



## ÍNDICE

<b>4. ESTUDIO HIDROLÓGICO .....</b>	<b>1</b>
4.1. INTRODUCCIÓN .....	1
4.2. ESTUDIO DE PRECIPITACIONES EXTREMAS .....	1
4.2.1. Información pluviométrica existente .....	1
4.2.2. Análisis de frecuencia de la serie de máximos. ....	2
4.2.2.1. Análisis estadístico de la serie de máximos anuales .....	4
4.3. MODELO PSEUDO-DISTRIBUIDO .....	7
4.3.1. Introducción. ....	7
4.3.2. Transformación Precipitación-Escorrentía .....	8
4.3.3. Caracterización morfométrica. ....	10
4.3.3.1. División y descripción de subcuencas. ....	10
4.3.3.2. Características morfométricas de las subcuencas. ....	12
4.3.3.3. Obtención del tiempo de concentración. ....	13
4.3.4. Obtención del parámetro de producción .....	14
4.3.5. Modelo de Propagación .....	20
4.3.5.1. Modelo de propagación a nivel subcuenca. ....	20
4.3.5.2. Modelo de propagación de cauces .....	21
4.3.6. Tormentas de diseño. ....	24
4.3.6.1. Método de los bloques alternos .....	24
4.3.6.2. Tormentas de diseño para el estudio. ....	24
4.4. SIMULACIONES Y RESULTADOS. ....	25
4.4.1. Componentes del sistema. ....	26
4.4.2. Modelo de cuenca (Basin Model). ....	26
4.4.3. Modelo Meteorológico ( Precipitation Model) .....	27
4.4.4. Parámetros de control de especificación .....	27
4.4.5. Resultados de la simulación. ....	28
<b>APENDICES ANEJO IV .....</b>	<b>30</b>



## 4. ESTUDIO HIDROLÓGICO

### 4.1. INTRODUCCIÓN

La zona donde se construirá el futuro parque eólico de Cerro Tigre en Antofagasta, Chile, coincide con el paso de dos quebradas. La presencia de las mismas hace indicar que, pese a situarse en una zona con clima desértico, existe la probabilidad de que un caudal determinado circule por ellas.

Con este estudio, se pretende obtener los caudales punta para diferentes periodos de retorno que atravesarían dichas quebradas para posteriormente poder realizar un estudio hidráulico, que sirva de base para realizar el estudio de alternativas y determinar la mejor solución de cara eliminar la afección hidráulica de éstas en el interior de la parcela, tal y como exige el cliente para el cual se realiza el estudio.

La metodología se describe a continuación:

A partir de las precipitaciones obtenidas por la estación meteorológica de Baquedano se calculan las precipitaciones máximas anuales asociadas a diferentes periodos de retorno para 24 horas de duración.

A continuación se ha obtenido la división de la cuenca en subcuencas mediante el programa Arc Map 10.1, tras esto se ha reducido el número de subcuencas en función de las características de las mismas agrupándolas. Mediante la aplicación de la fórmula del California Highways and Public Works de EEUU se ha obtenido el tiempo de concentración para cada una de las subcuencas. A partir de las precipitaciones de proyecto se definen las tormentas de diseño, construidas a partir de las estadísticas de máximas precipitaciones diarias mediante el método de bloques alternos.

Por último se ha implementado el programa HEC-HMS desarrollado por el Army Corps of Engineers de los EE.UU, y que constituye el modelo hidrológico de generación de avenidas más usado.

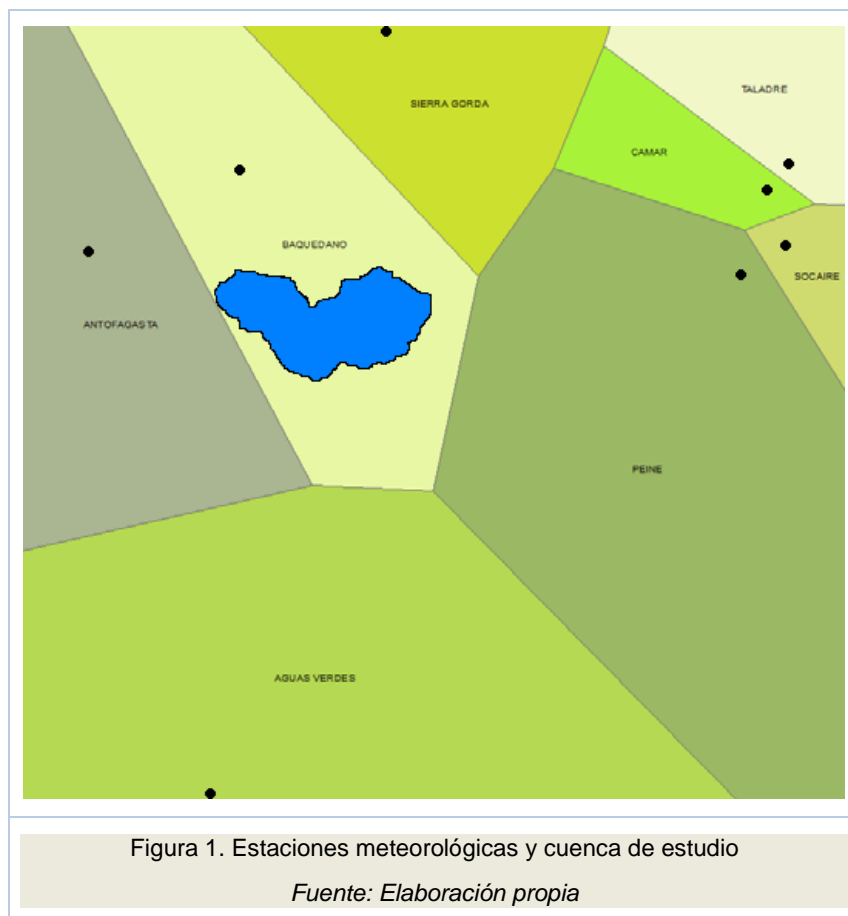
### 4.2. ESTUDIO DE PRECIPITACIONES EXTREMAS

Para estimar el riesgo de una avenida deberemos recurrir a los datos facilitados por las estaciones pluviométricas, a continuación determinar la función de distribución probabilística más representativa y, mediante un modelo pseudodistribuido obtener los caudales en los puntos de mayor interés mediante la transformación lluvia escorrentía.

#### 4.2.1. Información pluviométrica existente

Dada la nula disponibilidad de información pluviométrica en la zona del proyecto, se utilizó la metodología indicada en el Manual de Carreteras, DGA, y en el Manual de Cálculo de Crecidas sin información pluviométrica de la Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas).

En la Figura 1 se observa la ubicación de las estaciones meteorológicas disponibles en la zona con respecto la localización de la cuenca de estudio (delimitada en el apartado), así como la influencia que cada una de ellas tiene sobre la cuenca de estudio aplicando la metodología de Polígonos de Thiessen.



A la vista de dicha figura se determina que la cuenca de estudio únicamente está influenciada meteorológicamente por la Estación de Baquedano. Por tanto los datos de dicha estación serán los datos de partida para calcular la hidrología.

#### 4.2.2. Análisis de frecuencia de la serie de máximos.

Los registros existentes de la estación pluviométrica de Baquedano para la realización del estudio hidrológico abarcan desde el año 1977 hasta el año 2007. Sin embargo la serie de datos aportada no está completa, es decir, existen años en los que no se tiene registro en meses lluviosos y por lo tanto no son representativos y debemos eliminarlos. A este hecho debemos sumarle algunos años de los cuales no se tiene registro.

De la estación Meteorológica de Baquedano se disponen datos desde Abril de 1975 hasta Mayo de 2012, es decir, se disponen de 38 años de datos no consecutivos. Aplicando las premisas anteriormente explicadas obtenemos la siguiente serie de datos validados:

Para proceder a la aceptación de las series de precipitaciones máximas diarias se establecen una serie de criterios, que se describen a continuación, teniendo en cuenta que en nuestro caso concreto únicamente se estudia la estación de influencia de Baquedano.

La serie será válida si cumple uno de los siguientes casos:

- Dispone de 10 años válidos consecutivos
- Dispone de 15 años válidos no consecutivos

Un año es válido si cumple:

- Si cuenta con los 12 valores
- Si le falta un dato y el máximo de los 11 datos existentes se encuentra dentro del cuantil del 20% de los máximos anuales de la serie completa de la estación considerada
- Si le faltan dos datos y el máximo de los 10 datos existentes se encuentra dentro del cuantil del 10% de los máximos anuales de la serie completa de la estación considerada
- Si le faltan tres datos y el máximo de los 9 datos existentes se encuentra dentro del cuantil del 5% de los máximos anuales de la serie completa de la estación considerada
- Si le faltan más de tres datos y el máximo existente es el máximo de la serie completa

De la estación Meteorológica de Baquedano se disponen datos desde Abril de 1975 hasta Mayo de 2012, es decir, se disponen de 38 años de datos no consecutivos. Aplicando las premisas anteriormente explicadas obtenemos la siguiente serie de datos validados:

Tabla 1. Validación serie pluviométrica de la estación de Baquedano

AÑO	P <sub>máx</sub> (mm)	Validación
1977	0.00	Vale
1978	0.00	Vale
1979	1.00	Vale
1980	0.00	Vale
1981	0.00	Vale
1982	0.00	Vale
1983	1.00	Vale
1984	6.00	Vale
1986	0.50	Vale
1987	3.60	Vale
1988	0.00	Vale
1990	0.00	Vale
1992	0.00	Vale
1999	0.00	Vale
2000	1.00	Vale
2001	0.00	Vale
2002	3.00	Vale
2003	0.00	Vale
2004	0.00	Vale
2005	7.50	Vale
2006	3.00	Vale
2007	0.00	Vale
2008	0.00	Vale
2009	0.00	Vale
2010	0.00	Vale
2011	3.00	Vale

A partir de la tabla anterior se han obtenido los siguientes parámetros estadísticos que caracterizan la serie adoptada

Tabla 2. Parámetros estadísticos.

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	
Nº Datos	26
Media (mm)	1.138
Desv. Estandar (mm)	2.018
Coef. Asimetría	2.020
Media Log	0.296
Desv. Estandar Log	0.655
Coef. Asimetría Log	1.459

Estos parámetros nos muestran un análisis crítico de los resultados, dado que la media es muy baja y tenemos un coeficiente de asimetría elevado, es decir, la serie es asimétrica positiva.

#### 4.2.2.1. Análisis estadístico de la serie de máximos anuales.

Se han utilizado para este análisis las distribuciones de probabilidad comúnmente utilizadas en el ámbito hidrológico, concretamente en los estudios de crecidas. Las distribuciones teóricas de máximos empleadas son:

Análisis estadístico local:

- Gumbel
- Exponencial
- Gamma
- Pearson tipo III
- Normal
- Log Normal
- Log-Pearson tipo III

Estas son funciones matemáticas que relacionan la magnitud del evento con su probabilidad de ocurrencia. La probabilidad puede ser expresada en forma de frecuencia a través del periodo de retorno o recurrencia. El periodo de retorno  $T$  de un evento con una magnitud dada se define como el intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud especificada (Chow, Maldment y Mays, 1994).

Tal y como se puede ver en la tabla número dos, disponemos de una serie de precipitaciones validada donde dieciséis de los veintiséis datos disponibles son cero. Los modelos de probabilidad condicional son apropiados para casos en los que pequeñas observaciones de la muestra se estiman nulas. Un parámetro adicional describe la probabilidad  $P_0$  de que una observación sea cero. Una distribución  $G(x)$  se deriva de

los valores estrictamente positivos no cero de la muestra. Con todo ello la función de probabilidad que define el comportamiento de la serie de precipitaciones anteriormente nombrada será:

$$F(x) = P_0 + (1 - P_0) G(x)$$

De esta expresión hemos calculado  $P_0$  que refleja la probabilidad dentro de los 26 valores validados de que la precipitación máxima sea cero. Donde:

$$P_0 = 0.593$$

Para poder calcular la función  $G(x)$ , deberemos eliminar de la serie anterior todos los valores iguales a cero, con la serie resultante aplicamos los modelos de ajuste de función de distribución de frecuencias anteriormente mencionados. Tras el análisis se determina que la función de distribución que mejor se ajusta a la serie es la Gumbel.

Es la distribución de extremos tradicional en el ámbito de la hidrología, siendo la más utilizada por ser de más sencilla aplicación. Su aplicabilidad potencial para representar los máximos se limita a muestras de datos cuya distribución es normal o exponencial.

Su expresión analítica viene dada por:

$$F_X(x) = e^{-\lambda \cdot e^{-\theta \cdot x}}$$

Donde:

$x$ : valor de la variable aleatoria, en nuestro caso, la precipitación diaria máxima anual

$F_X(x)$ : probabilidad de no excedencia del valor  $x$  en un año dado.

$\lambda$ : Parámetro de dispersión de la distribución

$$\mu = (\ln \lambda + 0,5772) / \theta$$

$\theta$ : Parámetro de Localización de la distribución

$$\sigma = \frac{\pi^2}{6\theta^2}$$

La estimación de los parámetros de la distribución se realiza por el método de la máxima verosimilitud, el cuantil asociado a un determinado periodo de retorno ( $T$ ) se calcula mediante la expresión:

$$P(T) = \lambda - \frac{1}{\theta} \cdot \left[ \ln \left( \ln \frac{T}{T-1} \right) \right]$$

Los parámetros obtenidos para esta función mediante el software AFINS 2.0 (Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medioambiente de la Universidad Politécnica de Valencia).

En la siguiente tabla se exponen los valores obtenidos para los parámetros que definen la función Gumbel.

Tabla 3. Parámetros de la función Gumbel

FUNCIÓN	$\lambda$	$\theta$
Gumbel	0.556	2.913

La bondad del ajuste se realiza mediante el test de Kolmogorov-Smirnov o Chi-Cuadrado, y tal y como se puede apreciar en la siguiente figura, la única función que se ajusta a la serie de datos es la función Gumbel.

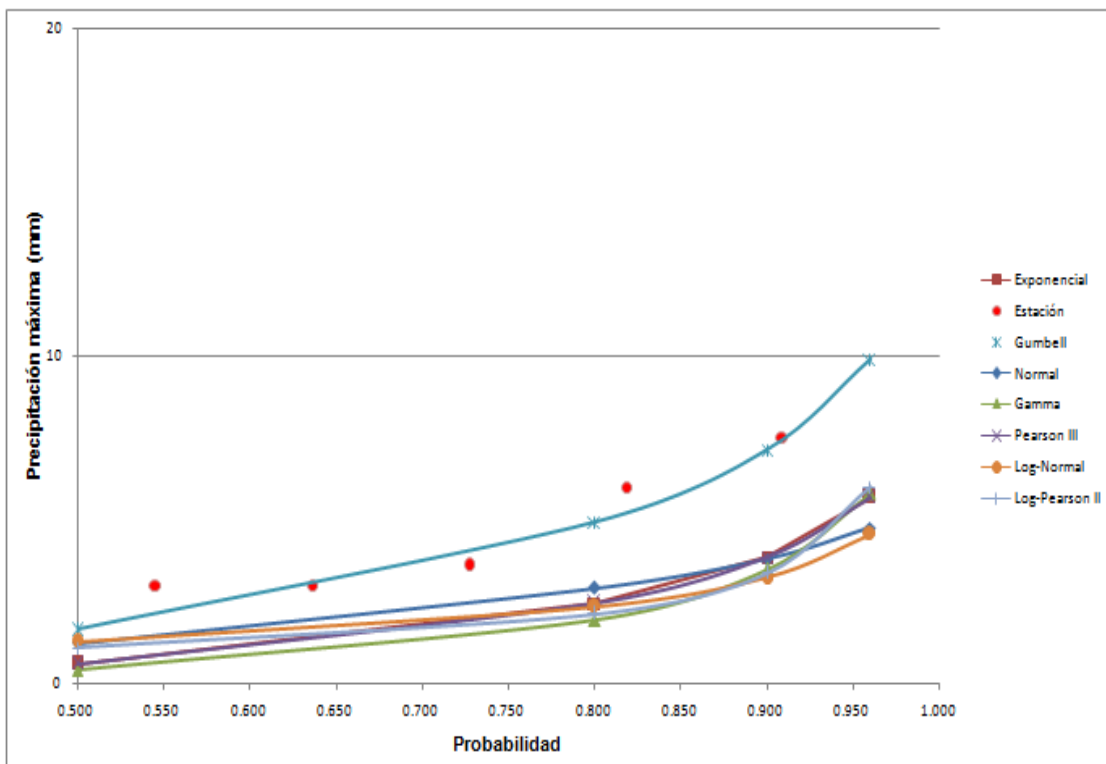


Figura 2. Comparación entre ajustes de distribución

Por lo tanto se concluye que la función Gumbel es la que mejor representa los datos, esto es debido entre otras cosas a que, el número de datos es de un tamaño muy reducido, por lo tanto una función que depende de pocos parámetros tiene mayores garantías.

