Índice

1 OBJETO 2

2 METODOLOGÍA EMPLEADA 2

2.1 División de la zona de estudio 2

2.2 Caracterización de las cuencas 3

2.3 Estudios pluviométricos 3

2.4 Simulación hidrológica de las cuencas 4

1.1. Cálculo de caudales de avenida 4

3 CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS 5

3.1 División de la zona de estudio 5

3.2 Caracterización morfológica 8

3.2.1 Valores de caracterización 8

3.3 Caracterización hidrológica 9

3.3.1 Planteamiento metodológico 9

3.3.2 Características de los suelos 11

3.3.3 Cubierta vegetal y usos del suelo 11

3.3.4 Análisis de la pendiente del terreno 12

3.3.5 Cálculo del Número de Curva 12

4 ESTUDIO PLUVIOMÉTRICO 17

4.1 Precipitaciones máximas en 24 h 17

4.2 Tormenta de diseño 18

5 MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA 19

5.1 Descripción general del modelo utilizado 19

5.1.1 Estimación de la lluvia neta 20

5.1.2 Hidrograma de escorrentía superficial 21

5.1.3 Método hidrológico de propagación de hidrogramas 21

5.1.4 Especificaciones de control 21

5.1.5 Pasadas de cálculo 21

6 CÁLCULO DE CAUDALES DE AVENIDA 23

1 OBJETO

El presente estudio hidrológico, realizado tiene por objeto determinar caudales de avenida representativos en el conjunto territorial formado por las Cuencas del torrent Gros y Bàrbara., para periodos de retorno de, 50, 100, 500 años en un conjunto formado por 33 subcuencas. Para ello se ha establecido una metodología que permite establecer parámetros globales para toda la zona de estudio.

En los apartados posteriores se presenta una descripción de las actividades desarrolladas para el cumplimiento de los objetivos perseguidos que, en síntesis, han consistido en:

- **Caracterización de las cuencas implicadas**, tratando tanto aspectos morfológicos como aquellos otros relacionados con la respuesta hidrológica de las mismas frente al fenómeno de la precipitación.
- **Estudio de las precipitaciones,** considerando los estudios antecedentes existentes en la zona.
- **Simulación hidrológica de las cuencas.** Se han construido los modelos hidrológicos, basados en el programa **HEC-HMS**.
- **Cálculo de caudales de avenida:** mediante la utilización de los modelos construidos de acuerdo con lo indicado anteriormente, en función de las precipitaciones establecidas en los estudios antecedentes consultados**.**

2 METODOLOGÍA EMPLEADA.

En los apartados que siguen se expone, muy sucintamente, la metodología empleada para cada una de las actividades desarrolladas, mientras que en los apartados 3 y siguientes se incluye una descripción mucho más completa.

2.1 DIVISIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio comprende las cuencas del torrent Gros i Na Bàrbara.

Dicho territorio se ha subdivido en 33 subcuencas, con objeto de obtener regiones homogéneas que permitan su simulación.

2.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS

En la caracterización de las diferentes subcuencas, a efectos de su respuesta frente a precipitaciones de gran intensidad, se ha considerado dos tipos de parámetros: morfológicos e hidrológicos. Dentro de los primeros se han analizado los siguientes:

Superficie

Pendiente

Geología

Usos del suelo

En lo que se refiere a los parámetros estrictamente hidrológicos, que permiten establecer la relación entre precipitación total y precipitación eficaz -la que da lugar a escorrentía-, se ha utilizado la metodología desarrollada por el Soil Conservation Service del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Éste caracteriza el comportamiento hidrológico de un terreno asignándole un determinado número de curva (denominado número de curva del S.C.S.). Así, en función de las características geológicas, edafológicas, de cubierta vegetal y de uso del suelo, se han obtenido planos generales de la evolución espacial del número de curva del S.C.S. a lo largo de todo el territorio que comprende la zona de estudio. A partir de ellos se ha determinado el valor medio de este parámetro para cada una de las subcuencas consideradas.

Por otra parte, en función de la longitud de los cauces y de su pendiente media se ha establecido el tiempo de concentración (Tc) de cada subcuenca.

2.3 ESTUDIOS PLUVIOMÉTRICOS

Las características pluviométricas (fundamentalmente el hietograma de diseño y la lluvia máxima) se han obtenido del estudio que el Govern Balear realizó en 1992 para caracterizar la pluviometría en el archipiélago con el título “Estudio de caracterización del Régimen Extremo de Precipitaciones en las Islas Baleares”. Dicho estudio fue revisado y actualizado en 2003, y esta versión es la que se utiliza en los cálculos. En el apéndice 1 se puede consultar un extracto de los resultados obtenidos en este estudio.

El hietograma fue calculado utilizando la metodología de Huff, en la cual se estudian las tormentas producidas y registradas en los distintos pluviógrafos de la zona, clasificándolas en función del momento dónde se produce la máxima lluvia –en la versión original de Huff las lluvias se clasifican en cuartiles- y posteriormente creando la las distintas familias de curvas en función de la probabilidad de excedencia de la lluvia acumulada, porcentaje de precipitación y porcentaje de duración.

2.4 SIMULACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS CUENCAS

El empleo de un modelo de simulación para el cálculo de caudales de avenida es, sin lugar a dudas, el método más recomendable. Tiene las siguientes ventajas:

- Permite aprovechar todos los datos disponibles, tanto los asociados con el régimen meteorológico como los correspondientes a la respuesta hidrológica de la cuenca.
- Sólo hace uso de la estadística para tratar aquellos datos, en concreto los pluviométricos, que no pueden estudiarse con métodos determinísticos, cuyos resultados son más comprobables.
- Es posible comprobar la calidad del método a través de la comparación de sus resultados con la realidad observada.
- Permite deducir las consecuencias de cambios futuros en las características de la cuenca o de la infraestructura existente en ella.
- Proporciona como resultado el hidrograma completo de la avenida y no sólo el caudal punta. Esto es fundamental puesto que en el dimensionamiento de muchas obras y fundamentalmente en las de laminación, depende más, en muchos casos, del volumen de la crecida que dé este caudal máximo y de su distribución en el tiempo.

En el presente trabajo se ha construido un modelo basado en el programa de cálculo HEC-HMS, desarrollado y mantenido por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Ejército de los Estados Unidos y, con toda seguridad, el más empleado y comprobado en el mundo en este tipo de estudios.

La construcción del modelo se ha basado en el conjunto de datos que se refleja en apartados anteriores. La adopción de los parámetros del modelo se justifica comparando los caudales obtenidos con éste y los calculados en un estudio estadístico de aforos realizado en algunas estaciones.

