



ANEJO 1.1. CÁLCULOS HIDROLÓGICOS

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

1.2. Objeto y alcance del estudio

2. DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

3. CÁLCULO DE AVENIDAS

3.1. Situación Normal de Explotación (N.M.N.)

3.2. Situación Accidental o de Proyecto (N.A.P.)

3.3. Situación Extrema (N.A.E.)

- *Figura 7. Hidrograma Sot.*
- *Figura 8. Hidrograma Loriguilla-Sot.*
- *Figura 9. Hidrograma Castellana.*
- *Figura 10. Hidrograma Aceña.*
- *Figura 11. Hidrograma Castellana-Aceña.*
- *Figura 12. Hidrograma Turia-Escarihuela.*
- *Figura 13. Hidrograma Escarihuela.*
- *Figura 14. Hidrograma Turia-Captación.*
- *Figura 15. Hidrograma de entrada T=100 años.*

ÍNDICE DE TABLAS

- *Tabla 1. Avenidas recomendadas para el diseño. Categoría C.*
- *Tabla 2. Subcuencas hidrográficas.*
- *Tabla 3. Caudales medios mensuales del río Turia. CEDEX.*
- *Tabla 4. Coordenadas del punto de ubicación del azud de derivación.*
- *Tabla 5. Características de las subcuencas hidrográficas 1.*
- *Tabla 6. Factor de amplificación. Dirección General de Carreteras.*
- *Tabla 7. Características de las subcuencas hidrográficas 2.*
- *Tabla 8. Características de las subcuencas hidrográficas 3.*
- *Tabla 9. Características de las subcuencas hidrográficas 4.*
- *Tabla 10. Umbral de Escorrentía. Instrucción de Carreteras 5.2. IC.*
- *Tabla 11. Características de las subcuencas hidrográficas 5.*
- *Tabla 12. Características de las subcuencas hidrográficas 6.*
- *Tabla 13. Características de las subcuencas hidrográficas 7.*
- *Tabla 14. Valores pico del hidrograma de entrada para T= 100 años.*

ÍNDICE DE FIGURAS

- *Figura 1. Subcuencas hidrográficas.*
- *Figura2. Distribución de los caudales medios mensuales y caudal medio anual del río Turia. CEDEX.*
- *Figura 3. Mapa de Isolíneas.*
- *Figura 4. Mapa de Isolíneas de la región de la Península Ibérica.*
- *Figura 5. Mapa del Coeficiente Corrector del umbral de Escorrentía. Instrucción de Carreteras 5.2. IC.*
- *Figura 6. Hidrograma Loriguilla.*

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

Este Anejo de Cálculos Hidrológico constituye uno de los tres anejos adjuntos a la memoria de la Parte 1, el resultado de los cálculos hidrológicos que se llevan a cabo en este apartado del proyecto es determinante en el dimensionamiento de la azud de derivación.

1.2. Objeto y alcance del estudio

El objeto de estudio de esta sección es el cálculo de los caudales para los periodos de retorno de las situaciones exigidas para el diseño y comprobación de presas.

AVENIDAS RECOMENDADAS PARA EL DISEÑO		
PERÍODO DE RETORNO EN AÑOS		
CATEGORÍA DE LA PRESA	AVENIDA DE PROYECTO	AVENIDA EXTREMA
C	100	100-500

Tabla 1. Avenidas recomendadas para el diseño. Categoría C.

El alcance de este trabajo abarca:

- Obtención del caudal medio del río Turia
- Cálculo de las precipitaciones para las distintas situaciones de cálculo.
- Descripción de las subcuencas hidrográficas para determinar el caudal punta y tiempo de concentración en cada una de ellas para las distintas situaciones de cálculo.
- Obtención de los caudales de diseño para el punto de captación.

2. DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

La Cuenca Hidrográfica del Turia se encuentra dentro del ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Constituye la segunda mayor cuenca en la demarcación y atraviesa las provincias de Teruel y Valencia.

El río Turia está regulado por los embalses de Benagéber y Loriguilla en su tramo medio-bajo, el río Sot constituye uno de los principales afluentes que a su vez se encuentra también regulado por el embalse de Buseo.

Las subcuencas que van a ser determinantes en este estudio son aquellas que constituyan un aporte para el río Turia desde aguas abajo del embalse de Loriguilla hasta la ubicación de la captación. Es un tramo bajo del río cuya cuenca pertenece en su totalidad a la provincia de Valencia, concretamente a las comarcas de Los Serranos y El Campo del Turia.