En la siguiente tabla se adjuntan los cuantiles de precipitación máxima para los distintos periodos de retorno obtenidos para las diferentes funciones de distribución.



Tabla 4. Cuantiles de precipitación diaria máxima.

Tr	P(x<X)	Normal	Exponencial	Gamma	Pearson III	Gumbel	Log-Normal	Log-Pearson III
2	0.500	1.21	0.59	0.39	0.61	1.62	1.27	1.07
5	0.800	2.91	2.44	1.93	2.46	4.93	2.34	2.11
10	0.900	3.79	3.84	3.48	3.85	7.11	3.22	3.35
25	0.960	4.74	5.68	5.79	5.67	9.88	4.54	6.00
50	0.980	5.35	7.08	7.67	7.04	11.92	5.65	9.18
100	0.990	5.90	8.48	9.62	8.41	13.96	6.89	13.93

De este modo una vez obtenida la función que mejor se ajusta a la serie (G(x)), estamos en disposición de aplicar la ecuación  $F(x) = P_0 + (1-P_0) G(x)$ , de la cual obtenemos la precipitación máxima diaria.

Tabla 5. Precipitación máxima diaria

Tr	Precipitación (mm)
2	1.3
5	2.6
10	3.5
25	4.6
50	5.5
100	6.3

### 4.3. MODELO PSEUDO-DISTRIBUIDO

#### 4.3.1. Introducción.

El objetivo de este apartado es la construcción de un modelo hidrológico pseudo-distribuido que reproduzca fielmente la respuesta del sistema, con tal de obtener los hidrogramas de crecida, que proporcionan una mayor información del comportamiento del régimen de caudales que circularán por las quebradas durante los episodios de las avenidas.

Para la obtención de los caudales punta resultantes se ha empleado el software HEC-HMS 4.0, desarrollado por U.S.Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center.

A continuación se exponen los fundamentos teóricos de las metodologías de simulación hidrológica empleadas, la caracterización y justificación del esquema conceptual finalmente adoptado de la cuenca resultante, así como del resto de inputs del HEC-HMS necesarios para la obtención de los hidrogramas de crecida.

#### 4.3.2. Transformación Precipitación-Escorrentía

##### Modelo del SCS

El modelo de producción empleado ha sido el conocido como el Número de Curva del SCS (Soil Conservation Service). Aunque inicialmente este método fue diseñado para modelar el proceso lluvia-escorrentía diario, ha sido ampliamente utilizado para la simulación hidrológica continua. Su principal ventaja radica en su gran adaptabilidad a la modelación distribuida y su simplicidad al dar un procedimiento estandarizado para la asignación de los parámetros a partir de las características del terreno: datos edafológicos y de vegetación o usos del suelo.

Este es uno de los métodos más extendido y experimentado de los modelos empíricos para la estimación de los volúmenes de infiltración; su éxito se debe a que toma en cuenta, con un solo parámetro (si se asume la relación  $P_0 - S$ ), las principales características de la cuenca que producen la escorrentía, como son la pendiente y el uso y tipo de suelo.

El método se basa en la ecuación de balance hídrico y en dos hipótesis fundamentales. La primera establece que la relación entre el volumen de escorrentía directa y la escorrentía potencial máxima, correspondiente a una superficie impermeable, es igual a la relación entre la infiltración real y la infiltración potencial máxima. La segunda hipótesis establece que la infiltración inicial es una fracción de la retención potencial.

La formulación de las hipótesis planteadas y la ecuación del balance hídrico se muestran a continuación:

$$\frac{F}{S} = \frac{E}{P - P_0}$$

$$P_0 = \lambda S$$

$$P = P_0 + E + F$$

$$\frac{F}{S} = \frac{E}{P - P_0}$$

$$P_0 = \lambda S$$

$$P = P_0 + E + F$$

Donde:

F: infiltración acumulada desde que comienza el encharcamiento en superficie.

E: escorrentía acumulada.

S: máxima infiltración acumulada posible.

P: precipitación acumulada.

P0: umbral de escorrentía.

De la combinación de las ecuaciones anteriores, determinamos la escorrentía acumulada:

$$E = \frac{(P - P_0)^2}{(P - P_0) + S}$$

A partir de los resultados de numerosas investigaciones basadas en análisis empíricos el SCS propone la siguiente relación entre P0 y S:

Finalmente, el método asume la existencia de un umbral P0 por debajo del cual las precipitaciones no provocan escorrentía, una vez la precipitación caída supera este umbral, que actúa como intercepción inicial, empieza el fenómeno de la escorrentía de superficie. Con lo cual la escorrentía acumulada queda en función de un único parámetro, el umbral de escorrentía P0:

$$P_0 \approx 0.2S$$

Una vez calculado el umbral de escorrentía P0, el cálculo del hietograma neto lo realiza directamente el programa HEC-HMS una vez que le facilitamos el número de curva (CN), parámetro a partir del cual fue desarrollada la formulación original del SCS; el CN es un número entero que varía entre 0 (superficies sin escorrentía) y 100 (superficies impermeables). La relación existente entre CN y P0 es biunívoca:

Siendo P0

$$E = 0 \quad \text{si } P \leq P_0$$

$$E = \frac{(P - P_0)^2}{P + 4P_0} \quad \text{si } P > P_0$$

Una vez calculado el umbral de escorrentía  $P_0$ , el cálculo del hietograma neto lo realiza directamente el programa HEC-HMS una vez que le facilitamos el número de curva (CN), parámetro a partir del cual fue desarrollada la formulación original del SCS; el CN es un número entero que varía entre 0 (superficies sin escorrentía) y 100 (superficies impermeables). La relación existente entre CN y  $P_0$  es biunívoca:

$$CN = \frac{5080}{P_0 + 50.8}$$

Siendo  $P_0$  el umbral de escorrentía expresado en mm.

#### 4.3.3. Caracterización morfométrica.

##### 4.3.3.1. División y descripción de subcuencas.

Para la correcta modelización de la cuenca se ha procedido mediante el uso del programa Arc Map 10.1, este programa pertenece al paquete de ArcGis, el cual es un programa que nos permite crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG). Mediante el uso de la cartografía obtenida del servidor *ASTER GDEM* se procede a la creación de un modelo digital de elevación con el que, a través de la herramienta hydrology de Arc Map 10.1, obtenemos la cuenca de estudio y su división en subcuencas.

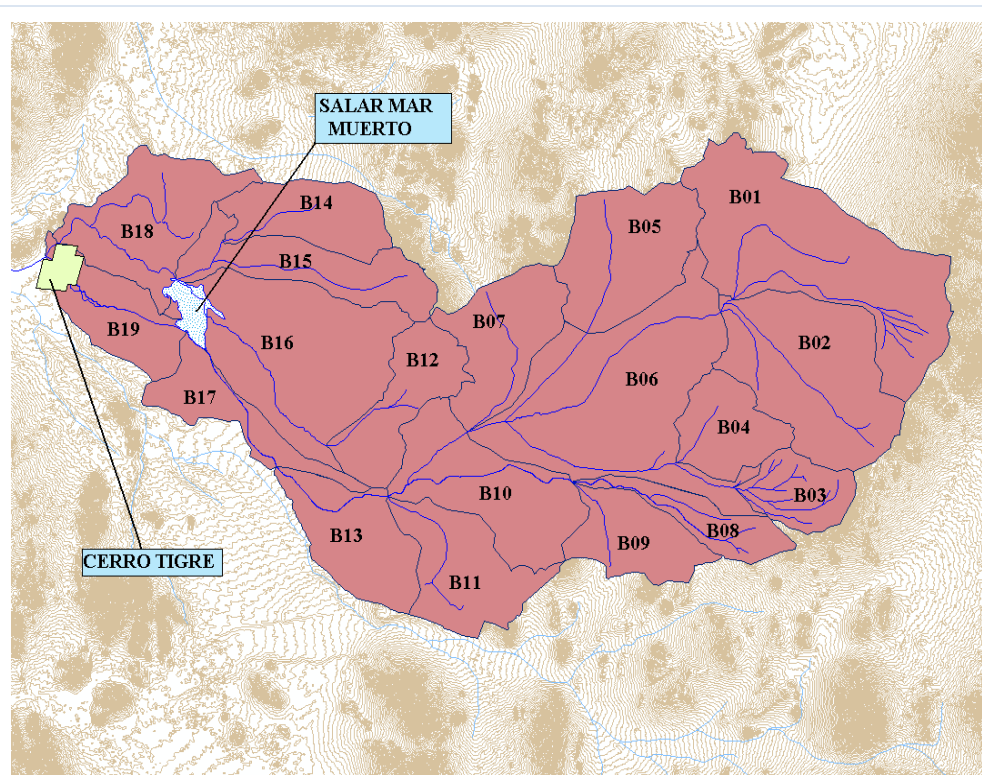


Figura 3. Esquemas subcuencas.

Tras obtener los resultados mostrados, se observa que la discretización realizada por el programa ArcMap 10.1 es excesiva, procediendo a una simplificación, comprobando las características tanto geográficas como morfológicas de las subcuencas. Una vez finalizada la discretización, se dispone de un total de seis subcuencas, tal y como se muestra en la siguiente figura.

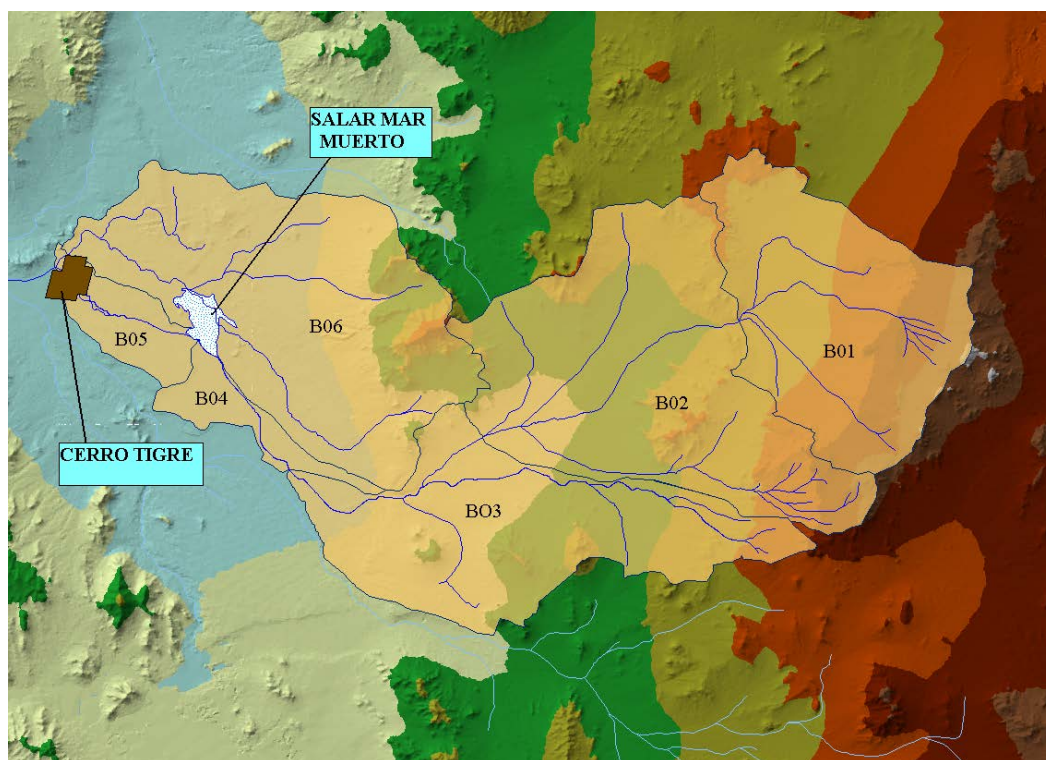


Figura 4. Esquemas subcuencas sobre MED.

Tal y como se ve en la figura anterior la subcuenca B01 se corresponde con la cabecera de la cuenca, la subcuenca B05 se corresponde con localización del parque. De este modo la cuenca B06 es independiente a nuestro estudio dado que desagua aguas abajo de la parcela del parque y por lo tanto no tiene ninguna afección. Esto mismo ocurre con el salar Mar Muerto, el cual permanece seco durante todo el año y no condiciona el estudio.

#### 4.3.3.2. Características morfométricas de las subcuencas.

Para la correcta definición de las diferentes características de la cuenca, en la Tabla 4 se adjunta la denominación, superficie, longitud del cauce, cotas máximas y mínima así como pendiente del cauce principal de cada una de las subcuencas anteriores.



Tabla 6. Características principales subcuencas de la zona de estudio

SUBCUENCAS	Área (km <sup>2</sup> )	Longitud cauce (km)	Cota mínima (msnm)	Cota máxima (msnm)	Desnivel (m)	Pendiente longitudinal (m/m)
B01	389.5	21.1	1680	2770	1090	0.052
B02	544.3	36.4	1145	2740	1595	0.044
B03	403.9	47.7	860	2105	1245	0.026
B04	57.2	14.6	720	860	140	0.010
B05	69.3	15.3	650	720	70	0.004
B06	531.2	44.3	650	1210	560	0.021

#### 4.3.3.3. Obtención del tiempo de concentración.

El tiempo de concentración es el necesario para que las precipitaciones caídas en las zonas más alejadas de la cuenca puedan llegar al punto de desagüe.

Es independiente de la configuración y magnitudes de la lluvia y sólo depende de las características morfológicas de la cuenca.

Tal y como se recoge en el “Manual de carreteras, volumen 3” de la Dirección General de Obras Públicas de Chile (DGO), existen numerosas formulaciones para el cálculo del tiempo de concentración producto de resultados empíricos, obtenidos bajo ciertas condiciones particulares.

Siguiendo las recomendaciones de dicho manual y del “Manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información fluviométrica” de la DGO, para el presente estudio se calculan los tiempos de concentración según:

-Normas Españolas:

$$T_c = 18 \cdot \frac{L^{0.75}}{S^{0.49}}$$

-California Highways and Public Works de E.E.U.U.:

$$T_c = 0.95 \cdot \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$$

-California Culverts Practice:

$$T_c = 57 \cdot \frac{L^3}{H^{0.333}}$$

donde:

T<sub>c</sub> =Tiempo de concentración de la cuenca, expresado en horas.

L =Longitud del cauce principal expresada en km.

H =Desnivel máximo de la cuenca expresado en m.

S=Pendiente (m/m)

A la vista de los resultados obtenidos se determina que la formulación mas adecuada del tiempo de concentración a emplear en los cálculos es la fórmula de California Culverts Practice puesto que está indicadas para cuencas de montaña.

Tabla 7. Tiempos de concentración de las subcuencas.

SUBCUENCAS	T <sub>c</sub> (h)
B01	2
B02	4.7
B03	4.9
B04	2.5
B05	3.6

#### 4.3.4. Obtención del parámetro de producción

El umbral de escorrentía es el parámetro del modelo de producción (cuyos fundamentos se han expuesto previamente), que nos permite estimar la parte de precipitación que provocará escorrentía, es decir, el hietograma neto.

El umbral de escorrentía (P0) es el único parámetro necesario para evaluar la infiltración según la expresión propuesta por el SCS. Depende de cuatro variables que engloban buena parte de las características físicas de la zona de estudio:

- Tipo de suelo, atendiendo con especial interés a la capacidad drenante del terreno.
- Cubierta del suelo.
- Pendiente del terreno.
- Condiciones previas de humedad del complejo suelo-vegetación.

En el presente estudio, para la determinación del parámetro P0 se han utilizado las tablas adaptadas de las del Soil Conservation Service para condiciones previas de humedad de suelo de tipo medio.