CÁLCULO DE CAUDALES DE AVENIDA

Como ya se ha indicado, el cálculo de caudales de avenida se ha realizado mediante la utilización de los modelos anteriormente elaborados utilizando las precipitaciones establecidas tras el análisis pluviométrico efectuado.

3 CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS

Como fase previa al desarrollo de otros trabajos comprendidos en el estudio y fundamentalmente con vistas al establecimiento de los parámetros esenciales del modelo de simulación hidrológica, se han analizado las características morfológicas e hidrológicas de las diferentes subcuencas consideradas. Se ha procedido a través de las siguientes etapas:

- División de la zona de estudio en diferentes unidades hidrológicas, con objeto de obtener regiones homogéneas que permitan su modelización.
- Cálculo de los parámetros morfológicos fundamentales correspondientes a las unidades anteriores: superficie, longitud, desnivel, pendiente, tiempo de concentración, etc.
- Estudio de los parámetros hidrológicos que ligan precipitación con escorrentía –por medio de la precipitación eficaz-.

3.1 DIVISIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La división del territorio se ha llevado a cabo intentando que las subcuencas tengan unas superficies y longitudes homogéneas.

Los criterios establecidos para efectuar la subdivisión se han basado en obtener un área mínima de 1 km^2 y una longitud de cauce mínima de 1 km.

Como resultado, se han obtenido 33 cuencas -25 del Torrent Gros y 8 del Bàrbara- en una capa GIS, tal y como se puede observar en la figura siguiente.

Figura 1. Distribución de cuencas del torrente Gros

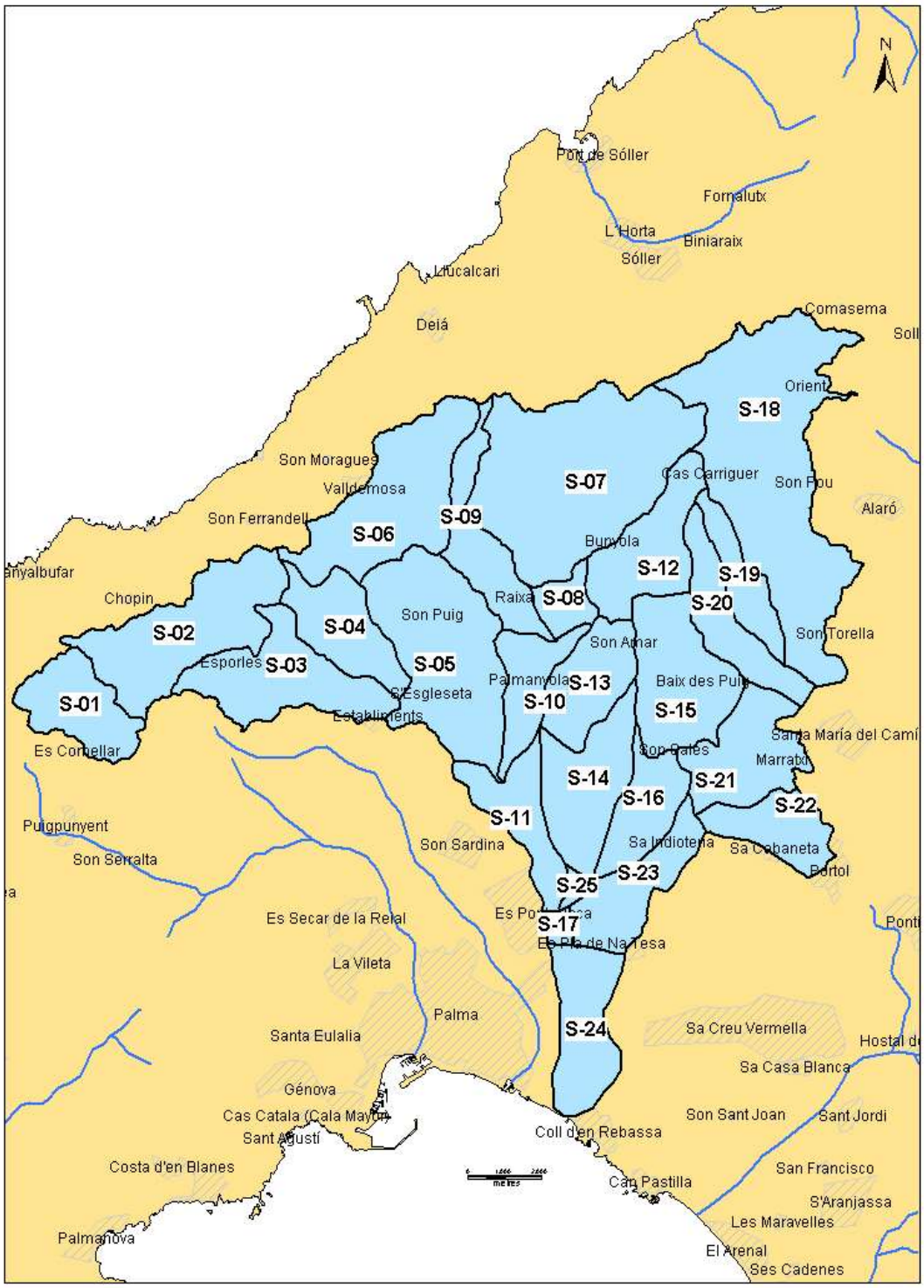
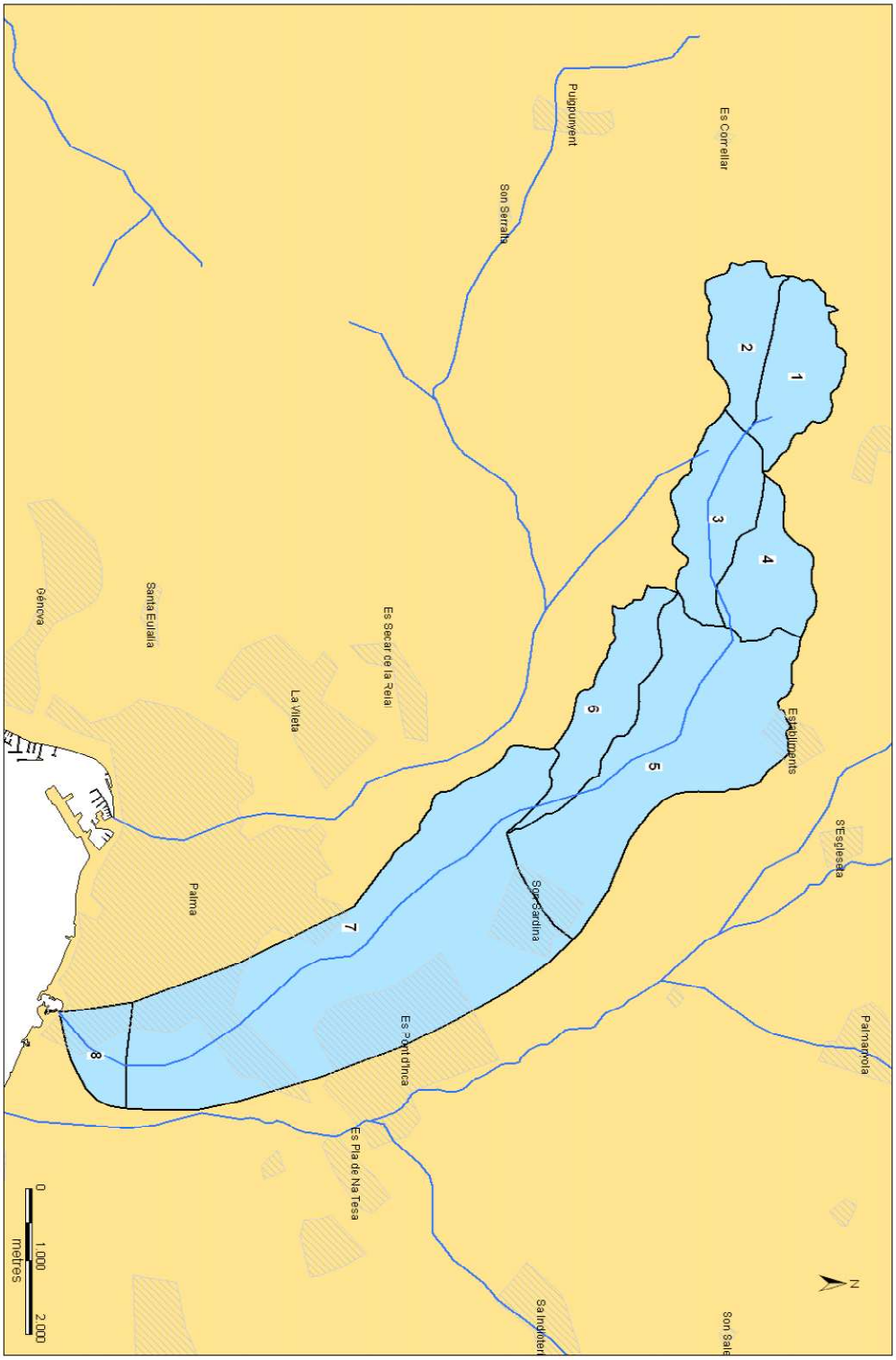


