*
- La muestra de Ciudad Jardín cuenta con un dato anómalo que evidencia los fenómenos de precipitaciones violentas y torrencialidad, que suelen suceder en pocas ocasiones y su magnitud es muy superior a las precipitaciones habituales.