La determinación del umbral de escorrentía se ha venido haciendo tradicionalmente mediante la superposición de los mapas correspondientes de cada una de las variables de las que depende; en la actualidad mediante la utilización de sistemas de información geográfica, este tipo de operaciones espaciales se puede realizar de forma automática y con mayor precisión. En este estudio, se ha empleado el programa ArcMap 10.1.

El proceso seguido para la obtención de los umbrales de escorrentía (P0) se describe a continuación.

Generación de las capas de información de cada uno de los atributos.

En el caso del mapa relativo a la litología, se ha generado la topología de permeabilidades, clasificando los distintos polígonos de la región analizada que se recogen en la Figura 4, de acuerdo a los criterios propuestos por el SCS para determinar el umbral de escorrentía.



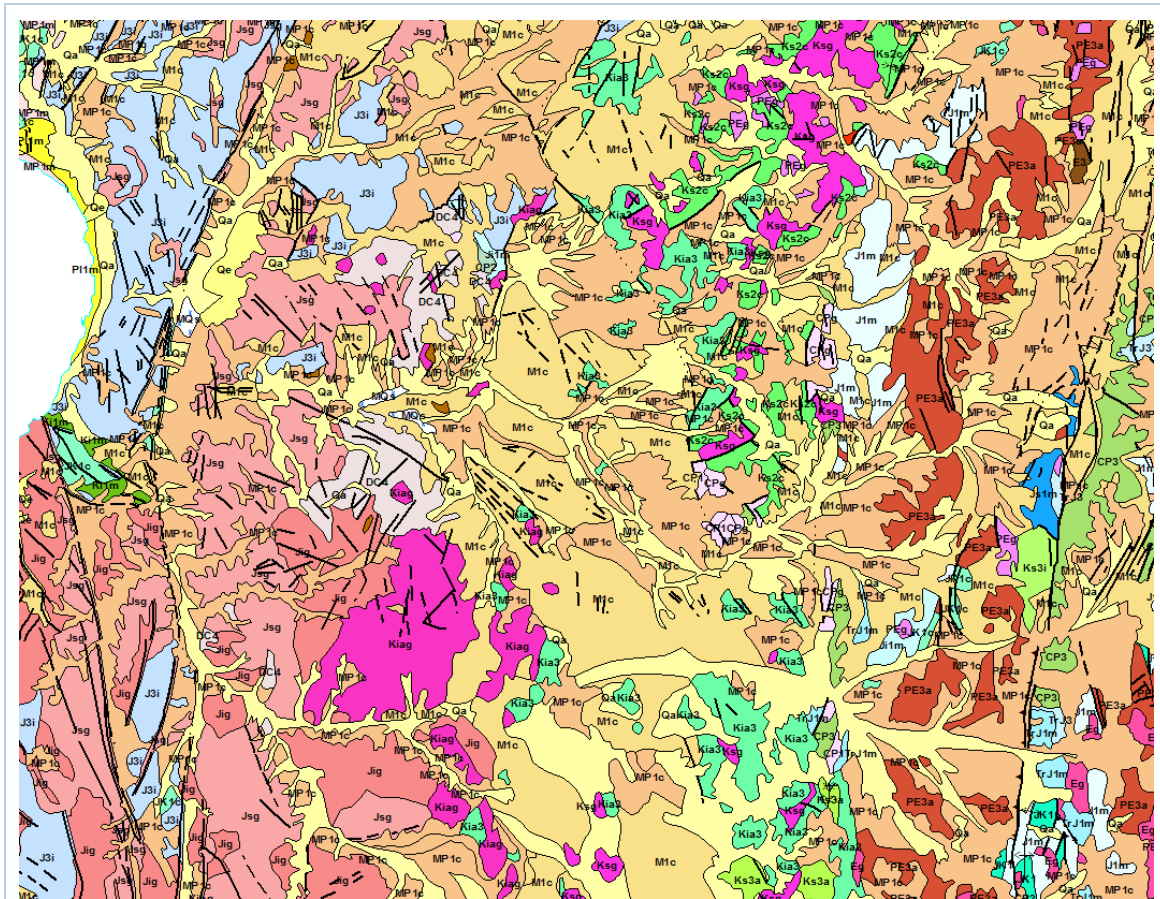


Figura 5. Extracto del mapa geológico de la zona de estudio  
Fuente: Gobierno de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería

Tabla 8-Grupos de suelo según SCS

Grupo de suelo según SCS	Características	Permeabilidad
A	En ellos el agua se infiltra rápidamente, aún estando muy húmedos. Profundos y de texturas gruesas (arenosos o arenosos - limosos) suelen estar excesivamente drenados.	Muy Alta - Alta
B	Con una humedad elevada, tienen una capacidad de infiltración moderada. La profundidad del suelo es de media a profunda y su textura es franco - arenosa, franca, franco - arcillosa, o franco - limosa. Están moderadamente drenados.	Media
C	Con humedades elevadas, la infiltración es lenta. La profundidad del suelo es inferior a la media y la textura es franco - arcillosa, franco - arcillo - limosa o arcillo arenosa. Son suelos imperfectamente drenados.	Baja

Grupo de suelo según SCS	Características	Permeabilidad
D	La infiltración es muy lenta con humedades elevadas. Tienen horizontes de arcilla próximos a la superficie y están pobremente drenados. Se incluyen en esta tipología los terrenos con nivel freático permanentemente alto y suelos de poco espesor	Muy Baja

A tenor de las características del suelo observadas en la zona predominan los suelos tipo “C”, seguido de los tipo “A” localizados en las cuencas altas y en las quebradas, siendo los de tipo “D” los más escasos.

Para el caso de los usos del suelo se genera la topología de cobertura clasificando los distintos polígonos analizados según la clasificación del SCS, tal y como se recoge en la Tabla 6.

Tabla 9. Usos del suelo - correspondencia con SCS

USO DEL SUELO	GRUPO DE SUELO SEGÚN SCS
BOSQUE CADUCIFOLIO	Masa forestal (bosque, monte bajo) media
BOSQUE CADUCIFOLIO ANDINO	Masa forestal (bosque, monte bajo) muy clara
BOSQUE CADUCIFOLIO INTERIOR	Masa forestal (bosque, monte bajo) muy clara
HERBAZAL MEDITERRANEO DE	Masa forestal (bosque, monte bajo) buena
MATORRAL BAJO	Masa forestal (bosque, monte bajo) media
MATORRAL BAJO DEL ALTURA	Masa forestal (bosque, monte bajo) clara

En el caso de las pendientes del terreno, se ha hecho uso de un mapa de pendientes clasificado a efectos de la capacidad de infiltración del terreno (en celdas con valor de pendiente inferior o superior al 3% tal y como discretiza la clasificación del SCS), construido a partir del modelo digital del terreno comentado anteriormente con celdas 10x10 m que se muestra en la figura 11.

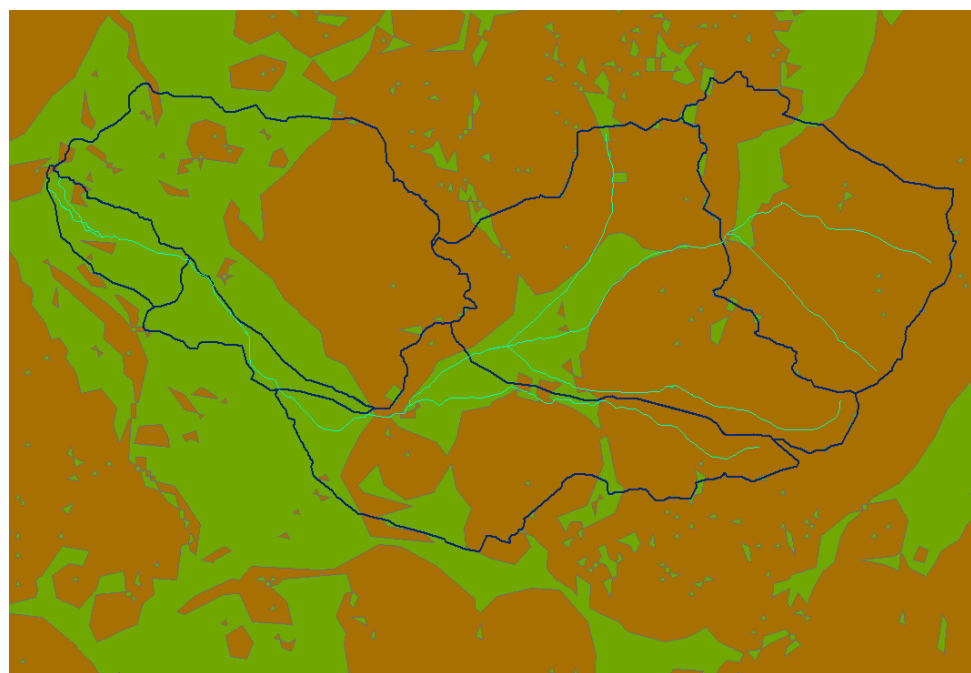


Figura 6. Mapa de pendientes menores y mayores a 3%.

- Pendientes menores al 3%
- Pendientes mayores al 3%

En un campo de la base de datos asociada a cada uno de los ficheros de polígonos mencionados, creado a tal efecto, se asigna a cada tipo de suelo, uso y pendiente topográfica, un número primo distinto. De modo que, dada la peculiaridad de los números primos, es decir que el producto de los mismos siempre resulta un número diferente, son identificables todos los polígonos que comparten igual uso, tipo y pendiente del terreno, al que va unido el valor del umbral de escorrentía, tal y como se recoge en la Tabla 7.

Tabla 10. Números Primos asignados por el tipo de uso del suelo, litología y pendiente del terreno

PENDIENTE DEL TERRENO	PRIMO_0 Asignado por la pendiente del terreno
< 3%	1
> 3%	2

CAPAS	PRIMO_1 Asignado por el tipo de uso del suelo
BOSQUE CADUCIFOLIO	87
BOSQUE CADUCIFOLIO ANDINO	43
BOSQUE CADUCIFOLIO INTERIOR	43

CAPAS	PRIMO_1 Asignado por el tipo de uso del suelo
HERBAZAL MEDITERRANEO DE ALTITUD	97
MATORRAL BAJO	87
MATORRAL BAJO DEL ALTURA	47

SCS	PRIMO_2 Asignado por la litología (permeabilidad)
A	79
B	67
C	71
D	73

Por intersección de las coberturas de usos del suelo, litología y pendientes con las de delimitación de cuencas, se obtienen estos productos tal y como se recoge en la Figura 7, así como las superficies de la cuenca ocupadas por ellos, que a su vez lleva asignado un valor de umbral de escorrentía.

Uso del suelo	Pendiente	Primo_0*Primo_1		A	B	C	D	P <sub>0</sub> (mm)			
		Primo_2		79	67	71	73				
Barbecho	> 3%	R	6	474	402	426	438	15	8	6	4
		N	10	790	670	710	730	17	11	8	6
	< 3%	R/N	3	237	201	213	219	20	14	11	8
Cultivo en hilera	> 3%	R	14	1.106	938	994	1.022	23	13	8	6
		N	22	1.738	1.474	1.562	1.606	25	16	11	8
	< 3%	R/N	7	553	469	497	511	28	19	14	11
Cereales de	> 3%	R	26	2.054	1.742	1.846	1.898	29	17	10	8
		N	34	2.686	2.278	2.414	2.482	32	19	12	10
	< 3%	R/N	13	1.027	871	923	949	34	21	14	12
Rotación cultivos pobres	> 3%	R	38	3.002	2.546	2.698	2.774	26	15	9	6
		N	46	3.634	3.082	3.266	3.358	28	17	11	8
	< 3%	R/N	19	1.501	1.273	1.349	1.387	30	19	13	10
Rotación cultivos densos	> 3%	R	58	4.582	3.886	4.118	4.234	37	20	12	9
		N	62	4.898	4.154	4.402	4.526	42	23	14	11
	< 3%	R/N	29	2.291	1.943	2.059	2.117	47	25	16	13
Praderas	> 3%	P	202	15.958	13.534	14.342	14.746	24	14	8	6
		M	206	16.274	13.802	14.626	15.038	53	23	14	9
		B	214	16.906	14.338	15.194	15.622	70	33	18	13
		MB	218	17.222	14.606	15.478	15.914	80	41	22	15
	< 3%	P	101	7.979	6.767	7.171	7.373	58	25	12	7
		M	103	8.137	6.901	7.313	7.519	80	35	17	10
		B	107	8.453	7.169	7.597	7.811	120	55	22	14
		MB	109	8.611	7.303	7.739	7.957	250	100	25	16
Plant. Aprovech. forestal	> 3%	P	74	5.846	4.958	5.254	5.402	62	28	15	10
		M	166	13.114	11.122	11.786	12.118	80	34	19	14
		B	82	6.478	5.494	5.822	5.986	100	42	22	15
	< 3%	P	37	2.923	2.479	2.627	2.701	75	34	19	14
		M	83	6.557	5.561	5.893	6.059	95	42	22	15
		B	41	3.239	2.747	2.911	2.993	150	80	25	16
masa forestal (bosque, monte bajo)	> 3%	muy clara	86	6.794	5.762	6.106	6.278	40	17	8	5
		clara	94	7.426	6.298	6.674	6.862	60	24	14	10
		media	174	13.746	11.658	12.354	12.702	75	34	22	16
		espesa	106	8.374	7.102	7.526	7.738	90	47	31	23
		buena	194	15.326	12.998	13.774	14.162	120	65	43	33
	< 3%	muy clara	43	3.397	2.881	3.053	3.139	40	17	8	5
		clara	47	3.713	3.149	3.337	3.431	60	24	14	10
		media	87	6.873	5.829	6.177	6.351	75	34	22	16
		espesa	53	4.187	3.551	3.763	3.869	90	47	31	23
		buena	97	7.663	6.499	6.887	7.081	120	65	43	33
Roca permeable	> 3%		118	9.322	7.906	8.378	8.614	3	3	3	3
	< 3%		59	4.661	3.953	4.189	4.307	5	5	5	5
Roca impermeable	> 3%		122	9.638	8.174	8.662	8.906	2	2	2	2
	< 3%		61	4.819	4.087	4.331	4.453	4	4	4	4
Masa de agua			113	8.927	7.571	8.023	8.249	0	0	0	0

Figura 7. Números primos – equivalencia SCS – P<sub>0</sub>

Fuente: Elaboración propia a partir de la clasificación del SCS

Como paso final, el valor de umbral de esorrentía asignado a cada subcuenca hidrológica se obtiene por promediación areal de los valores del umbral correspondientes a cada polígono de territorio contenido en dicha subcuenca tal y como se recoge en la Tabla 11.

Tabla 11-. Umbrales de esorrentía  $P_0$  (mm)

SUBCUENCA	$P_0$ (mm)
B01	9.5
B02	4.6
B03	3.9
B04	5.0
B05	4.9
B06	3.8
CUENCA COMPLETA	5.3

#### 4.3.5. Modelo de Propagación

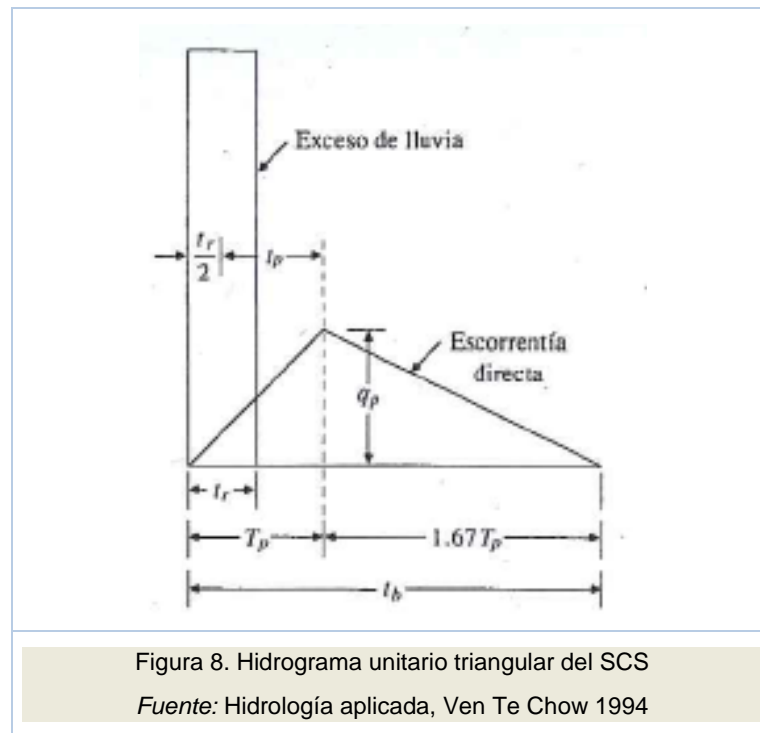
##### 4.3.5.1. Modelo de propagación a nivel subcuenca.