Figura 2. Distribución de las cuencas del torrente Bàrbara.



3.2 CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA

3.2.1 VALORES DE CARACTERIZACIÓN

Las características morfológicas de las subcuencas que se han obtenido son las que se necesitarán posteriormente en el modelo hidrológico:

- La **superficie** se obtiene mediante herramientas GIS del mapa de cuencas creado.
- La **longitud** de los tramos se ha obtenido nuevamente mediante herramientas GIS.
- El **desnivel** de los tramos objeto del estudio.

Partiendo de estas características se obtienen la pendiente de la cuenca y el tiempo de concentración.

Para determinar el tiempo de concentración (Tc) de cada subcuenca se ha considerado la fórmula propuesta por Témez en las Recomendaciones para el Cálculo Hidrometeorológico de Avenidas del CEDEX, cuyas expresiones matemáticas son:

$$Tc = 0{,}30\left(\frac{L}{J^{0{,}25}}\right)^{0{,}76}$$ (Fórmula de Témez para cuencas rurales)

$$Tc = \frac{1}{1+\sqrt{\mu(2-\mu)}}\,0{,}30\left(\frac{L}{J^{0{,}25}}\right)^{0{,}76}$$ (Fórmula de Témez para cuencas urbanizadas)

$$Tc = \frac{1}{1+3\sqrt{\mu(2-\mu)}}\,0{,}30\left(\frac{L}{J^{0{,}25}}\right)^{0{,}76}$$ (Fórmula de Témez para cuencas urbanas)

en las que:

T_c = Tiempo de concentración, en horas

L = Longitud de la cuenca (km).

H = Desnivel entre cabecera y punto de desagüe de la cuenca (m).

J = Pendiente media del cauce principal (m/m).

μ = Grado de urbanización de la cuenca expresado en tanto por uno.

Los resultados numéricos obtenidos en cada subcuenca se muestran en las tablas siguientes.

Tabla nº 1 Características morfológicas de las cuencas del Torrent Gros

SUBCUENCA Nº	AREA ha	LONGITUD (m)	J (m/m)	COTA INICIO (m)	COTA FIN (m)	Tc (horas)
1	624.68	4070	0.08476658	650.00	305	1.39
2	1230.72	4416	0.02490942	305.00	195	1.87
3	956.88	5587	0.01378199	195.00	118	2.50
4	632.82	5285	0.14418165	880.00	118	1.54
5	1560.01	7736	0.04007239	380.00	70	2.62
6	1272.39	5992	0.10764352	880.00	235	1.79
7	2327.97	6691	0.09938724	810.00	145	1.97
8	223.48	2361	0.04362558	230.00	127	1.05
9	619.00	7987	0.09302617	870.00	127	2.29
10	456.62	4570	0.01247265	127.00	70	2.19
11	546.98	4091	0.00757761	70.00	39	2.21
12	760.76	6100	0.09213115	710.00	148	1.87
13	600.23	4372	0.01440988	148.00	85	2.06
14	817.10	3658.24	0.0374497	185.00	48	1.50
15	959.43	5008	0.0409345	290.00	85	1.87
16	515.82	4393	0.00842249	85.00	48	2.29
17	68.42	1008	0.00892857	39.00	30	0.74
18	2649.51	12056	0.06594227	930.00	135	3.34
19	380.67	5605	0.08652988	620.00	135	1.77
20	562.78	5894	0.03770614	817.24	595	2.15
21	769.58	4699	0.14731645	817.24	125	1.40
22	492.99	7873	0.07839959	817.24	200	2.33
23	616.45	5975	0.12171381	817.24	90	1.74
24	336.16	2643	0.29785849	817.24	30	0.79
25	52.62	2643	0.00340522	48.00	39	1.85