Por lo tanto, para la obtención de los caudales máximos y los tiempos de concentración se considerarán un total de nueve subcuencas en ambas alternativas. A continuación se realiza una breve descripción de cada una de ellas:

Referencia	Nombre	Descripción	
		Desde	Hasta
156	Loriguilla	Embalse Loriguilla	Conf. río Sot
157	Sot	Embalse Buseo	Conf. río Turia
158	Loriguilla-Sot	Conf. río Sot-Turia	Conf. rambla Castellana
159	Castellana	Rambla Castellana	Conf. rambla Castellana-Aceña
160	Aceña	Rambla Aceña	Conf. rambla Aceña-Castellana
161	Castellana-Aceña	Conf. rambla Aceña-Castellana	Conf. río Turia
162	Turia-Escarihuela	Conf. rambla Castellana	Conf. Rbla. Escarihuela
163	Escarihuela	Rambla Escarihuela	Conf. río Turia
164	Turia	Conf. rambla Escarihuela	Captación proyecto

Tabla 2. Subcuencas hidrográficas.

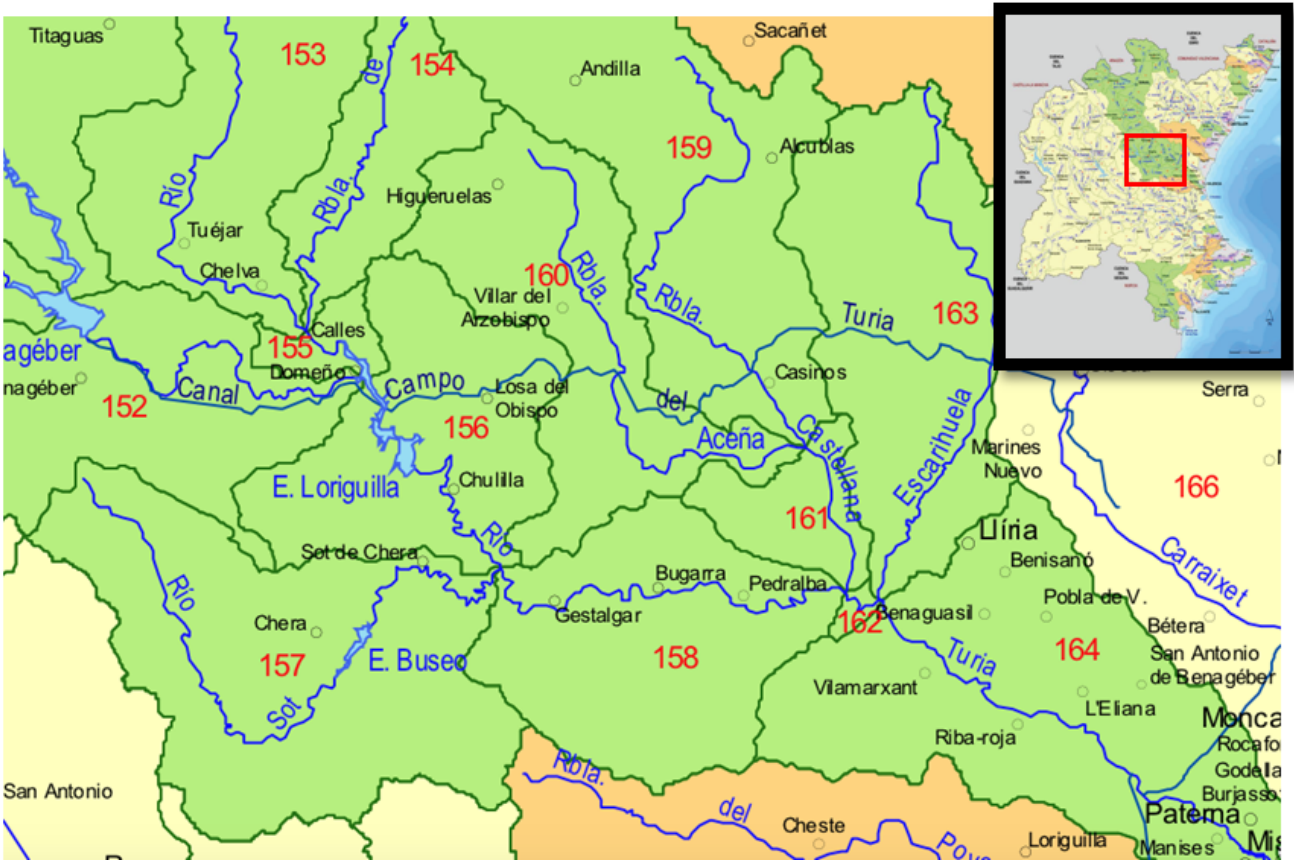


Figura 1. Subcuencas hidrográficas.