El hidrograma sintético utilizado en los cálculos ha sido el Hidrograma Sintético del S.C.S. Este método requiere la estimación de un único parámetro, el  $T_{lag}$ , que es el tiempo de desfase o de retardo de la punta del hidrograma con respecto al centro de la tormenta.

Este hidrograma se basa en un hidrograma adimensional obtenido tras analizar un elevado número de hidrogramas unitarios de cuencas de reducido tamaño y obtener unos valores medios.

El hidrograma adimensional es un hidrograma unitario en el cual tanto el caudal como el tiempo se expresan como cociente respecto al caudal punta ( $Q_p$ ) y tiempo punta ( $T_p$ ) respectivamente, con lo que se elimina el efecto del tamaño de la cuenca y gran parte del efecto de la forma de dicha cuenca.

El hidrograma unitario adimensional, que se muestra en la Figura 9 se encuentra tabulado en la bibliografía especializada, tal como “Hidrología aplicada, Ven Te Chow 1994” arrojando un valor de pico de:



$$Q_p = A/(4,8 \cdot T_p)$$

Con,

$$T_p = 0,5D + T_{lag}$$

$$T_{lag} = L^{0,8} \cdot (S+1)^{0,7} / 1900 \cdot Y^{0,5} \quad (1)$$

Donde:

- L – Longitud del cauce principal en pies.
- S = retención potencial máxima expresada en pulgadas
- Y = pendiente de la cuenca en %.

Una forma más sencilla es la de obtener el parámetro  $T_{lag}$  en función de las características del cauce principal y ha sido estimado según se recoge en la bibliografía especializada, como el 35-60% del tiempo de concentración de cada subcuenca (Dodson & Associates, 1992).

Para el caso de estudio se analizan las distintas metodologías y se adopta  $SCS \ T_{lag} = 0,35 \ T_c$  para las seis subcuencas de estudio.

#### 4.3.5.2. Modelo de propagación de cauces

El análisis de un sistema hidrológico empleando un modelo pseudo-distribuido requiere, en primer lugar, la división en subcuencas, nudos de conexión y tramos de cauce que hagan efectiva la conectividad entre



dichas subcuencas permitiendo la adecuada suma de los hidrogramas de crecida en los nudos, y su propagación en los distintos tramos de la red fluvial.

Este último componente del análisis del sistema hidrológico estima el movimiento de la onda de crecida a través del sistema fluvial, que va modificando su forma y el tiempo de punta debido a los efectos de almacenamiento y fricción.

Existen dos tipologías generales de cálculo de la propagación de hidrogramas en cauces: métodos hidrológicos y métodos hidráulicos. Los métodos hidráulicos resuelven las ecuaciones diferenciales del flujo transitorio en cauces abiertos, en tanto que los métodos hidrológicos, más simples, generalmente emplean la ecuación de continuidad y las relaciones existentes entre el caudal circulante y el volumen almacenado.

De entre los distintos métodos de propagación en cauces que permite emplear el programa HEC-HMS, se ha seleccionado para modelar la propagación del hidrograma de crecida a través del cauce principal de la red de drenaje, el método de Muskingum (US. ARMY, 1981). Los fundamentos de este método se presentan a continuación.

### Fundamentos del Método de Muskingum.

El análisis de un sistema hidrológico que, como es el caso de estudio, requiere su división en subcuencas, nudos de conexión y tramos de cauce que hagan efectiva la conectividad entre dichas subcuencas, requiere de la obtención del hidrograma de cada una de las subcuencas que permita su adecuada “suma” en los nudos y su propagación en los distintos tramos de la red fluvial.

Existen dos tipologías generales de cálculo de la propagación de hidrogramas en cauces: hidráulicas e hidrológicas. Los métodos hidráulicos resuelven las ecuaciones diferenciales del flujo transitorio en cauces abiertos, en tanto que los métodos hidrológicos, más simples, generalmente emplean la ecuación de continuidad y las relaciones existentes entre caudal circulante y volumen almacenado. De entre los diferentes métodos de propagación del flujo en cauces que ofrece HEC-HMS, se ha utilizado el de **Muskingum**, cuyos fundamentos se resumen a continuación.

El método modela el almacenamiento volumétrico del flujo en un tramo de cauce mediante la combinación de los denominados almacenamientos de cuña y prisma. Durante el avance de la onda de flujo, el caudal de entrada al tramo es mayor que el caudal de salida, resultando un almacenamiento de cuña positivo; por contra, durante la recesión de la onda, el caudal de salida es mayor que el entrante, resultando en una cuña negativa. Adicionalmente, existe un almacenamiento por prisma formado por un volumen de sección transversal constante a lo largo de la longitud del tramo de cauce.

Suponiendo que el área de la sección transversal del flujo es directamente proporcional al caudal en dicha sección, el volumen de almacenamiento por prisma es igual a  $KQ$ , donde  $K$  es un coeficiente de proporcionalidad; el volumen de almacenamiento por cuña es igual a  $KX(I-Q)$ , donde  $X$  es un factor de ponderación dependiente de la forma de almacenamiento por cuña modelado. La ecuación de almacenamiento total, suma de ambos, resulta:

$$S = K[XI + (1 - X)Q]$$

El valor del parámetro  $X$  varía de 0 (para un almacenamiento tipo embalse) a 0,5 (para una cuña completamente desarrollada). En cauces naturales,  $X$  se encuentra entre 0 y 0,3, con un valor medio cercano a 0,2 (en cualquier caso, el modelo es muy poco sensible al valor de este parámetro). En cuanto al parámetro  $K$ , es el tiempo de viaje de la onda a través del tramo de cauce. Aunque ambos parámetros dependen de la magnitud del caudal circulante, en el tránsito agregado se suponen constantes para todo rango de flujo.

La ecuación de continuidad con discretización centrada puede expresarse como:

$$Q = \frac{dS}{dt} \rightarrow \frac{I_{t+1}}{2} - \frac{Q_{t+1}}{2} = \frac{S_{t+1} - S_t}{\Delta t}$$



Sustituyendo la ecuación de almacenamiento en la de continuidad, resulta finalmente la ecuación de tránsito para el método de Muskingum:

$$Q_{t+1} = C_0 I_{t+1} + C_1 I_t + C_2 I_{t-1}$$

El modelo HEC-HMS requiere por tanto de tres parámetros para modelar la laminación en un tramo de propagación mediante el método de Muskingum: K, X y el número de subtramos.

En el caso de estudio se estima el valor del parámetro K (dimensiones de tiempo de viaje) como:

$$K \approx T_v = 0.64 T_c$$

Como ocurre con otros modelos de propagación, una buena resolución exige una adecuada selección de incrementos de tiempo  $\Delta t$ , incrementos de distancia  $\Delta x$  y de los parámetros para asegurar la exactitud y estabilidad de la solución. Los incrementos  $\Delta x$  se definen indirectamente por el número de subtramos en que queda dividido un tramo de propagación. Además, el ratio  $\Delta x/\Delta t$  se selecciona aproximándolo a la celeridad de la onda en el tramo.

Así, una vez estimados los valores de K y X como:

$$K = 0.64 T_c$$

$$X \in [0, 0.5]$$

Para garantizar la estabilidad del modelo, en principio, el parámetro K en cada subtramo debe estar comprendido entre los siguientes valores:

$$\frac{1}{2(1-X)} \leq \frac{K}{\Delta t} \leq \frac{1}{2X}$$

La inecuación anterior permite obtener los valores mínimo y máximo de K, tomando  $\Delta t \leq 0.29 T_{lag}$ , que para el caso de estudio se establece en 4 minutos.

Por tanto el número de subtramos necesario para que el modelo sea estable queda comprendido entre  $K/K_{max}$  y  $K/K_{min}$ .

Los resultados obtenidos para los tramos de propagación de la cuenca son:

Tabla 12. Parámetros de Muskingum.

TRAMO	X	K	n
1	0.25	2.3	18
2	0.25	2.3	18
3	0.25	2	16
4	0.25	2.9	23

#### 4.3.6. Tormentas de diseño.

Para la correcta obtención de los hidrogramas haciendo uso de los modelos hidrológicos existentes en la actualidad, no basta con conocer la precipitación máxima de una tormenta, sino que se requiere conocer la evolución de esa precipitación a lo largo del episodio de tormenta. Esta distribución temporal de la lluvia se ha llevado a cabo mediante el método de los bloques alternos (alternating block method, Chow et al. 1994).

##### 4.3.6.1. Método de los bloques alternos

El método de bloques alternos permite desarrollar de forma simple un hietograma de diseño utilizando una curva IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia). La distribución temporal de la lluvia según el método de los bloques alternos se basa en asumir, para cualquier intervalo de tiempo la intensidad media más desfavorable.

En primer lugar se fijan  $n$  intervalos de tiempo de duración  $\Delta t$ , de manera que la duración total de la tormenta sea igual a  $n \cdot \Delta t$ . Seguidamente se obtienen, a partir de la curva IDF empleada, las intensidades de precipitación correspondientes a cada una de las duraciones,  $i(k \Delta t)$ .

El valor de intensidad correspondiente a cada uno de los  $n$  bloques que conforman la tormenta se define de la siguiente forma:

$$b_1 = i(\Delta t), \dots, \frac{b_1 + b_2}{2} = i(2\Delta t), \dots, \frac{\sum_{j=1}^{k-1} b_j}{k} = i(k\Delta t)$$

Por lo que la intensidad correspondiente a un bloque  $k$  de los  $n$  bloques que definen la tormenta, resulta:

$$b_k = k i(k\Delta t) - \sum_{j=1}^{k-1} b_j$$

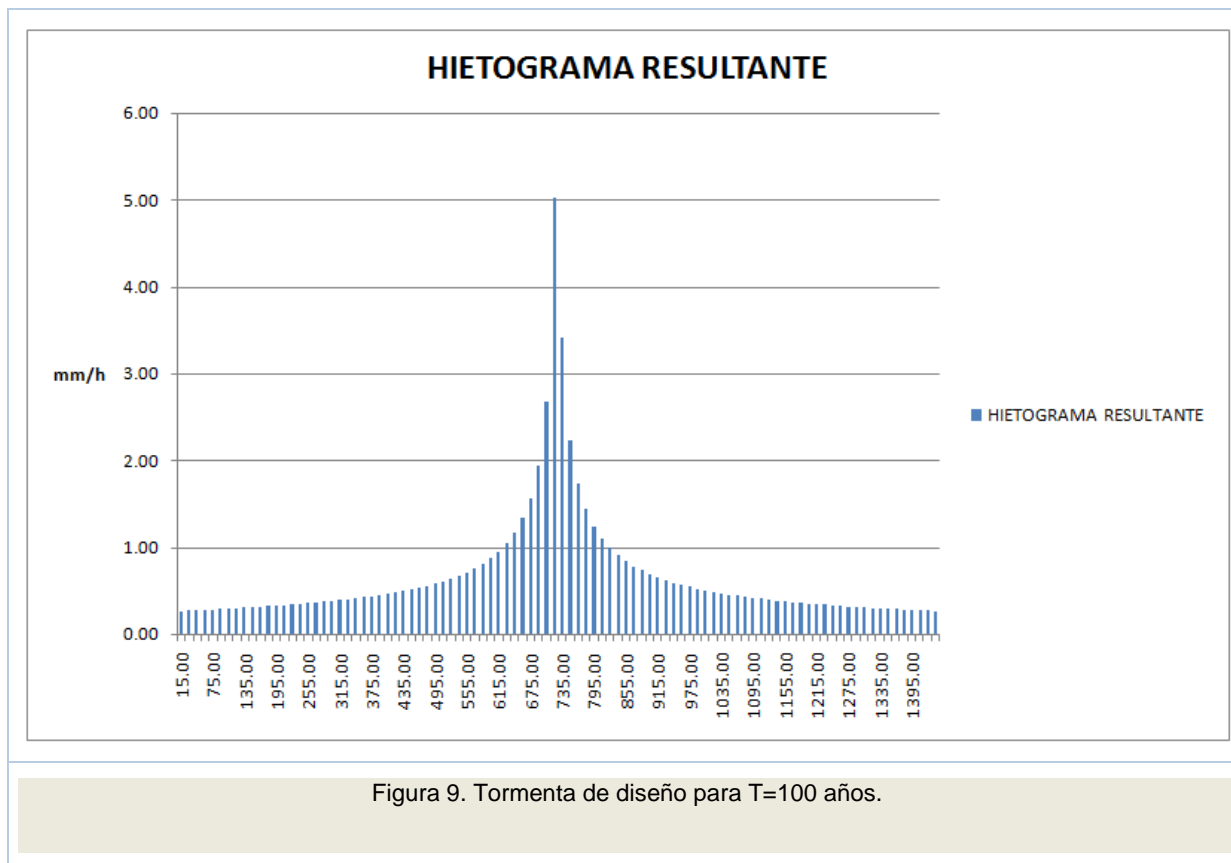
Finalmente los bloques se reordenan en una secuencia temporal de manera que la intensidad máxima ocurra en el centro de la tormenta y que los demás bloques queden en orden de intensidad decreciente alternativamente de derecha a izquierda del bloque central. En el caso de que el número  $n$  de bloques sea par, se colocará el bloque de mayor intensidad en la posición " $n/2$ ", ya que el presentarse la punta de precipitación de manera adelantada suele producir los caudales de escorrentía mayores.

##### 4.3.6.2. Tormentas de diseño para el estudio.

Con todo lo expuesto se ha construido, para cada periodo de retorno, tormentas de proyecto por el método de los bloques alternos de una duración de 24 horas en intervalos quinceminutales. La elección de una duración de 24 horas viene justificada por el hecho que éste es el valor múltiplo de 6 inmediatamente superior al tiempo de concentración de la cuenca de estudio, siendo esta segunda condición un requisito indispensable para la correcta modelación del comportamiento de la cuenca.

La discretización temporal seleccionada es de 15 minutos de duración, valor inferior a  $0.2 \cdot t_c$  de la cuenca e inferior a 30 minutos (máximo recomendado para eventos de crecidas).

A modo de ilustración se adjunta la representación gráfica de la tormenta de proyecto para periodo de retorno de 100 años



#### 4.4. SIMULACIONES Y RESULTADOS.

Una vez obtenidos todos los parámetros anteriormente explicados, estos van a ser el Inputs de la simulación del modelo con el programa HEC-HMS del US Army Corps of Engineers como se mencionó anteriormente.

Se trata de un programa de simulación hidrológica tipo evento, lineal y semidistribuido, desarrollado para estimar los hidrogramas de salida en una cuenca o varias subcuencas, a partir de condiciones extremas de lluvias, aplicando para ello algunos métodos de cálculo de hietogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa.

Esta herramienta se utiliza para conocer el caudal desaguado por las quebradas en su punto de vertido, y el caudal que circula por ellas para los distintos periodos de retorno.

Con los datos obtenidos de la herramienta GIS se procede a crear el modelo de simulación definiendo en el programa las subcuencas, los cauces, los elementos de unión y por último el punto de salida, donde obtendremos el resultado de caudal pico para los diferentes periodos de retorno que establece la normativa.

#### 4.4.1. Componentes del sistema.

U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System es un software diseñado para simular procesos de precipitación-escorrentía en sistemas hidrológicos.

El programa prosee un completo entorno de trabajo integrado: base de datos, utilidades de entrada de datos, simulación y herramientas interactivas de consulta de resultados.

El programa consta de tres partes principales:

- Modelo de Cuencas
- Modelo Meteorológico
- Especificaciones de Control

En la primera parte, el modelo de cuencas, se debe especificar las características físicas de la cuenca; en la segunda, modelo meteorológico, se introducen los datos pluviométricos y en la tercera, especificaciones de control, los tiempos computacionales. A continuación se expone brevemente en qué consiste este software y los modelos que simula.