Tabla nº 2 Características morfológicas de las cuencas del Torrent Bàrbara

SUBCUENCA Nº	AREA km2	LONGITUD (m)	J (m/m)	COTA INICIO (m)	COTA FIN (m)	Tc (horas)
1	2.04	1950	0.29627692	817.24	239.5	0.63
2	1.58	2356	0.25137946	831.75	239.5	0.75
3	1.85	1534	0.20664928	460	143	0.56
4	2.29	3011	0.11802723	498.38	143	1.04
5	7.15	4164	0.05674832	306.3	70	1.53
6	2.08	4054	0.02695116	179.26	70	1.73
7	13.35	6106	0.01023583	71.5	9	2.11
8	1.01	1157	0.00969749	11.22	0	0.74

3.3 CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

3.3.1 PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

El segundo grupo de parámetros, esencial para la caracterización de las cuencas -a efectos del modelo de simulación-, está relacionado con su comportamiento hidrológico. Tales parámetros

permiten calcular la escorrentía superficial -o precipitación eficaz- en relación con la lluvia total. De los distintos métodos habituales para representar el comportamiento hidrológico del terreno se ha elegido el del número de curva, propuesto por el Soil Conservation Service del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Se ha optado por dicha opción teniendo en cuenta que:

- Es uno de los métodos más utilizados y cuenta con una amplia información bibliográfica que permite establecer correlaciones fiables que ligan las características de un determinado terreno en función de su tipo de suelo, cubierta vegetal, uso al que se destina, condiciones hidrológicas y condiciones antecedentes de humedad, con el valor del número de curva del S.C.S. que le corresponde.
- Parte de suponer un comportamiento hidrológico del complejo suelo-vegetación variable a lo largo de la tormenta, de manera que el coeficiente de escorrentía vaya aumentando en paralelo con el grado de saturación del terreno. Evidentemente, este planteamiento está más cerca de la realidad que el de otros métodos en que este coeficiente es constante.

Los elementos esenciales del método del número de curva del S.C.S., que permite cuantificar la intercepción, la retención, la infiltración y, finalmente, la escorrentía, son la permeabilidad del suelo -dependiente sobre todo de sus características litológicas y edafológicas- y las características de la cubierta vegetal, esencialmente la vegetación y uso al que se destina el terreno. En los apartados que siguen se tratan sucesivamente estos aspectos.

Por otra parte, resulta también esencial, para la aplicación del método en una tormenta dada, el conocimiento del estado de la saturación del suelo al inicio de dicha tormenta, a cuyos efectos se consideran tres condiciones características, denominadas respectivamente tipo I, II y III. De ellas, la condición I, equivalente a un suelo muy seco, no es en absoluto habitual en estudios de avenidas, ya que reduce extraordinariamente el coeficiente de escorrentía, situando los coeficientes del lado de la inseguridad. Por ello, el análisis se ha centrado en las condiciones II y III, medio y húmedo respectivamente (tabla nº3).

Tabla nº 3. Condiciones antecedentes de humedad del S.C.S.

Condición	Precipitación total (mm) en los cinco días anteriores	
	Estación de latencia	Estación de crecimiento
I seco	$PT \leq 13$	$PT \leq 36$
II medio	$13 \leq PT \leq 28$	$36 \leq PT \leq 53$
III húmedo	$PT \geq 28$	$PT \geq 53$

3.3.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS

Desde el punto de vista de su comportamiento hidrológico, el método del número de curva del S.C.S. considera cuatro tipos de sustrato distintos, según su grado de permeabilidad:

- **Suelos Tipo A:** Agrupa los sustratos permeables, es decir con un potencial de escorrentía mínimo.
- **Suelos Tipo B:** Sustratos algo menos permeables que los del tipo anterior y, por lo tanto, con un mayor potencial de escorrentía.
- **Suelos Tipo C:** Sustratos que varían entre límites menos permeables a algo impermeables, con un potencial de escorrentía entre valores medio y alto.
- **Suelos Tipo D:**Agrupa los sustratos con mayor impermeabilidad y, por tanto, mayor potencial de escorrentía.

La delimitación de los distintos tipos de suelo se cataloga mediante los tipos de enumerados anteriormente.

3.3.3 CUBIERTA VEGETAL Y USOS DEL SUELO

Otro aspecto a tener en cuenta, a la hora de obtener el número de curva del S.C.S., es el tipo de cubierta del suelo y el uso al que se destina, habiéndose partido, en relación con estas cuestiones, de la información contenida en el Mapa de Clasificación de usos del suelo.

De acuerdo con la metodología propuesta por el S.C.S. a la hora de determinar el número de curva de un determinado terreno, se deben tener en cuenta los siguientes usos del suelo:

- Cultivos en hilera
- Cereales de invierno
- Rotación de cultivos pobres
- Rotación de cultivos densos
- Praderas (tipo medio)
- Plantaciones regulares (tipo medio)
- Masas forestales (tipo medio)
- Rocas permeables
- Aparcamientos pavimentados y asimilados
- Suelo residencial impermeable al 65 %
- Suelo residencial impermeable al 25 %
- Explotaciones minerales

Además, para determinados tipos de uso agrario se pueden distinguir diversas alternativas en lo que se refiere a forma de plantación o cultivo: mediante terrazas, en líneas de nivel, en surcos, etc.

3.3.4 ANÁLISIS DE LA PENDIENTE DEL TERRENO

El último factor que tiene incidencia en el número de curva de infiltración de un determinado territorio es la pendiente del terreno, considerándose al respecto dos clases diferentes: pendiente inferior o superior al 3%.

3.3.5 CÁLCULO DEL NÚMERO DE CURVA

La obtención del mapa de evolución del número de curva del S.C.S. en la zona de estudio se obtiene, a partir de los mapas de suelo, usos del suelo y de pendientes anteriormente descritos, aplicando los valores contenidos en la tabla nº 5, de triple entrada. Dichos valores corresponden a la condición antecedente de humedad II. Este cuadro se ha obtenido a partir de las Recomendaciones para el Cálculo Hidrometeorológico de Avenidas del CEDEX.

Tabla nº 5. Valores medios del CN del S.C.S.