3. CÁLCULO DE AVENIDAS

3.1. Situación Normal de Explotación (N.M.N.)

Para la Situación Normal de Explotación se considera el caudal medio anual del río Turia, **11,649 m³/s**. Tomado del Anuario de Aforos del Cedex 2011-2012 para la estación de aforo del río Turia en Villamarchante (ref. 8023).

Los caudales medios mensuales son los siguientes:

Caudales medios mensuales (m ³ /s)					
octubre:	8,593	noviembre:	9,811	diciembre:	10,51
enero:	9,431	febrero:	11,906	marzo:	13,341
abril:	14,443	mayo:	13,663	junio:	13,584
julio:	7,365	agosto:	6,299	septiembre:	9,578

Tabla 3. Caudales medios mensuales del río Turia. CEDEX.

3.2. Situación Accidental o de Proyecto (N.A.P.)

A continuación se realizan los cálculos hidrológicos para la situación Accidental o de Proyecto, considerando un periodo de retorno de T=100 años. Para ello habrá que tener en cuenta la ubicación de la captación, lo cual será determinante en la obtención del caudal máximo y el tiempo de concentración:

Coordenadas UTM		Coordenadas Geográficas	
X	Y	Longitud	Latitud
710565.7793357	4380481.1052392	00°32'57.90"W	00°32'57.90"W

Tabla 4. Coordenadas del punto de ubicación del azud de derivación.

El método Racional Modificado de Témez es el empleado para realizar los cálculos hidrológicos, siguiendo las recomendaciones expuestas en la Instrucción de Carreteras 5.2 IC "Drenaje Superficial".

En primer lugar, se procede al cálculo del tiempo de concentración de cada una de las subcuencas.

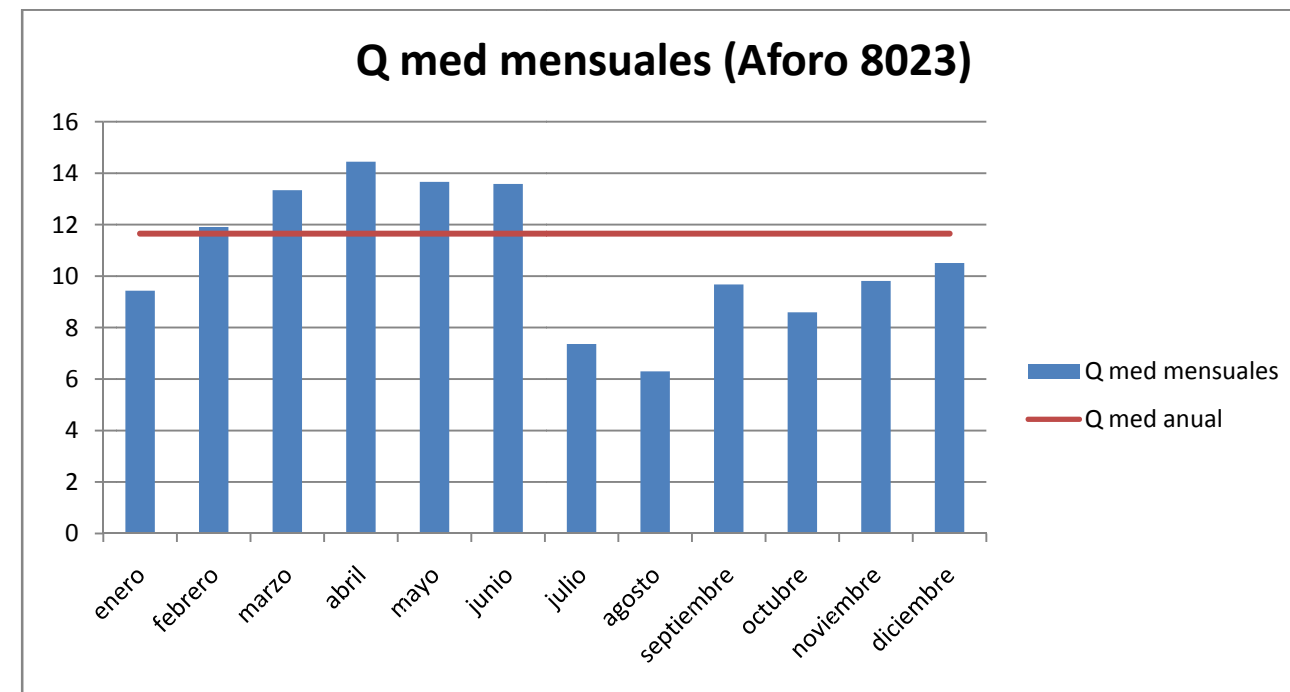


Figura2. Distribución de los caudales medios mensuales y caudal medio anual del río Turia. CEDEX.