#### 4.4.2. Modelo de cuenca (Basin Model).

Esta es la parte más importante del programa, donde se definen las características hidrológicas y geomorfológicas de las cuencas y los métodos de cálculo. En él se conceptualiza el sistema hidrológico (cuencas, subcuencas, cursos fluviales, etc.).

Los elementos disponibles son:

- Subcuencas (subbasin).
- Tramos de propagación (reach).
- Embalses (reservoir).
- Confluencias de flujo (junction).
- Divergencias de flujo (diversion).
- Fuentes (source).
- Sumideros (sink).

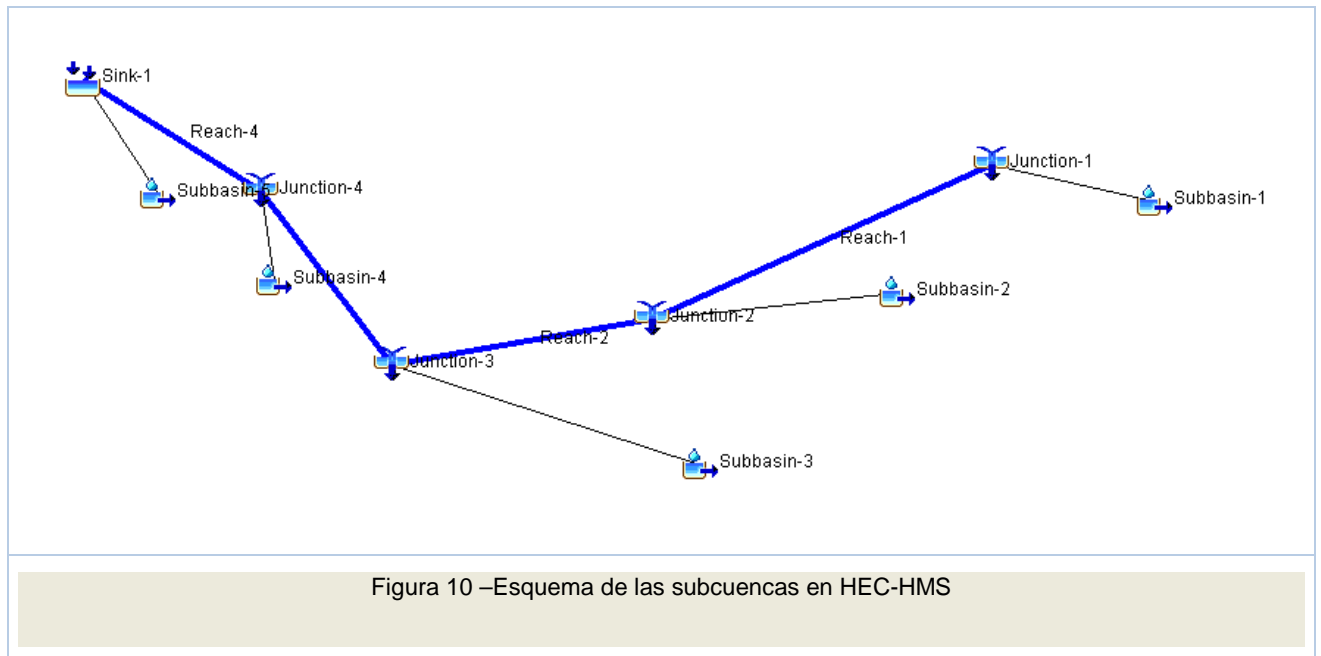
Los componentes básicos de la modelación son:

- Submodelo de generación o infiltración (loss rate method).
- Submodelo de transformación de lluvia neta en escorrentía (runoff transformation method).
- Submodelo de precipitación (precipitation model).
- Submodelo de propagación en cauces (routing reach method).

La geometría del modelo de cuenca se elabora a partir de la disposición relativa entre las subcuencas. A cada subcuenca se le asocia un elemento tipo subbasin y se conectan entre sí respetando su posición en la cuenca.

El programa calcula el hidrograma de cada una de las subcuencas en su punto de desagüe, sin considerar la propagación por el recorrido de su cauce principal. Los tramos de propagación aparecen en el modelo cuando existen subcuencas aguas arriba de otra a cuyo cauce desaguan. Para simular el paso de los hidrogramas de las cuencas situadas más aguas arriba por la subcuenca a la que drenan debe introducirse

en el modelo un elemento tipo reach. Al final de este tramo debe conectarse la subcuenca a través de la cual se produce la propagación. El desagüe de la cuenca se representa por un elemento tipo sink.



#### 4.4.3. Modelo Meteorológico ( Precipitation Model)

Implementa el análisis de datos meteorológicos, incluyendo precipitación y evapotranspiración.

Los componentes básicos son:

- Submodelo de precipitación (precipitation model).
- Submodelo de evapotranspiración (evapotranspiration method).

En cada modelo generado se puede asociar una tormenta o una combinación de ellas a parte o a la totalidad de la cuenca. Para cada periodo de retorno se elabora un modelo de precipitación del tipo Specified Hyetograph, en el que se asigna el hietograma correspondiente a todas las subcuencas existentes en el modelo de la cuenca.

#### 4.4.4. Parámetros de control de especificación

En esta utilidad se especifican los parámetros temporales de la simulación:

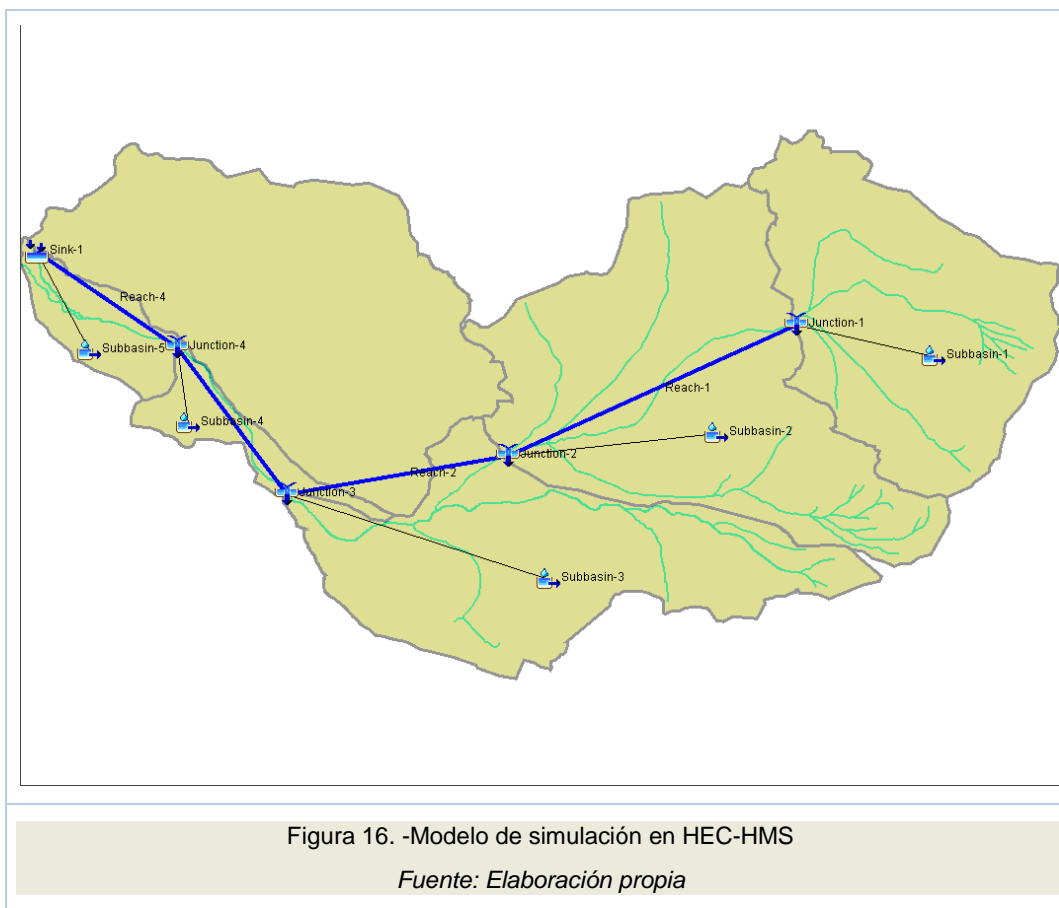
- Fecha y hora de inicio de la simulación
- Fecha y hora de fin de la simulación
- Lapso de tiempo computacional

La simulación se realiza combinando el modelo de cuenca, el meteorológico y los parámetros de control. Los parámetros de control permiten al usuario definir el tiempo de simulación de los hidrogramas. Debe especificarse el inicio y el final de la tormenta así como el inicio y el final del tiempo de observación de la lluvia y de los hidrogramas. El tiempo inicial de observación debe coincidir con el tiempo de inicio de la lluvia.

Otro parámetro de control no menos importante es el incremento de tiempo que el programa utiliza para realizar los cálculos. Este incremento de tiempo se recomienda que sea igual al de la discretización de la lluvia y debe cumplir la condición de  $\Delta t \leq 29\% \text{ tlag}$  para que el algoritmo de resolución sea estable.

#### 4.4.5. Resultados de la simulación.

Con todo lo expuesto anteriormente el modelo queda del siguiente modo:



Tras introducir todos los datos que se requiere para la simulación, obtenemos en el punto de vertido los siguientes caudales para los diferentes periodos de retorno exigidos en la normativa.



Tabla 13-.Caudales obtenidos con HEC-HMS

Tr AÑOS	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
2	0
5	0.2
10	0.7
25	2.3
100	7.3

## APÉNDICES ANEJO IV





## APÉNDICE IV.1

### CÁLCULO CURVAS I-D-F PARA DURACIONES ENTRE 1h Y 24 h A PARTIR DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS.

Obtención de Curvas IDF para duraciones entre 1h y 24 h a partir de datos pluviométricos

$$P_t^T = K \times CD_t \times CF_t \times P_D^{10}$$

$$P_D^{10} = 3.490$$

$$K = 1.1$$

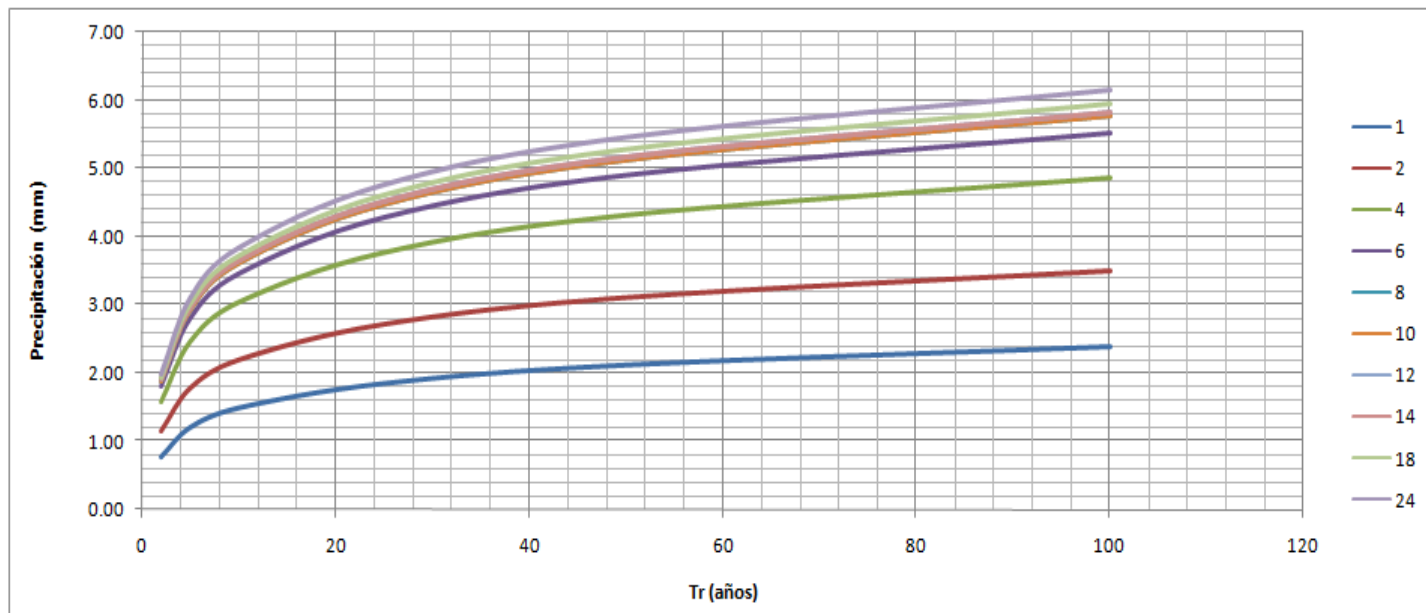
CD para T 10 en la estación de Toconce Qnormal:

D (horas)	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
CD	0.390	0.570	0.790	0.900	0.940	0.940	0.950	0.95	0.97	1

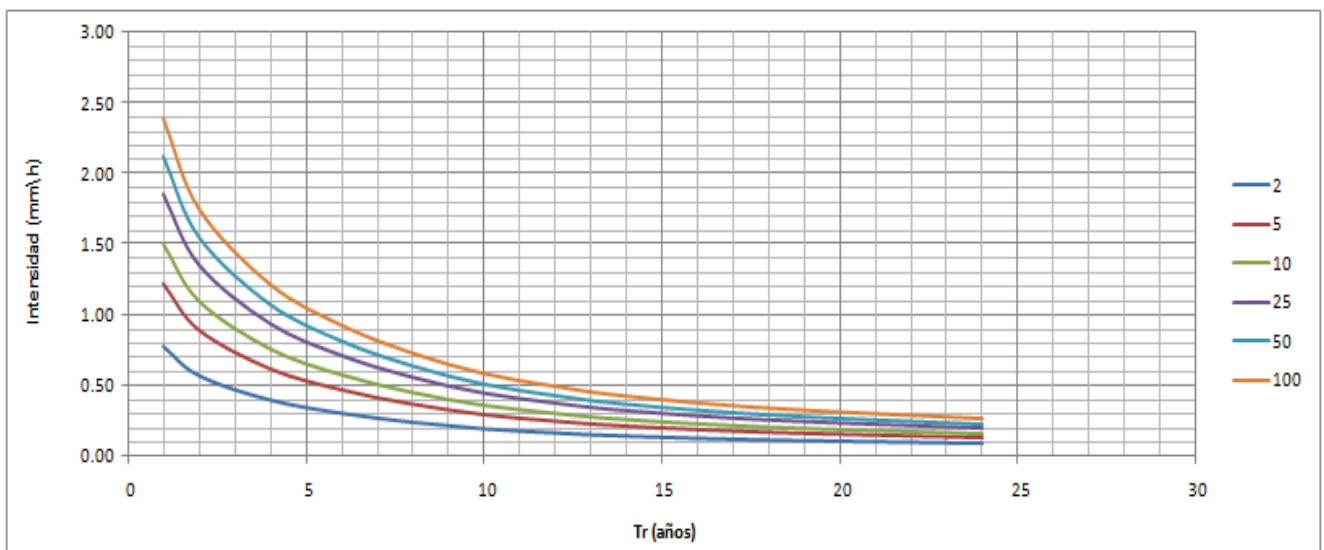
CF para la estación de Santiago Qnormal:

T años	2	5	10	20	25	50	100	200
CF	0.520	0.810	1.000	1.180	1.240	1.420	1.600	1.78

P.D-Tr	Duración en horas									
Tr años	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
2	0.78	1.14	1.58	1.80	1.88	1.88	1.90	1.90	1.94	2.00
5	1.21	1.77	2.46	2.80	2.92	2.92	2.95	2.95	3.02	3.11
10	1.50	2.19	3.03	3.46	3.61	3.61	3.65	3.65	3.72	3.84
25	1.86	2.71	3.76	4.28	4.47	4.47	4.52	4.52	4.62	4.76
50	2.13	3.11	4.31	4.91	5.12	5.12	5.18	5.18	5.29	5.45
100	2.40	3.50	4.85	5.53	5.77	5.77	5.84	5.84	5.96	6.14