Uso de la tierra	Pendiente %	Características hidrológicas	Grupo de suelo			
			A	B	C	D
Cultivos en hilera	>=3	R	68	79	86	89
		N	67	76	82	86
	<3	R/N	64	72	78	82
Cereales de invierno	>=3	R	63	75	83	86
		N	61	72	81	83
	<3	R/N	60	70	78	81
Rotación de cultivos pobres	>=3	R	66	77	85	89
		N	64	75	82	86
	<3	R/N	63	72	79	83
Rotación de cultivos densos	>=3	R	57	71	81	85
		N	54	68	78	82
	<3	R/N	52	67	76	79
Praderas	>=3	Pobre	68	78	86	89
		Media	49	68	78	85
		Buena	42	60	74	79
		Muy buena	38	55	69	77
	<3	Pobre	46	67	81	88
		Media	38	59	75	83
		Buena	29	48	69	78
		Muy buena	17	33	67	76
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	>=3	Pobre	45	64	77	83
		Media	38	60	72	78
		Buena	33	54	69	77
	<3	Pobre	40	60	72	78
		Media	34	54	69	77
		Buena	25	38	67	74
Masas forestales (bosque, monte bajo, etc.)		Muy clara	56	75	86	91
		Clara	45	68	78	83
		Media	40	60	69	76
Masas forestales (bosque, monte bajo, etc.)		Espesa	36	52	62	68
		Buena	29	43	54	60
Zonas permeables	>= 3		94			
	< 3		91			
Zonas impermeables	>= 3		96			
	< 3		93			
Residencial al 65% impermeable	>= 3		77	85	90	92
	< 3		77	85	90	92
Residencial al 25% impermeable	>= 3		54	70	80	85
	< 3		54	70	80	85
Aprovechamientos mineros	>= 3		51	68	79	84
	< 3		51	68	79	84

Por último, se ha procedido al cálculo del valor medio del número de curva en cada una de las subcuencas de cálculo, tanto en condición antecedente de humedad II, por integración de los

valores puntuales de cada una de las celdas que integran cada subcuenca, tal y como se puede observar en las figuras siguientes por otro lado, en las tablas 6 y 7 se especifican los valores obtenidos en cada subcuenca.