$$t_c = 0.3 * \left(\frac{L}{J^{0.25}}\right)^{0.76}$$

Donde:

- t_c : Tiempo de concentración (h)
- J : Pendiente media del cauce principal
- L : Longitud del cauce principal (km)

Referencia	Nombre	Superficie(km ²)	Longitud(km)	$\Delta H(m)$	J	Tc(h)
156	Loriguilla	74.13	11.5	56	0.0051	5.28
157	Sot	88.14	12	210	0.0157	4.28
158	Loriguilla-Sot	164.69	26.8	110	0.0041	10.37
159	Castellana	249.51	28.3	600	0.0212	7.92
160	Aceña	157.86	25.3	360	0.0142	7.84
161	Castellana-Aceña	40.1	8.5	105	0.0124	3.52
162	Turia-Escarihuela	3.79	2.5	8	0.0032	1.79
163	Escarihuela	199.12	31.6	760	0.0241	8.40
164*	Turia*	143.54	14.19	40	0.0028	6.87

Tabla 5. Características de las subcuencas hidrográficas 1.

A continuación se estima en el mapa de isóneas el Coeficiente de Variación (Cv) y el valor medio de Precipitación Máxima Diaria Anual para cada subcuenca. Los valores tomados son los correspondientes en el mapa a los puntos indicados, cada uno de ellos representa a una de las nueve subcuencas.

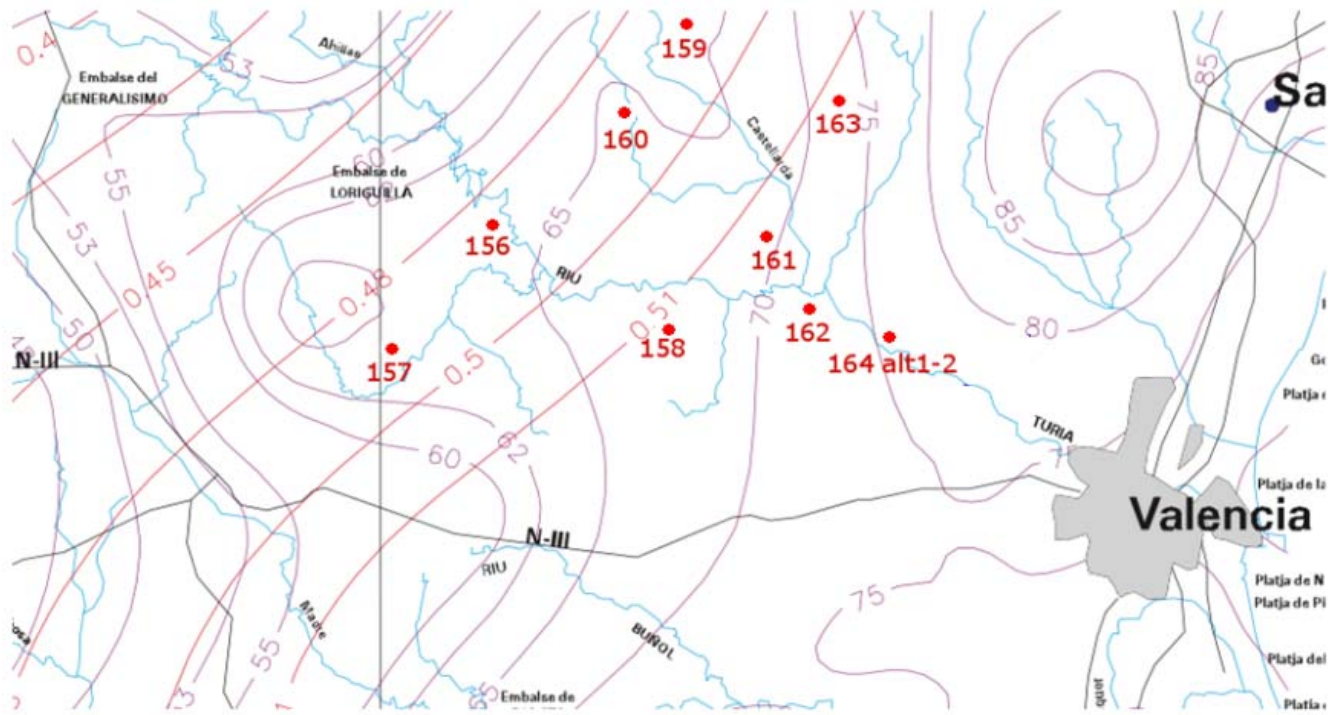


Figura 3. Mapa de Isolíneas.