I-D-Tr	Duración en horas									
Tr años	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
2	0.78	0.57	0.39	0.30	0.23	0.19	0.16	0.14	0.11	0.08
5	1.21	0.89	0.61	0.47	0.37	0.29	0.25	0.21	0.17	0.13
10	1.50	1.09	0.76	0.58	0.45	0.36	0.30	0.26	0.21	0.16
25	1.86	1.36	0.94	0.71	0.56	0.45	0.38	0.32	0.26	0.20
50	2.13	1.55	1.08	0.82	0.64	0.51	0.43	0.37	0.29	0.23
100	2.40	1.75	1.21	0.92	0.72	0.58	0.49	0.42	0.33	0.26



Obtención de Curvas P-D-Tr e I-d-Tr para duraciones menor que 1 h mediante la formulación de Bell

$$\text{Formula de Bell } P_t^T = ((0,21 \cdot \ln(T)) + 0,52) \cdot ((0,54 \cdot (t^{0,25})) - 0,5) \cdot (P_1^{10})$$

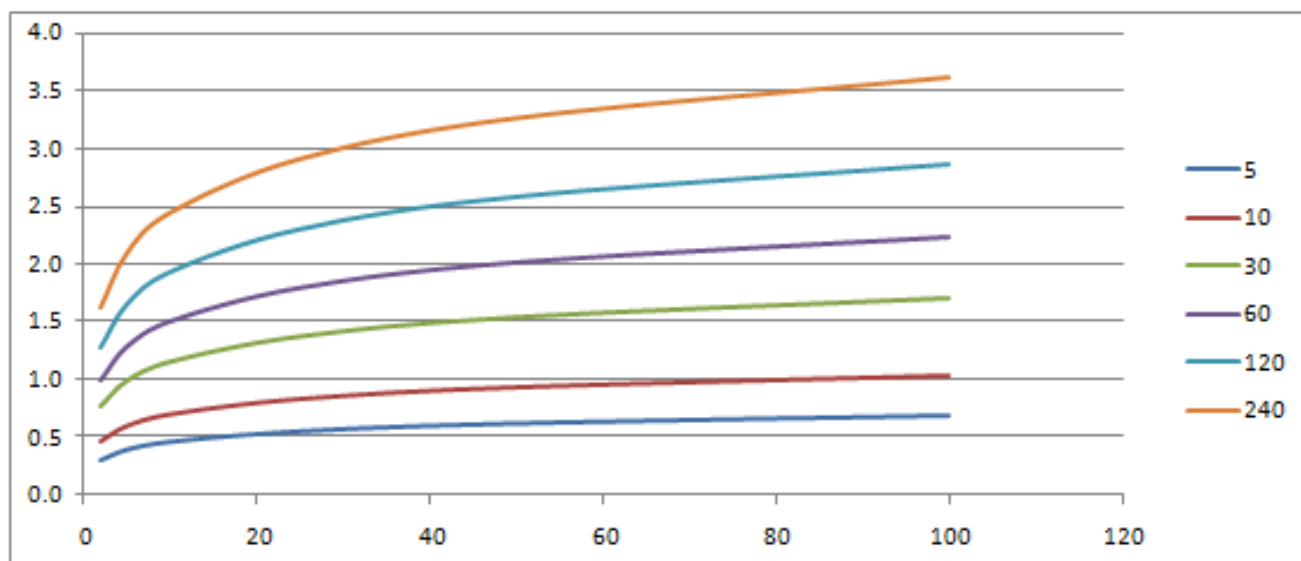
t = duración en minutos

T = Periodo de Retorno en años

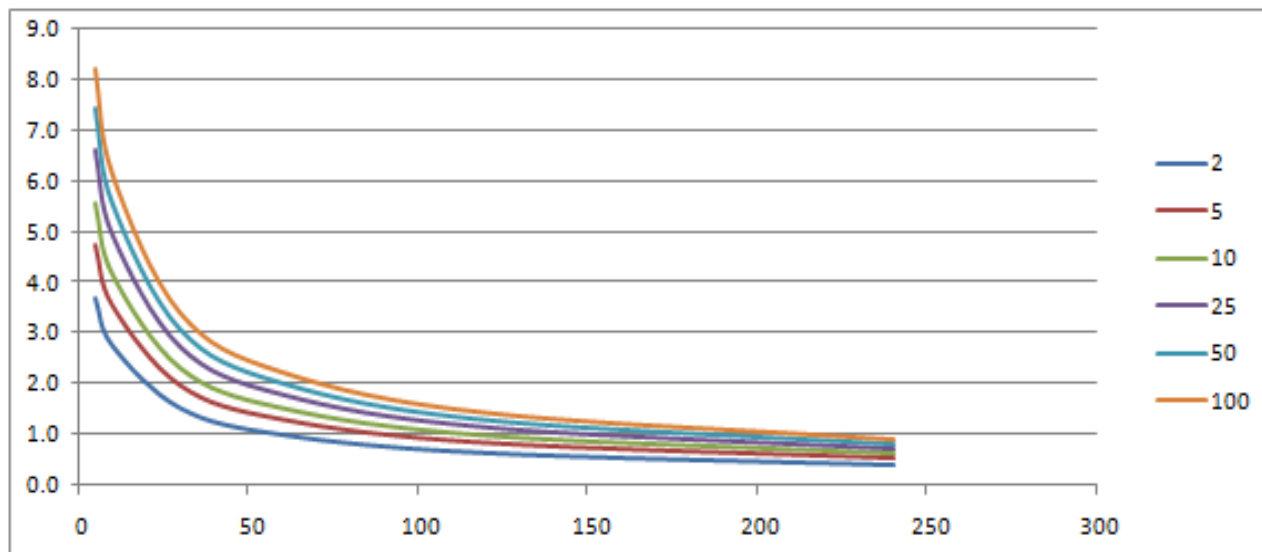
$$I_t^T = P_t^T / (t/60)$$

$$P_1^{10} = 1.50 \text{ mm}$$

P-D-Tr	Duración en minutos					
Tr años	5	10	30	60	120	240
2	0.3	0.5	0.8	1.0	1.3	1.6
5	0.4	0.6	1.0	1.3	1.7	2.1
10	0.5	0.7	1.1	1.5	1.9	2.4
25	0.6	0.8	1.4	1.8	2.3	2.9
50	0.6	0.9	1.5	2.0	2.6	3.3
100	0.7	1.0	1.7	2.2	2.9	3.6



I-D-Tr	Duración en minutos					
Tr años	5	10	30	60	120	240
2	3.7	2.8	1.5	1.0	0.6	0.4
5	4.7	3.5	2.0	1.3	0.8	0.5
10	5.5	4.1	2.3	1.5	1.0	0.6
25	6.6	4.9	2.7	1.8	1.2	0.7
50	7.4	5.5	3.1	2.0	1.3	0.8
100	8.2	6.1	3.4	2.2	1.4	0.9





## APÉNDICE IV.2

### TORMENTAS DE DISEÑO

En este apéndice se muestran la elaboración de las Tormentas de diseño propuestas para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25 y 100 años.

Las tormentas tienen una duración de 24 horas y se han discretizado en intervalos quinceminutales.

Han sido obtenidas mediante la formulación de Témez por el método de bloques alternos cuya metodología viene explicada en el apartado 4.3.6 Tormentas de Diseño.

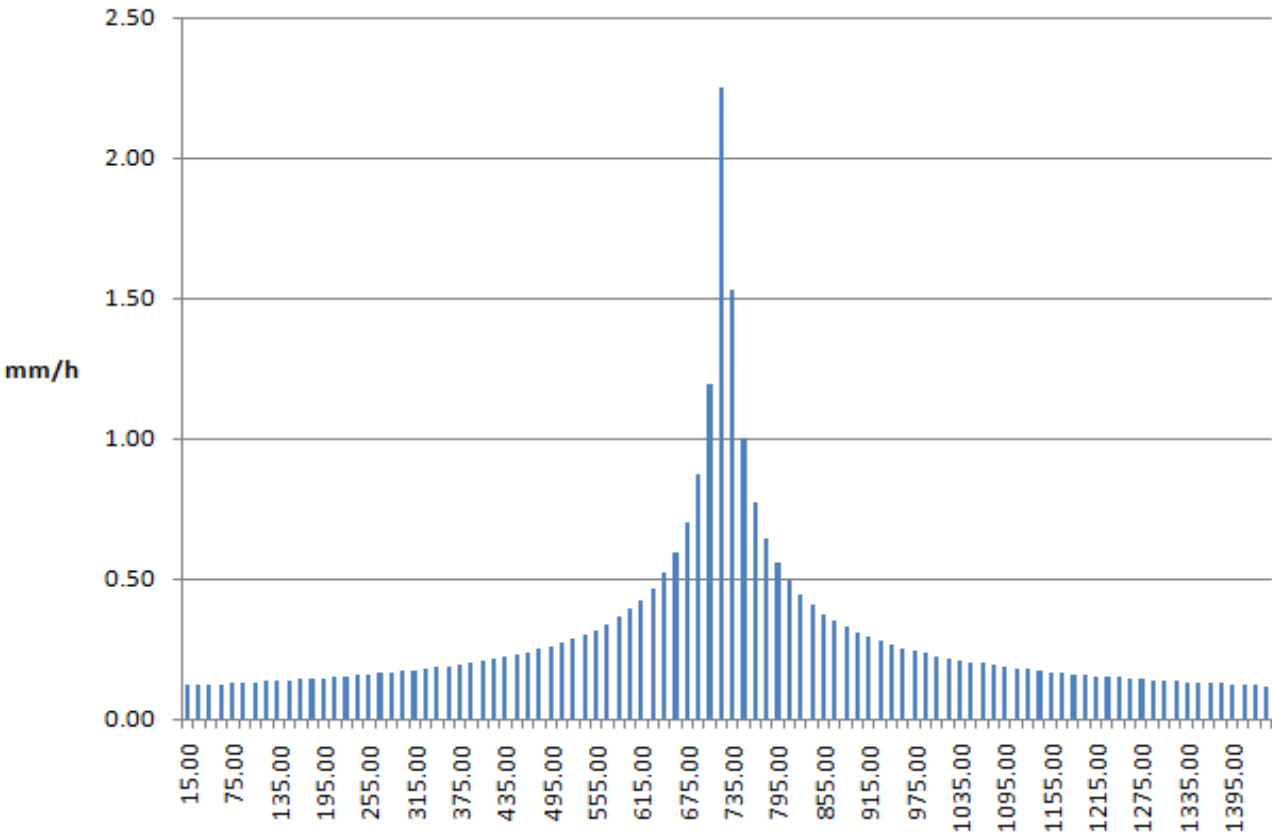
## 1. TORMENTA DE DISEÑO PARA T=2 AÑOS

t (min)	t (h)	I (mm/h)	P (mm)	Pbloque (mm)
15.00	0.25	2.2	0.6	0.56
30.00	0.50	1.5	0.8	0.20
45.00	0.75	1.2	0.9	0.13
60.00	1.00	1.0	1.0	0.10
75.00	1.25	0.9	1.1	0.09
90.00	1.50	0.8	1.2	0.07
105.00	1.75	0.7	1.2	0.07
120.00	2.00	0.6	1.3	0.06
135.00	2.25	0.6	1.3	0.05
150.00	2.50	0.6	1.4	0.05
165.00	2.75	0.5	1.4	0.05
180.00	3.00	0.5	1.5	0.04
195.00	3.25	0.5	1.5	0.04
210.00	3.50	0.4	1.6	0.04
225.00	3.75	0.4	1.6	0.04
240.00	4.00	0.4	1.6	0.03
255.00	4.25	0.4	1.7	0.03
270.00	4.50	0.4	1.7	0.03
285.00	4.75	0.4	1.7	0.03
300.00	5.00	0.3	1.7	0.03
315.00	5.25	0.3	1.8	0.03
330.00	5.50	0.3	1.8	0.03
345.00	5.75	0.3	1.8	0.03
360.00	6.00	0.3	1.8	0.02
375.00	6.25	0.3	1.9	0.02
390.00	6.50	0.3	1.9	0.02
405.00	6.75	0.3	1.9	0.02
420.00	7.00	0.3	1.9	0.02
435.00	7.25	0.3	2.0	0.02
450.00	7.50	0.3	2.0	0.02
465.00	7.75	0.3	2.0	0.02
480.00	8.00	0.3	2.0	0.02
495.00	8.25	0.2	2.0	0.02
510.00	8.50	0.2	2.1	0.02
525.00	8.75	0.2	2.1	0.02

t (min)	t (h)	I (mm/h)	P (mm)	Pbloque (mm)
540.00	9.00	0.2	2.1	0.02
555.00	9.25	0.2	2.1	0.02
570.00	9.50	0.2	2.1	0.02
585.00	9.75	0.2	2.2	0.02
600.00	10.00	0.2	2.2	0.02
615.00	10.25	0.2	2.2	0.02
630.00	10.50	0.2	2.2	0.02
645.00	10.75	0.2	2.2	0.02
660.00	11.00	0.2	2.2	0.02
675.00	11.25	0.2	2.2	0.02
690.00	11.50	0.2	2.3	0.02
705.00	11.75	0.2	2.3	0.01
720.00	12.00	0.2	2.3	0.01
735.00	12.25	0.2	2.3	0.01
750.00	12.50	0.2	2.3	0.01
765.00	12.75	0.2	2.3	0.01
780.00	13.00	0.2	2.3	0.01
795.00	13.25	0.2	2.4	0.01
810.00	13.50	0.2	2.4	0.01
825.00	13.75	0.2	2.4	0.01
840.00	14.00	0.2	2.4	0.01
855.00	14.25	0.2	2.4	0.01
870.00	14.50	0.2	2.4	0.01
885.00	14.75	0.2	2.4	0.01
900.00	15.00	0.2	2.5	0.01
915.00	15.25	0.2	2.5	0.01
930.00	15.50	0.2	2.5	0.01
945.00	15.75	0.2	2.5	0.01
960.00	16.00	0.2	2.5	0.01
975.00	16.25	0.2	2.5	0.01
990.00	16.50	0.2	2.5	0.01
1005.00	16.75	0.2	2.5	0.01
1020.00	17.00	0.1	2.5	0.01
1035.00	17.25	0.1	2.6	0.01
1050.00	17.50	0.1	2.6	0.01
1065.00	17.75	0.1	2.6	0.01
1080.00	18.00	0.1	2.6	0.01
1095.00	18.25	0.1	2.6	0.01
1110.00	18.50	0.1	2.6	0.01
1125.00	18.75	0.1	2.6	0.01
1140.00	19.00	0.1	2.6	0.01
1155.00	19.25	0.1	2.6	0.01
1170.00	19.50	0.1	2.7	0.01
1185.00	19.75	0.1	2.7	0.01

t (min)	t (h)	I (mm/h)	P (mm)	Pbloque (mm)
1200.00	20.00	0.1	2.7	0.01
1215.00	20.25	0.1	2.7	0.01
1230.00	20.50	0.1	2.7	0.01
1245.00	20.75	0.1	2.7	0.01
1260.00	21.00	0.1	2.7	0.01
1275.00	21.25	0.1	2.7	0.01
1290.00	21.50	0.1	2.7	0.01
1305.00	21.75	0.1	2.7	0.01
1320.00	22.00	0.1	2.8	0.01
1335.00	22.25	0.1	2.8	0.01
1350.00	22.50	0.1	2.8	0.01
1365.00	22.75	0.1	2.8	0.01
1380.00	23.00	0.1	2.8	0.01
1395.00	23.25	0.1	2.8	0.01
1410.00	23.50	0.1	2.8	0.01
1425.00	23.75	0.1	2.8	0.01
1440.00	24.00	0.1	2.8	0.01