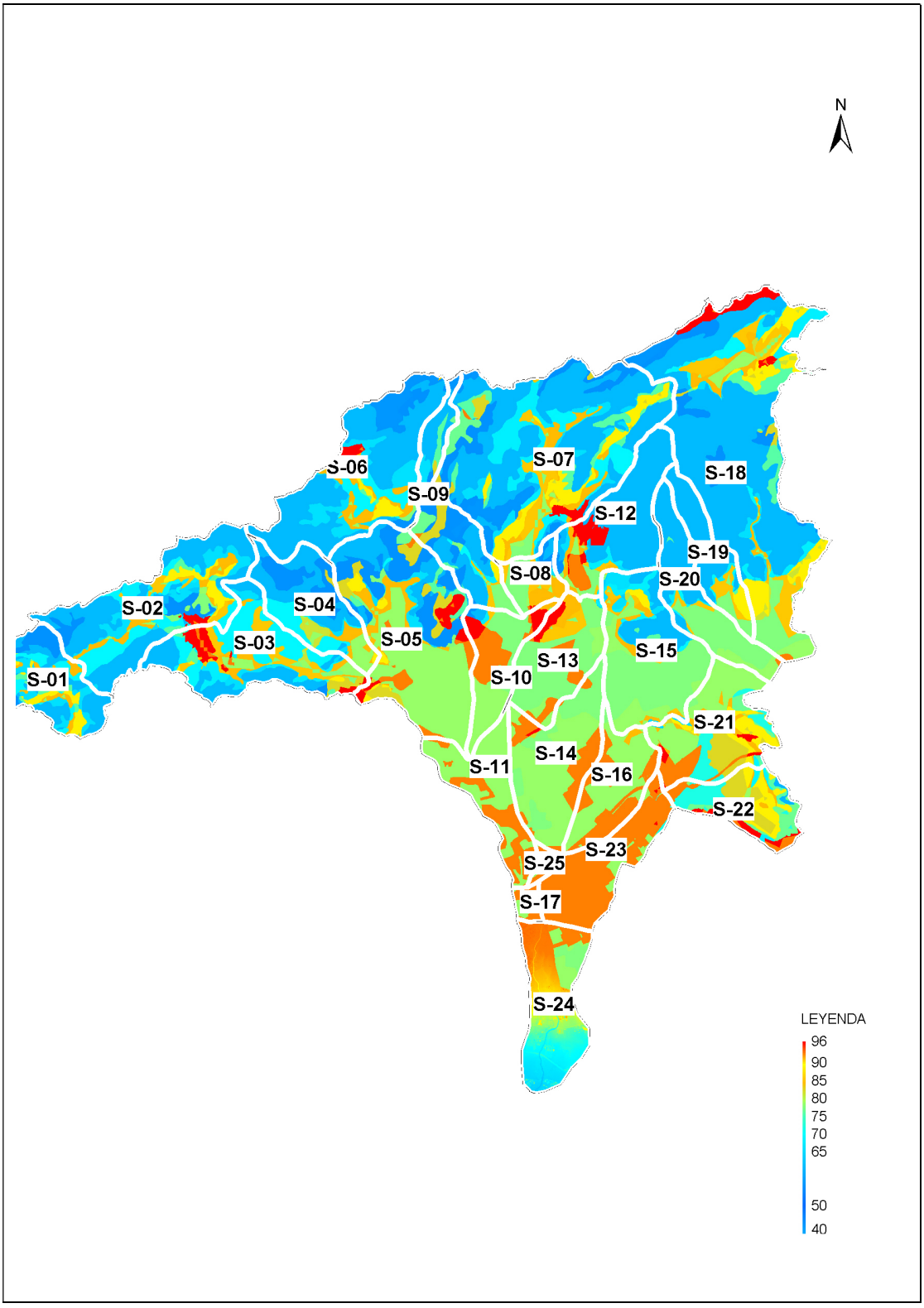


Figura 3. Distribución del número de curva para el torrente Gros

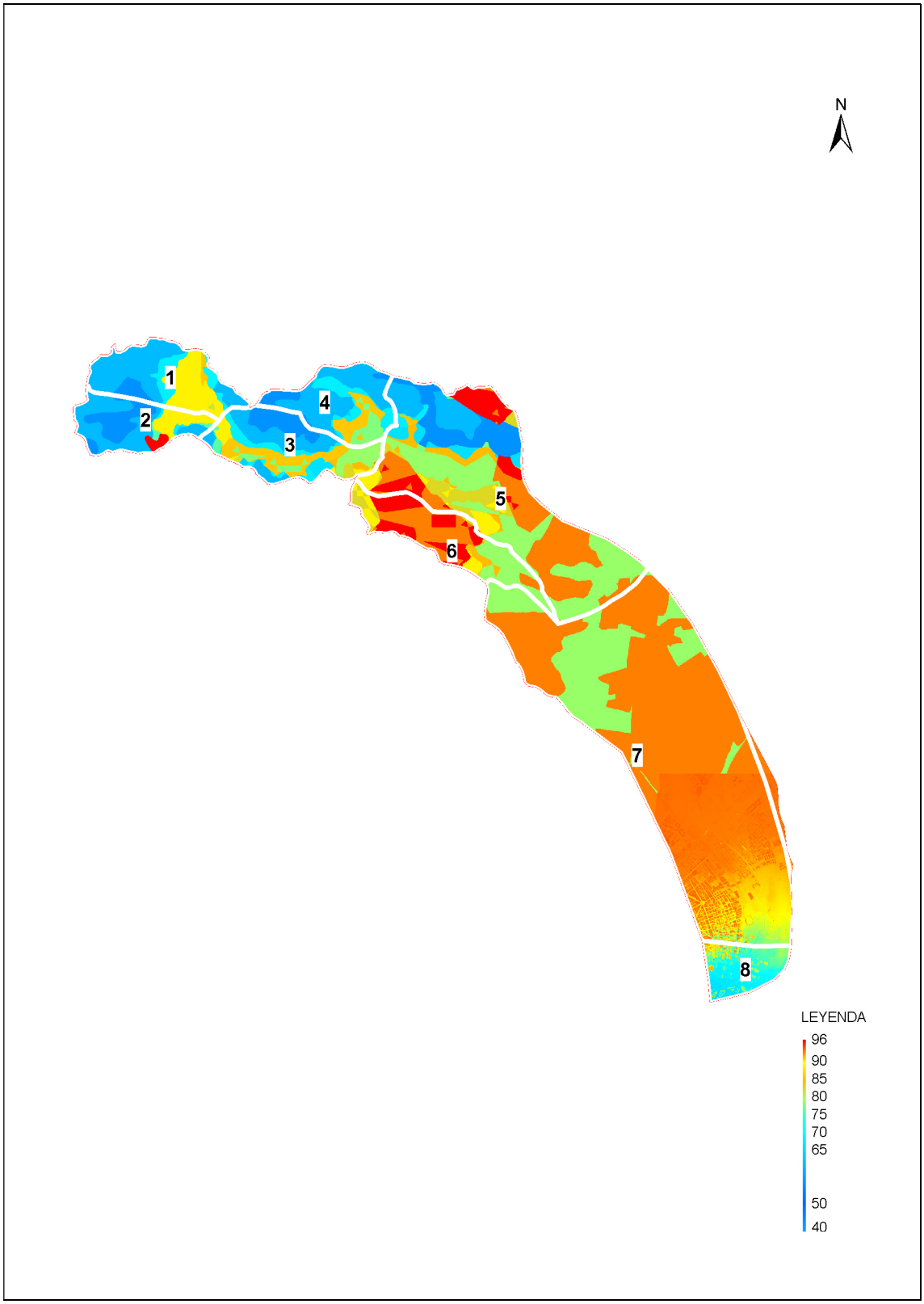


Figura 4. Distribución del número de curva para el torrente Bàrbara

Tabla nº 6 Numero de curva para el Torrent Gros

SUBCUENCA Nº	NC Nº Curva
1	57.41
2	56.47
3	69.29
4	52.92
5	69.34
6	54.90
7	57.88
8	71.45
9	56.76
10	81.20
11	83.38
12	51.66
13	81.77
14	81.47
15	68.43
16	84.05
17	88.27
18	58.38
19	53.35
20	59.17
21	81.13
22	80.47
23	91.59
24	84.51
25	88.40

I

Tabla nº 7 Numero de curva para el Torrent Bàrbara

SUBCUENCA Nº	NC Nº Curva
1	56.26
2	56.90
3	51.00
4	60.08
5	76.05
6	89.28
7	89.70
8	92.72

4 ESTUDIO PLUVIOMÉTRICO

4.1 PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H

Los datos de precipitación máxima en 24 horas se han obtenido del estudio pluviométrico regional de las islas Baleares que detalla el apartado 2.3

A partir de éstos, se ha calculado el promedio de precipitación para cada período de recurrencia y para cada una de las subcuencas, obteniendo los resultados de la siguiente tabla.

Tabla nº 8 Lluvia máxima de 24 horas para el Torrent Gros.

	T=50 años	T=100 años	T=500 años
Subcuenca	Pd mm	Pd mm	Pd mm
1	177.77	201.44	261.22
2	186.55	214.02	283.73
3	191.31	219.61	293.45
4	208.87	240.50	322.46
5	190.13	217.50	287.76
6	230.58	262.55	344.01
7	225.44	255.22	334.15
8	157.61	177.18	228.40
9	214.21	242.19	316.58
10	147.50	166.36	214.54
11	117.08	130.76	166.45
12	160.57	180.70	234.16
13	132.53	148.56	189.29
14	113.90	126.84	159.51
15	120.37	134.00	168.31
16	103.14	114.11	141.37
17	96.49	106.41	130.50
18	172.14	193.35	248.35
19	139.17	155.16	196.19
20	128.83	143.31	180.76
21	101.21	111.28	136.07
22	92.04	101.24	122.15
23	95.05	104.57	128.14
24	91.07	104.57	122.01
25	99.26	109.74	135.69

Tabla nº 9. Lluvia máxima de 24 horas para el Torrent Bàrbara.

	T= 50 años	T= 100 años	T= 500 años
subcuenca	Pd mm	Pd mm	Pd mm
1	175.659	200.946	264.431
2	169.122	192.784	251.872
3	164.034	187.293	245.492
4	173.506	198.808	262.443
5	144.218	163.787	212.353
6	133.815	151.243	194.131
7	100.412	111.424	137.721
8	88.4494	97.403	118.57

4.2 TORMENTA DE DISEÑO

De la misma forma que para las precipitaciones máximas, el hietograma de diseño se ha extraido del estudio pluviométrico referenciado en el apartado 2.3.

En este estudio se caracterizaron las lluvias de distintos pluviográfos existentes en la zona y se obtuvieron distintas distribuciones de lluvias para eventos de corta y larga duración. (Apéndice 1).

Para el presente estudio se ha utilizado la distribución correspondiente a los eventos de corta duración, inferiores a 6 horas y una probabilidad de suceso de lluvia acumulada del 50 %, el histograma que la representa se puede observar en la figura siguiente.

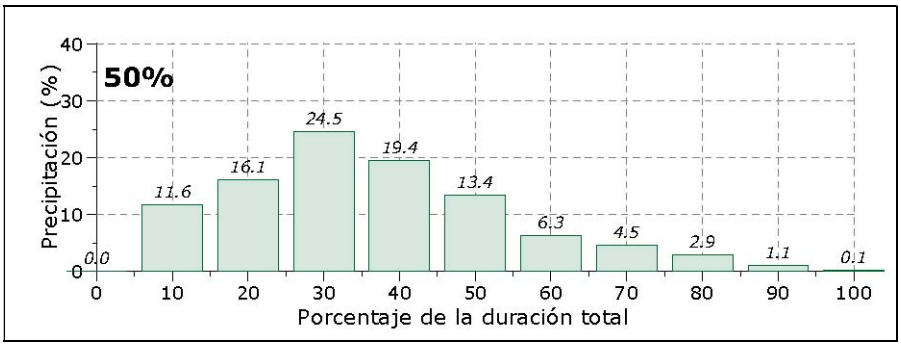


Figura 5. Histograma de distribución de la lluvia acumulada del 50 %

5 MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA

5.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO UTILIZADO

La modelización hidrológica se ha llevado a cabo mediante la aplicación de un modelo de simulación del proceso de precipitación-escorrentía, basado en el programa HEC-HMS, desarrollado por el centro de ingeniería hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de la armada de los EE.UU.

El programa está diseñado para simular la respuesta de una cuenca a la precipitación, determinando dicha respuesta a través de una combinación de mecanismos hidráulicos e hidrológicos interconectados. Cada uno de estos mecanismos constituye uno de los componentes del programa y se refiere a un aspecto del proceso precipitación-escorrentía. Cada componente requiere la definición de un conjunto de parámetros que especifican sus características particulares, así como las relaciones matemáticas que describen los procesos físicos que tienen lugar. El resultado final consiste en la obtención del hidrograma en los puntos en que interesa su conocimiento.

La cuenca total se simula a través de un conjunto de zonas interconectadas, de tal forma que cada una puede representarse a través de parámetros que reflejan sus condiciones medias.

En síntesis, los procesos que tiene en cuenta el programa son:

- **Generación de escorrentía.** Para lo que resulta necesario definir el hietograma de la tormenta de cálculo, que es el dato de entrada para la determinación de la escorrentía en una subcuenca parcial. La escorrentía superficial se obtiene sustrayendo del volumen total precipitado -en cada intervalo de tiempo- los volúmenes derivados de los efectos de infiltración, retención e intercepción. Esta escorrentía unitaria se convierte en el hidrograma generado por cada subcuenca a partir de la aplicación de las técnicas correspondientes al hidrograma unitario. No se han tenido en cuenta los caudales provenientes de infiltración devuelta al cauce en la obtención del hidrograma, ni las pérdidas por evapotranspiración en la obtención de la lluvia neta.

- **Propagación de hidrogramas generados a través de los cauces.** Los hidrogramas parciales de las diferentes subcuencas pueden sumarse, para simular las confluencias, o modificarse, para tener en cuenta los efectos de la propagación a lo largo de los cauces, para lo que pueden utilizarse diferentes técnicas, tales como el método de la onda cinemática, el de Muskingum, etc.

Con el mencionado programa se han construido 2 modelos (tabla nº 10). Las distribuciones topológicas de los ríos principales se adjuntan en el informe (ver figuras nº 5 y nº 6), corresponden con la subdivisión en subcuencas consideradas en apartados precedentes.

Tabla nº 10. Nombre modelos HEC-HMS

Cuenca	Nombre modelo
Torrent Gros	T_Gros
Torrent Bàrbara	T_Barbera

5.1.1 ESTIMACIÓN DE LA LLUVIA NETA

Para la obtención de la lluvia neta se ha empleado el método del Soil Service Conservation (S.C.S.), que asume la existencia de un umbral de escorrentía (Po), por debajo del cual las precipitaciones no provocan escorrentía.

La ecuación básica que define la relación precipitación-escorrentía en el método del S.C.S. es la siguiente:

$$\frac{R}{S} = \frac{E}{P - Po}$$

siendo S la máxima retención posible, E la parte de la precipitación que produce escorrentía, R la parte de precipitación retenida, P la precipitación y Po el umbral de escorrentía.

La precipitación retenida en cada instante se define como:

$$R = (P - Po) - E$$

El umbral de escorrentía Po (mm) se estima a través de la siguiente expresión:

$$Po = \frac{5000}{CN} - 50$$

siendo CN el número de curva cuya obtención se ha expuesto en apartados anteriores.

La máxima retención posible S, obtenida de análisis empíricos realizados por el S.C.S es:

$$Po = 0{,}2 \cdot S$$

5.1.2 HIDROGRAMA DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Para la obtención del hidrograma de escorrentía superficial se ha empleado el hidrograma unitario del SCS, este hidrograma está indicado para cuencas de pequeña superficie, como las que son objeto del presente estudio.

Para la determinación de este hidrogrma es necesario la determinación del tiempo de retardo, el cual se define como 0,6 * TC .

5.1.3 MÉTODO HIDROLÓGICO DE PROPAGACIÓN DE HIDROGRAMAS

En lo que concierne a la propagación de una avenida a lo largo de un cauce, se ha empleado el modelo de **Muskingum**. El citado modelo requiere la estimación de un tiempo de recorrido de la onda de avenida para cada uno de los subtramos en que se divide el cauce y un factor de amortiguamiento del caudal circulante.

5.1.4 ESPECIFICACIONES DE CONTROL

Las especificaciones de control establecen la duración de la simulación y el intervalo de tiempo de cálculo.

En todos los modelos se ha establecido un control con los siguientes datos:

Hora de inicio: 0:00

Hora de finalización: 24:00

Intervalo de cálculo: 5 minutos

5.1.5 PASADAS DE CÁLCULO

Se han confeccionado diferentes juegos de pasadas, en función del periodo de retorno y del factor reductor correspondiente.

Este factor de corrección viene dado por las distintas correcciones que se deben realizar:

Coeficiente de paso de P24 a Pd = 1,13

Coeficiente de P24 a P6 = 0,68

Coeficiente de simultaneidad = 0,85

Una pasada se define por una cuenca, un periodo de retorno y una especificación de control.

6 CÁLCULO DE CAUDALES DE AVENIDA

El cálculo de caudales de avenida, para los periodos de retorno indicados en apartados precedentes, se ha efectuado utilizando el programa HEC-HMS, utilizando los modelos construidos según lo indicado en el punto 5.

Como resumen de lo expuesto en este punto, la tabla nº 11 muestra los parámetros adoptados en todos los modelos.

Tabla nº 11. Resumen parámetros modelos HEC-HMS

Proceso	Método	Valor
Precipitación	Precipitaciones máximas diarias	
Estimación de la lluvia neta	Soil Conservation Service	Variable entre CN II
Hidrograma de escorrentía superficial	Hidrograma unitario de SCS	T_c fórmula de Témez
Propagación de hidrogramas	Muskingum	K y x específicos para cada cuenca
Duración de la lluvia		6 horas
Hietograma	Método de Huff	
Especificaciones de control		Simulación: 24 horas de duración Intervalo de cálculo: 5 minutos

En cada modelo se ha creado un juego de pasadas para cada uno de los periodos de retorno considerados en el estudio y para cada uno de los factores reductores.