HIETOGRAMA RESULTANTE





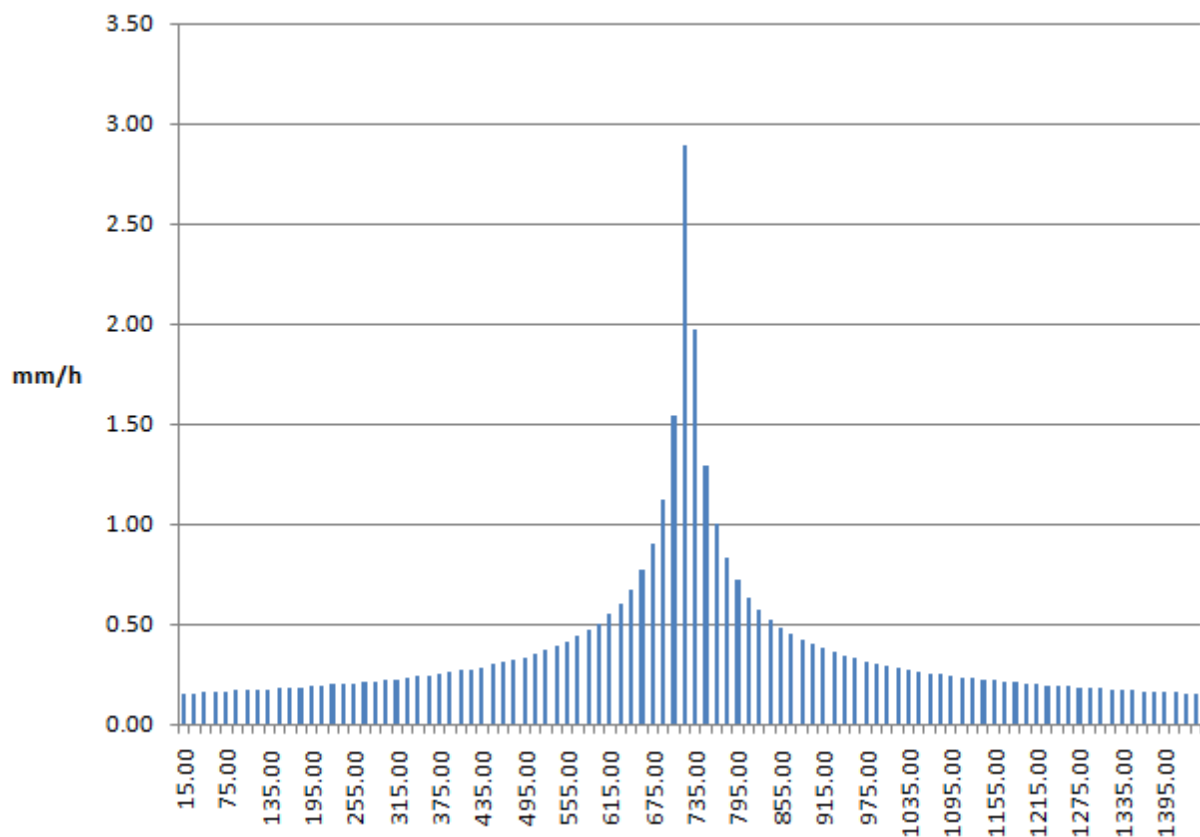
## 2. TORMENTA DE DISEÑO PARA T=5 AÑOS

t (min)	t (h)	I (mm/h)	P (mm)	Pbloque (mm)
15.00	0.25	2.9	0.7	0.72
30.00	0.50	2.0	1.0	0.26
45.00	0.75	1.5	1.2	0.17
60.00	1.00	1.3	1.3	0.13
75.00	1.25	1.1	1.4	0.11
90.00	1.50	1.0	1.5	0.10
105.00	1.75	0.9	1.6	0.08
120.00	2.00	0.8	1.7	0.08
135.00	2.25	0.8	1.7	0.07
150.00	2.50	0.7	1.8	0.06
165.00	2.75	0.7	1.8	0.06
180.00	3.00	0.6	1.9	0.05
195.00	3.25	0.6	2.0	0.05
210.00	3.50	0.6	2.0	0.05
225.00	3.75	0.5	2.0	0.05
240.00	4.00	0.5	2.1	0.04
255.00	4.25	0.5	2.1	0.04
270.00	4.50	0.5	2.2	0.04
285.00	4.75	0.5	2.2	0.04
300.00	5.00	0.4	2.2	0.04
315.00	5.25	0.4	2.3	0.04
330.00	5.50	0.4	2.3	0.03
345.00	5.75	0.4	2.4	0.03
360.00	6.00	0.4	2.4	0.03
375.00	6.25	0.4	2.4	0.03
390.00	6.50	0.4	2.4	0.03
405.00	6.75	0.4	2.5	0.03
420.00	7.00	0.4	2.5	0.03
435.00	7.25	0.3	2.5	0.03
450.00	7.50	0.3	2.6	0.03
465.00	7.75	0.3	2.6	0.03
480.00	8.00	0.3	2.6	0.03
495.00	8.25	0.3	2.6	0.03
510.00	8.50	0.3	2.7	0.02
525.00	8.75	0.3	2.7	0.02
540.00	9.00	0.3	2.7	0.02
555.00	9.25	0.3	2.7	0.02
570.00	9.50	0.3	2.8	0.02
585.00	9.75	0.3	2.8	0.02
600.00	10.00	0.3	2.8	0.02
615.00	10.25	0.3	2.8	0.02
630.00	10.50	0.3	2.8	0.02
645.00	10.75	0.3	2.9	0.02

t (min)	t (h)	I (mm/h)	P (mm)	Pbloque (mm)
660.00	11.00	0.3	2.9	0.02
675.00	11.25	0.3	2.9	0.02
690.00	11.50	0.3	2.9	0.02
705.00	11.75	0.3	2.9	0.02
720.00	12.00	0.2	3.0	0.02
735.00	12.25	0.2	3.0	0.02
750.00	12.50	0.2	3.0	0.02
765.00	12.75	0.2	3.0	0.02
780.00	13.00	0.2	3.0	0.02
795.00	13.25	0.2	3.0	0.02
810.00	13.50	0.2	3.1	0.02
825.00	13.75	0.2	3.1	0.02
840.00	14.00	0.2	3.1	0.02
855.00	14.25	0.2	3.1	0.02
870.00	14.50	0.2	3.1	0.02
885.00	14.75	0.2	3.1	0.02
900.00	15.00	0.2	3.2	0.02
915.00	15.25	0.2	3.2	0.02
930.00	15.50	0.2	3.2	0.02
945.00	15.75	0.2	3.2	0.02
960.00	16.00	0.2	3.2	0.02
975.00	16.25	0.2	3.2	0.02
990.00	16.50	0.2	3.3	0.01
1005.00	16.75	0.2	3.3	0.01
1020.00	17.00	0.2	3.3	0.01
1035.00	17.25	0.2	3.3	0.01
1050.00	17.50	0.2	3.3	0.01
1065.00	17.75	0.2	3.3	0.01
1080.00	18.00	0.2	3.3	0.01
1095.00	18.25	0.2	3.4	0.01
1110.00	18.50	0.2	3.4	0.01
1125.00	18.75	0.2	3.4	0.01
1140.00	19.00	0.2	3.4	0.01
1155.00	19.25	0.2	3.4	0.01
1170.00	19.50	0.2	3.4	0.01
1185.00	19.75	0.2	3.4	0.01
1200.00	20.00	0.2	3.4	0.01
1215.00	20.25	0.2	3.5	0.01
1230.00	20.50	0.2	3.5	0.01
1245.00	20.75	0.2	3.5	0.01
1260.00	21.00	0.2	3.5	0.01
1275.00	21.25	0.2	3.5	0.01
1290.00	21.50	0.2	3.5	0.01
1305.00	21.75	0.2	3.5	0.01
1320.00	22.00	0.2	3.5	0.01

t (min)	t (h)	I (mm/h)	P (mm)	Pbloque (mm)
1335.00	22.25	0.2	3.6	0.01
1350.00	22.50	0.2	3.6	0.01
1365.00	22.75	0.2	3.6	0.01
1380.00	23.00	0.2	3.6	0.01
1395.00	23.25	0.2	3.6	0.01
1410.00	23.50	0.2	3.6	0.01
1425.00	23.75	0.2	3.6	0.01
1440.00	24.00	0.2	3.6	0.01

## HIETOGRAMA RESULTANTE



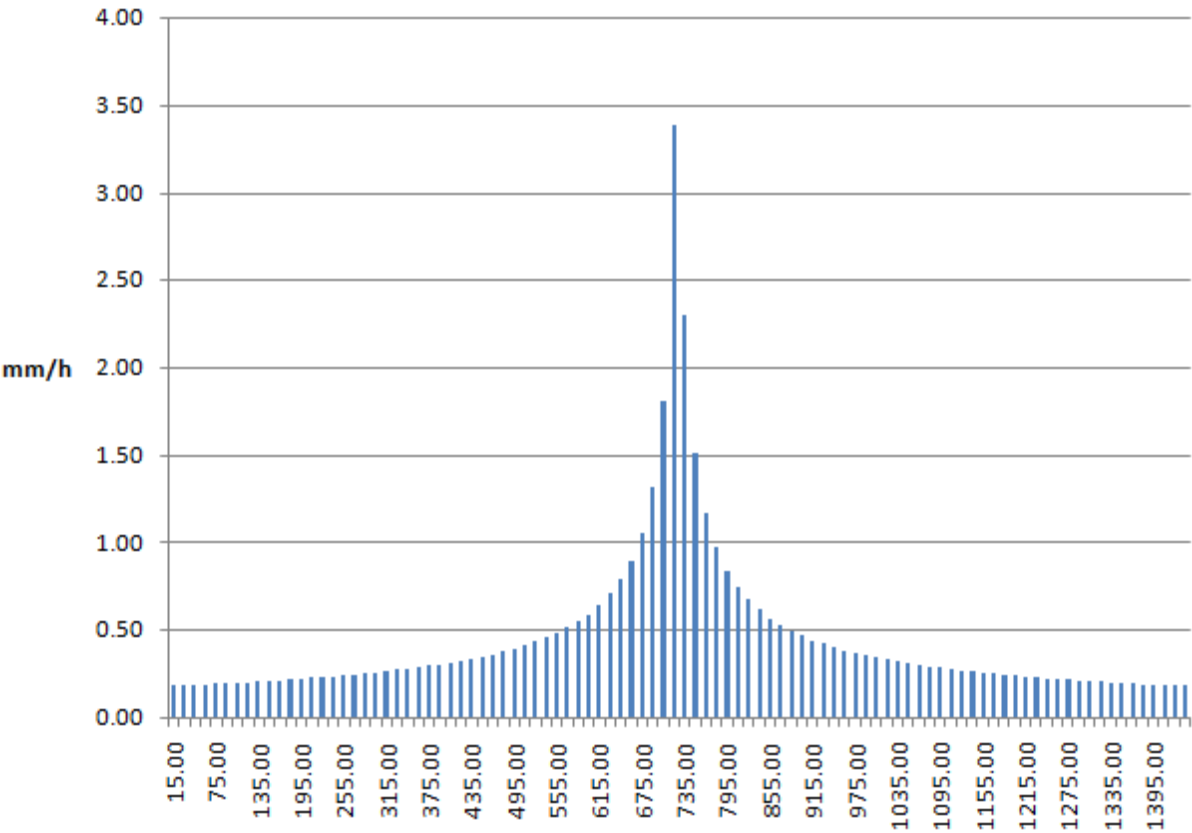
**3. TORMENTA DE DISEÑO PARA T=10 AÑOS**

t (min)	t (h)	I (mm/h)	P (mm)	Pbloque (mm)
15.00	0.25	3.4	0.8	0.85
30.00	0.50	2.3	1.1	0.30
45.00	0.75	1.8	1.4	0.20
60.00	1.00	1.5	1.5	0.16
75.00	1.25	1.3	1.6	0.13
90.00	1.50	1.2	1.8	0.11
105.00	1.75	1.1	1.8	0.10
120.00	2.00	1.0	1.9	0.09
135.00	2.25	0.9	2.0	0.08
150.00	2.50	0.8	2.1	0.07
165.00	2.75	0.8	2.2	0.07
180.00	3.00	0.7	2.2	0.06
195.00	3.25	0.7	2.3	0.06
210.00	3.50	0.7	2.3	0.06
225.00	3.75	0.6	2.4	0.05
240.00	4.00	0.6	2.4	0.05
255.00	4.25	0.6	2.5	0.05
270.00	4.50	0.6	2.5	0.05
285.00	4.75	0.5	2.6	0.04
300.00	5.00	0.5	2.6	0.04
315.00	5.25	0.5	2.7	0.04
330.00	5.50	0.5	2.7	0.04
345.00	5.75	0.5	2.8	0.04
360.00	6.00	0.5	2.8	0.04
375.00	6.25	0.5	2.8	0.04
390.00	6.50	0.4	2.9	0.04
405.00	6.75	0.4	2.9	0.03
420.00	7.00	0.4	2.9	0.03
435.00	7.25	0.4	3.0	0.03
450.00	7.50	0.4	3.0	0.03
465.00	7.75	0.4	3.0	0.03
480.00	8.00	0.4	3.1	0.03
495.00	8.25	0.4	3.1	0.03
510.00	8.50	0.4	3.1	0.03
525.00	8.75	0.4	3.1	0.03
540.00	9.00	0.4	3.2	0.03
555.00	9.25	0.3	3.2	0.03
570.00	9.50	0.3	3.2	0.03
585.00	9.75	0.3	3.2	0.03
600.00	10.00	0.3	3.3	0.03
615.00	10.25	0.3	3.3	0.02
630.00	10.50	0.3	3.3	0.02
645.00	10.75	0.3	3.3	0.02

t (min)	t (h)	I (mm/h)	P (mm)	Pbloque (mm)
660.00	11.00	0.3	3.4	0.02
675.00	11.25	0.3	3.4	0.02
690.00	11.50	0.3	3.4	0.02
705.00	11.75	0.3	3.4	0.02
720.00	12.00	0.3	3.5	0.02
735.00	12.25	0.3	3.5	0.02
750.00	12.50	0.3	3.5	0.02
765.00	12.75	0.3	3.5	0.02
780.00	13.00	0.3	3.5	0.02
795.00	13.25	0.3	3.6	0.02
810.00	13.50	0.3	3.6	0.02
825.00	13.75	0.3	3.6	0.02
840.00	14.00	0.3	3.6	0.02
855.00	14.25	0.3	3.6	0.02
870.00	14.50	0.3	3.7	0.02
885.00	14.75	0.2	3.7	0.02
900.00	15.00	0.2	3.7	0.02
915.00	15.25	0.2	3.7	0.02
930.00	15.50	0.2	3.7	0.02
945.00	15.75	0.2	3.8	0.02
960.00	16.00	0.2	3.8	0.02
975.00	16.25	0.2	3.8	0.02
990.00	16.50	0.2	3.8	0.02
1005.00	16.75	0.2	3.8	0.02
1020.00	17.00	0.2	3.8	0.02
1035.00	17.25	0.2	3.9	0.02
1050.00	17.50	0.2	3.9	0.02
1065.00	17.75	0.2	3.9	0.02
1080.00	18.00	0.2	3.9	0.02
1095.00	18.25	0.2	3.9	0.02
1110.00	18.50	0.2	3.9	0.02
1125.00	18.75	0.2	4.0	0.02
1140.00	19.00	0.2	4.0	0.02
1155.00	19.25	0.2	4.0	0.02
1170.00	19.50	0.2	4.0	0.02
1185.00	19.75	0.2	4.0	0.02
1200.00	20.00	0.2	4.0	0.02
1215.00	20.25	0.2	4.0	0.01
1230.00	20.50	0.2	4.1	0.01
1245.00	20.75	0.2	4.1	0.01
1260.00	21.00	0.2	4.1	0.01
1275.00	21.25	0.2	4.1	0.01
1290.00	21.50	0.2	4.1	0.01
1305.00	21.75	0.2	4.1	0.01

t (min)	t (h)	I (mm/h)	P (mm)	Pbloque (mm)
1320.00	22.00	0.2	4.1	0.01
1335.00	22.25	0.2	4.2	0.01
1350.00	22.50	0.2	4.2	0.01
1365.00	22.75	0.2	4.2	0.01
1380.00	23.00	0.2	4.2	0.01
1395.00	23.25	0.2	4.2	0.01
1410.00	23.50	0.2	4.2	0.01
1425.00	23.75	0.2	4.2	0.01
1440.00	24.00	0.2	4.3	0.01