Los resultados obtenidos en la fase de simulación se resumen en las tablas nº 12 a nº 13, que recogen los caudales y volúmenes en los distintos elementos de los modelos. El significado de las abreviaturas es el siguiente:

Q_x = Caudal máximo (m^3/s) para un periodo de retorno de x años.

V_x = Volumen total de avenida (hm^3) para un periodo de retorno de x años.

Tabla nº 12. Resultados Torrente Gros

		TIEMPO DE RECURRENCIA					
		50 años		100 años		500 años	
CUENCA	AREA km2	Q(m3/s) 50	V (hm3)	Q(m3/s)100	V (hm3)	Q(m3/s)500	V (hm3)
S-01	6.2468	13.3	0.14	17.6	0.19	30	0.34
S-02	12.307	26.5	0.30	35.9	0.42	62.7	0.77
S-03	9.5688	34.6	0.47	43.7	0.60	69	0.97
S-04	6.3282	15.2	0.17	20.8	0.23	37.7	0.44
S-05	15.6	55.2	0.75	69.4	0.96	107.9	1.54
S-06	12.724	40.8	0.47	53.2	0.63	88.1	1.09
S-07	23.28	79.3	0.96	101	1.24	163.6	2.09
S-08	2.2348	7.5	0.08	9.2	0.10	13.8	0.16
S-09	6.19	17.4	0.22	22.4	0.28	37	0.48
S-10	4.5662	16.8	0.23	20.1	0.28	28.7	0.40
S-11	5.4698	15.2	0.21	18.1	0.25	25.6	0.36
S-12	7.6076	8.1	0.08	11.4	0.12	21.4	0.25
S-13	6.0023	19.4	0.26	23.1	0.31	32.7	0.45
S-14	8.171	22	0.27	26.2	0.32	37	0.47
S-15	9.5943	14.6	0.17	18.4	0.22	28.8	0.35
S-16	5.1582	12	0.16	14.1	0.19	19.4	0.27
S-17	0.68422	2.1	0.02	2.3	0.03	3.1	0.04
S-18	26.495	43.1	0.60	56.2	0.79	94	1.37
S-19	3.8067	3.1	0.03	4.3	0.04	7.9	0.09
S-20	5.6278	5.4	0.06	7.2	0.08	12.5	0.15
S-21	7.6958	17	0.20	20	0.24	27.5	0.34
S-22	4.9299	7.9	0.10	9.4	0.12	12.9	0.17
S-23	6.1645	18.7	0.25	21.1	0.29	27.2	0.38
S-24	3.3616	7.9	0.09	9.8	0.11	12.3	0.14
S-25	0.52619	1.5	0.02	1.7	0.02	2.2	0.03
Tramo 1	6.2468	12.9	0.14	17	0.19	28.8	0.34
Tramo 2	18.5538	33.3	0.45	45	0.61	78.8	1.11
Tramo 3	12.724	38.6	0.47	50.4	0.63	83.6	1.09
Tramo 4	34.4508	57.1	1.08	76.2	1.45	131.3	2.53
Tramo 5	31.7048	92.8	1.26	118.6	1.63	193.4	2.73
Tramo 6	23.28	77.6	0.96	99	1.24	160.4	2.09
Tramo 7	99.0458	199.8	3.79	260.1	4.95	433.3	8.29
Tramo 8	36.5334	47.7	0.94	57.8	1.16	85.3	1.78
Tramo 9	13.6099	19.2	0.34	23.3	0.43	36.9	0.69
Tramo 10	7.6076	7.7	0.08	10.8	0.12	20.6	0.25
Tramo 11	9.5943	14	0.17	17.6	0.22	27.6	0.35
Tramo 12	141.57519	222.1	4.96	289.2	6.38	482.3	10.45
Tramo 13	48.5552	46.2	0.99	60.8	1.28	103.5	2.12
Tramo 14	35.9295	47.5	0.69	62.5	0.92	106	1.61
Tramo 15	30.3017	45.3	0.63	59.3	0.84	100	1.46
Tramo 16	200.34071	255.1	6.31	333.3	8.09	559.7	13.13
J-1	18.5538	34.5	0.45	46.7	0.61	81.5	1.11
J-2	34.4508	57.9	1.08	77.3	1.45	133.1	2.53
J-3	31.7048	96.2	1.26	122.8	1.63	199.7	2.73
J-4	99.0458	204.9	3.79	266.6	4.95	443.9	8.29
J-5	13.6099	19.6	0.34	23.5	0.43	37.3	0.69
J-6	36.5334	48.1	0.94	58.4	1.16	86	1.78
J-7	141.57519	223.6	4.96	291.1	6.38	485.5	10.45
J-8	35.9295	49.4	0.69	64.8	0.92	109.6	1.61
J-9	48.5552	48.1	0.99	63.2	1.28	107.2	2.12
J-10	200.34071	259.4	6.31	339.2	8.09	569.6	13.13
desembocadura	200.34071	255.1	6.31	333.3	8.09	559.7	13.13

Tabla nº 13. Resultados Torrente Bàrbara

		TIEMPO DE RECURRENCIA					
		50 años		100 años		500 años	
CUENCA	AREA km2	Q(m3/s)	V (hm3)	Q(m3/s)	V (hm3)	Q(m3/s)	V (hm3)
S-1	2.043335	2.1	0.02	3.00	0.03	5.7	0.05
S-2	1.576991	2.1	0.02	3.00	0.03	5.4	0.05
S-3	1.84765	2.8	0.02	4.10	0.04	7.9	0.08
S-4	2.291732	4.9	0.05	6.70	0.07	11.4	0.12
S-5	7.148689	29.8	0.37	36.50	0.45	53.8	0.69
S-6	2.080659	12.8	0.18	15.00	0.21	20.5	0.29
S-7	13.348401	31.4	0.44	36.00	0.51	46.7	0.67
S-8	1.006565	3.7	0.05	4.20	0.05	5.3	0.07
J-1	7.759708	11.5	0.11	15.90	0.16	28.8	0.31
J-2	16.989056	42.8	0.66	52.20	0.83	77.6	1.29
J-3	30.337457	51.5	1.10	61.90	1.34	88.9	1.97
Tramo-1	3.620326	4.1	0.04	5.90	0.06	10.9	0.11
Tramo-2	7.759708	10.7	0.11	14.90	0.16	26.7	0.31
Tramo-3	16.989056	40.2	0.66	49.40	0.83	74.5	1.29
Tramo-4	30.337457	50.9	1.10	61.30	1.34	88.1	1.97
Desembocadura	31.344022	50.9	1.15	61.30	1.39	88.2	2.04