HIETOGRAMA RESULTANTE



#### 4. TORMENTA DE DISEÑO PARA T=25 AÑOS

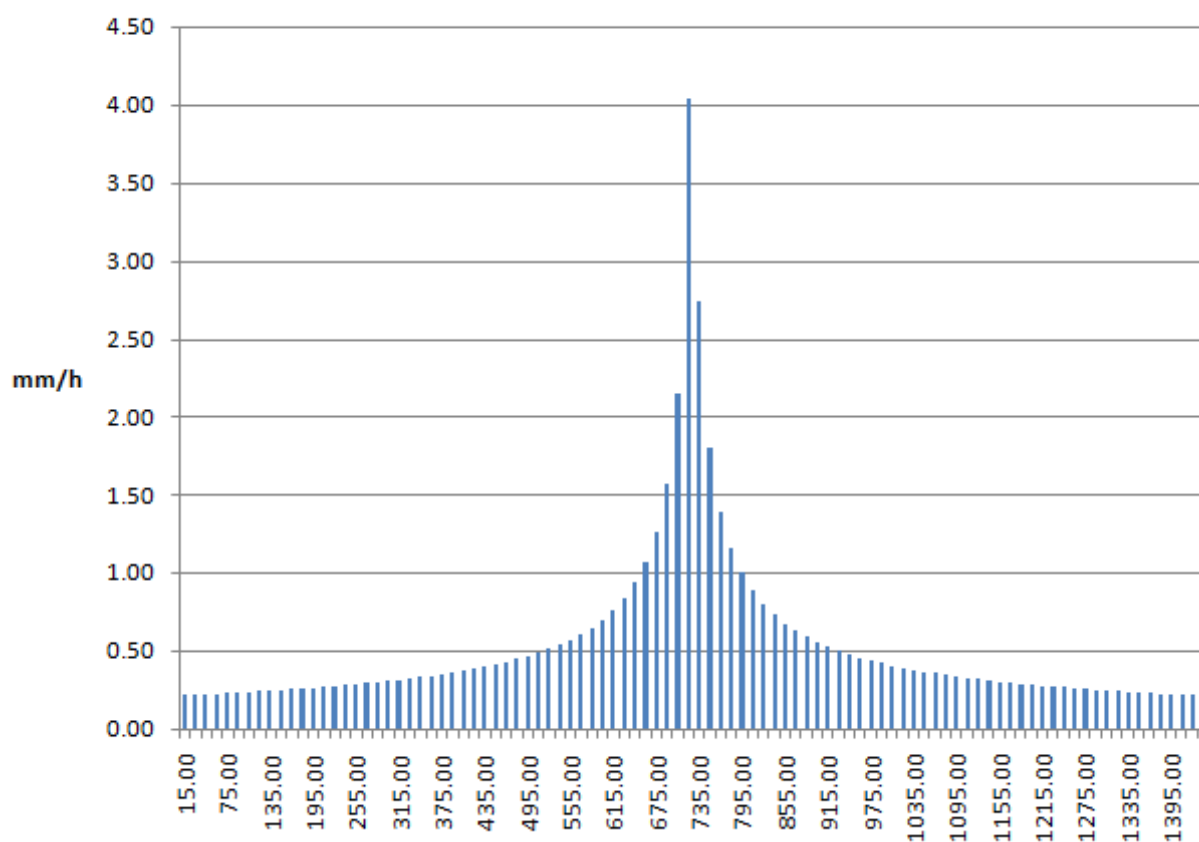
t (min)	t (h)	I (mm/h)	P (mm)	Pbloque (mm)
15.00	0.25	4.0	1.0	1.01
30.00	0.50	2.7	1.4	0.36
45.00	0.75	2.1	1.6	0.24
60.00	1.00	1.8	1.8	0.19
75.00	1.25	1.6	2.0	0.15
90.00	1.50	1.4	2.1	0.13
105.00	1.75	1.3	2.2	0.12
120.00	2.00	1.2	2.3	0.11
135.00	2.25	1.1	2.4	0.10
150.00	2.50	1.0	2.5	0.09
165.00	2.75	0.9	2.6	0.08
180.00	3.00	0.9	2.7	0.08
195.00	3.25	0.8	2.7	0.07
210.00	3.50	0.8	2.8	0.07
225.00	3.75	0.8	2.9	0.06
240.00	4.00	0.7	2.9	0.06
255.00	4.25	0.7	3.0	0.06
270.00	4.50	0.7	3.0	0.06
285.00	4.75	0.6	3.1	0.05
300.00	5.00	0.6	3.1	0.05
315.00	5.25	0.6	3.2	0.05
330.00	5.50	0.6	3.2	0.05
345.00	5.75	0.6	3.3	0.05
360.00	6.00	0.6	3.3	0.04
375.00	6.25	0.5	3.4	0.04
390.00	6.50	0.5	3.4	0.04
405.00	6.75	0.5	3.4	0.04
420.00	7.00	0.5	3.5	0.04
435.00	7.25	0.5	3.5	0.04
450.00	7.50	0.5	3.6	0.04
465.00	7.75	0.5	3.6	0.04
480.00	8.00	0.5	3.6	0.04
495.00	8.25	0.4	3.7	0.04
510.00	8.50	0.4	3.7	0.03
525.00	8.75	0.4	3.7	0.03
540.00	9.00	0.4	3.8	0.03
555.00	9.25	0.4	3.8	0.03
570.00	9.50	0.4	3.8	0.03
585.00	9.75	0.4	3.9	0.03
600.00	10.00	0.4	3.9	0.03
615.00	10.25	0.4	3.9	0.03
630.00	10.50	0.4	4.0	0.03
645.00	10.75	0.4	4.0	0.03

t (min)	t (h)	I (mm/h)	P (mm)	Pbloque (mm)
660.00	11.00	0.4	4.0	0.03
675.00	11.25	0.4	4.0	0.03
690.00	11.50	0.4	4.1	0.03
705.00	11.75	0.3	4.1	0.03
720.00	12.00	0.3	4.1	0.03
735.00	12.25	0.3	4.1	0.03
750.00	12.50	0.3	4.2	0.03
765.00	12.75	0.3	4.2	0.03
780.00	13.00	0.3	4.2	0.02
795.00	13.25	0.3	4.2	0.02
810.00	13.50	0.3	4.3	0.02
825.00	13.75	0.3	4.3	0.02
840.00	14.00	0.3	4.3	0.02
855.00	14.25	0.3	4.3	0.02
870.00	14.50	0.3	4.4	0.02
885.00	14.75	0.3	4.4	0.02
900.00	15.00	0.3	4.4	0.02
915.00	15.25	0.3	4.4	0.02
930.00	15.50	0.3	4.5	0.02
945.00	15.75	0.3	4.5	0.02
960.00	16.00	0.3	4.5	0.02
975.00	16.25	0.3	4.5	0.02
990.00	16.50	0.3	4.5	0.02
1005.00	16.75	0.3	4.6	0.02
1020.00	17.00	0.3	4.6	0.02
1035.00	17.25	0.3	4.6	0.02
1050.00	17.50	0.3	4.6	0.02
1065.00	17.75	0.3	4.6	0.02
1080.00	18.00	0.3	4.7	0.02
1095.00	18.25	0.3	4.7	0.02
1110.00	18.50	0.3	4.7	0.02
1125.00	18.75	0.3	4.7	0.02
1140.00	19.00	0.2	4.7	0.02
1155.00	19.25	0.2	4.8	0.02
1170.00	19.50	0.2	4.8	0.02
1185.00	19.75	0.2	4.8	0.02
1200.00	20.00	0.2	4.8	0.02
1215.00	20.25	0.2	4.8	0.02
1230.00	20.50	0.2	4.8	0.02
1245.00	20.75	0.2	4.9	0.02
1260.00	21.00	0.2	4.9	0.02
1275.00	21.25	0.2	4.9	0.02
1290.00	21.50	0.2	4.9	0.02
1305.00	21.75	0.2	4.9	0.02
1320.00	22.00	0.2	4.9	0.02



t (min)	t (h)	I (mm/h)	P (mm)	Pbloque (mm)
1335.00	22.25	0.2	5.0	0.02
1350.00	22.50	0.2	5.0	0.02
1365.00	22.75	0.2	5.0	0.02
1380.00	23.00	0.2	5.0	0.02
1395.00	23.25	0.2	5.0	0.02
1410.00	23.50	0.2	5.0	0.02
1425.00	23.75	0.2	5.1	0.02
1440.00	24.00	0.2	5.1	0.02

## HIETOGRAMA RESULTANTE



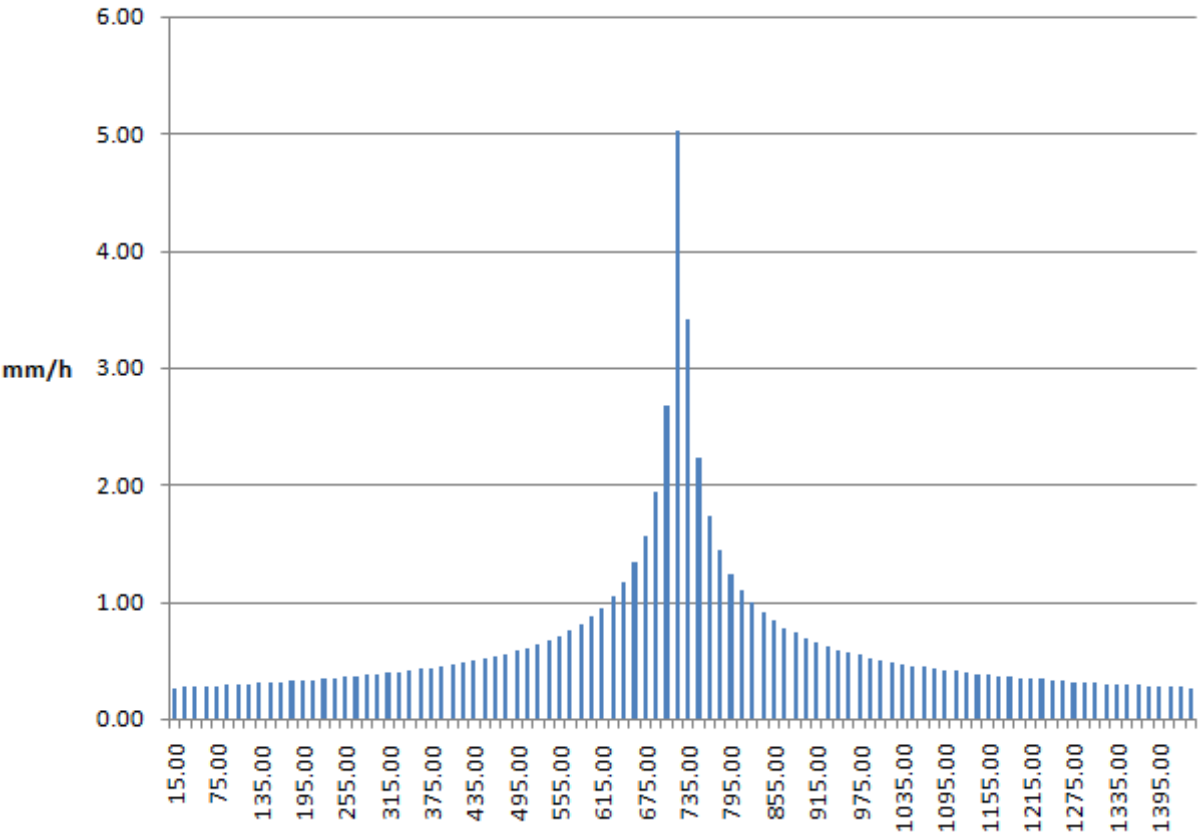
**5. TORMENTA DE DISEÑO PARA T=100 AÑOS**

t (min)	t (h)	I (mm/h)	P (mm)	Pbloque (mm)
15.00	0.25	5.0	1.3	1.26
30.00	0.50	3.4	1.7	0.45
45.00	0.75	2.7	2.0	0.30
60.00	1.00	2.2	2.2	0.23
75.00	1.25	1.9	2.4	0.19
90.00	1.50	1.7	2.6	0.17
105.00	1.75	1.6	2.7	0.15
120.00	2.00	1.4	2.9	0.13
135.00	2.25	1.3	3.0	0.12
150.00	2.50	1.2	3.1	0.11
165.00	2.75	1.2	3.2	0.10
180.00	3.00	1.1	3.3	0.09
195.00	3.25	1.0	3.4	0.09
210.00	3.50	1.0	3.5	0.08
225.00	3.75	0.9	3.5	0.08
240.00	4.00	0.9	3.6	0.08
255.00	4.25	0.9	3.7	0.07
270.00	4.50	0.8	3.8	0.07
285.00	4.75	0.8	3.8	0.07
300.00	5.00	0.8	3.9	0.06
315.00	5.25	0.8	4.0	0.06
330.00	5.50	0.7	4.0	0.06
345.00	5.75	0.7	4.1	0.06
360.00	6.00	0.7	4.1	0.06
375.00	6.25	0.7	4.2	0.05
390.00	6.50	0.7	4.2	0.05
405.00	6.75	0.6	4.3	0.05
420.00	7.00	0.6	4.3	0.05
435.00	7.25	0.6	4.4	0.05
450.00	7.50	0.6	4.4	0.05
465.00	7.75	0.6	4.5	0.05
480.00	8.00	0.6	4.5	0.04
495.00	8.25	0.6	4.6	0.04
510.00	8.50	0.5	4.6	0.04
525.00	8.75	0.5	4.7	0.04
540.00	9.00	0.5	4.7	0.04
555.00	9.25	0.5	4.7	0.04
570.00	9.50	0.5	4.8	0.04
585.00	9.75	0.5	4.8	0.04
600.00	10.00	0.5	4.8	0.04
615.00	10.25	0.5	4.9	0.04
630.00	10.50	0.5	4.9	0.04
645.00	10.75	0.5	5.0	0.04

t (min)	t (h)	I (mm/h)	P (mm)	Pbloque (mm)
660.00	11.00	0.5	5.0	0.03
675.00	11.25	0.4	5.0	0.03
690.00	11.50	0.4	5.1	0.03
705.00	11.75	0.4	5.1	0.03
720.00	12.00	0.4	5.1	0.03
735.00	12.25	0.4	5.2	0.03
750.00	12.50	0.4	5.2	0.03
765.00	12.75	0.4	5.2	0.03
780.00	13.00	0.4	5.3	0.03
795.00	13.25	0.4	5.3	0.03
810.00	13.50	0.4	5.3	0.03
825.00	13.75	0.4	5.3	0.03
840.00	14.00	0.4	5.4	0.03
855.00	14.25	0.4	5.4	0.03
870.00	14.50	0.4	5.4	0.03
885.00	14.75	0.4	5.5	0.03
900.00	15.00	0.4	5.5	0.03
915.00	15.25	0.4	5.5	0.03
930.00	15.50	0.4	5.5	0.03
945.00	15.75	0.4	5.6	0.03
960.00	16.00	0.3	5.6	0.03
975.00	16.25	0.3	5.6	0.03
990.00	16.50	0.3	5.6	0.03
1005.00	16.75	0.3	5.7	0.03
1020.00	17.00	0.3	5.7	0.03
1035.00	17.25	0.3	5.7	0.02
1050.00	17.50	0.3	5.7	0.02
1065.00	17.75	0.3	5.8	0.02
1080.00	18.00	0.3	5.8	0.02
1095.00	18.25	0.3	5.8	0.02
1110.00	18.50	0.3	5.8	0.02
1125.00	18.75	0.3	5.9	0.02
1140.00	19.00	0.3	5.9	0.02
1155.00	19.25	0.3	5.9	0.02
1170.00	19.50	0.3	5.9	0.02
1185.00	19.75	0.3	6.0	0.02
1200.00	20.00	0.3	6.0	0.02
1215.00	20.25	0.3	6.0	0.02
1230.00	20.50	0.3	6.0	0.02
1245.00	20.75	0.3	6.0	0.02
1260.00	21.00	0.3	6.1	0.02
1275.00	21.25	0.3	6.1	0.02
1290.00	21.50	0.3	6.1	0.02
1305.00	21.75	0.3	6.1	0.02

t (min)	t (h)	I (mm/h)	P (mm)	Pbloque (mm)
1320.00	22.00	0.3	6.1	0.02
1335.00	22.25	0.3	6.2	0.02
1350.00	22.50	0.3	6.2	0.02
1365.00	22.75	0.3	6.2	0.02
1380.00	23.00	0.3	6.2	0.02
1395.00	23.25	0.3	6.2	0.02
1410.00	23.50	0.3	6.3	0.02
1425.00	23.75	0.3	6.3	0.02
1440.00	24.00	0.3	6.3	0.02

HIETOGRAMA RESULTANTE





## APÉNDICE IV.3

### PLANO SUBCUENCAS SOBRA CARTOGRAFÍA.