Una vez estimados los valores de Cv y P en el mapa anterior se puede obtener el cuantil regional Yt (Factor de amplificación Kt) para el periodo de retorno T= 100 años en función de Cv. Para ello se emplea la siguiente tabla, extraída del manual de la Dirección General de Carreteras. Máximas luvias diarias en la España Peninsular.

Cv	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS (T)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
0.30	0.935	1.194	1.377	1.625	1.823	2.022	2.251	2.541
0.31	0.932	1.198	1.385	1.640	1.854	2.068	2.296	2.602
0.32	0.929	1.202	1.400	1.671	1.884	2.098	2.342	2.663
0.33	0.927	1.209	1.415	1.686	1.915	2.144	2.388	2.724
0.34	0.924	1.213	1.423	1.717	1.930	2.174	2.434	2.785
0.35	0.921	1.217	1.438	1.732	1.961	2.220	2.480	2.831
0.36	0.919	1.225	1.446	1.747	1.991	2.251	2.525	2.892
0.37	0.917	1.232	1.461	1.778	2.022	2.281	2.571	2.953
0.38	0.914	1.240	1.469	1.793	2.052	2.327	2.617	3.014
0.39	0.912	1.243	1.484	1.808	2.083	2.357	2.663	3.067
0.40	0.909	1.247	1.492	1.839	2.113	2.403	2.708	3.128
0.41	0.906	1.255	1.507	1.854	2.144	2.434	2.754	3.189
0.42	0.904	1.259	1.514	1.884	2.174	2.460	2.800	3.250
0.43	0.901	1.263	1.534	1.900	2.205	2.510	2.846	3.311
0.44	0.898	1.270	1.541	1.915	2.220	2.556	2.892	3.372
0.45	0.896	1.274	1.549	1.945	2.251	2.586	2.937	3.433
0.46	0.894	1.278	1.564	1.961	2.281	2.632	2.983	3.494
0.47	0.892	1.286	1.579	1.991	2.312	2.663	3.044	3.555
0.48	0.890	1.289	1.595	2.007	2.342	2.708	3.098	3.616
0.49	0.887	1.293	1.603	2.022	2.373	2.739	3.128	3.677
0.50	0.885	1.297	1.610	2.052	2.403	2.785	3.189	3.738
0.51	0.883	1.301	1.625	2.068	2.434	2.815	3.220	3.799
0.52	0.881	1.308	1.640	2.098	2.464	2.861	3.281	3.860

Tabla 6. Factor de amplificación. Dirección General de Carreteras.

Una vez conocidos los diferentes valores del Factor de amplificación (K_{100}) para cada subcuenca, se procede al cálculo de la Precipitación Máxima Diaria (Pd).

$$P_d = K_{100} \times P$$

Referencia	Nombre	P (mm/día)	Cv	K_{100}	Pd (mm/día)
156	Loriguilla	63	0.48	2.708	170.60
157	Sot	62	0.49	2.739	169.82
158	Loriguilla-Sot	67	0.51	2.815	188.61
159	Castellana	64	0.49	2.739	175.30
160	Aceña	65	0.49	2.739	178.04
161	Castellana-Aceña	70	0.51	2.815	197.05
162	Turia-Escarihuela	72	0.51	2.815	202.68
163	Escarihuela	74	0.51	2.815	208.31
164	Turia*	75	0.51	2.815	211.13

Tabla 7. Características de las subcuencas hidrográficas 2.

Seguidamente se procede al cálculo del Coeficiente de Reducción Areal, el cual se obtiene en función de la superficie ocupada por las subcuencas:

$$K_A = 1 \rightarrow A < 1 \text{ km}^2$$

$$K_A = 1 - \frac{\log A}{15} \rightarrow 1 < A < 3000 \text{ km}^2$$

Dado que las nueve subcuencas tienen un área comprendida entre 1 km^2 y 3000 km^2 , el valor del Coeficiente de Reducción Areal vendrá dado por la segunda expresión. Del producto del K_A y la Precipitación Máxima Diaria (Pd) resulta la Precipitación Máxima Diaria Corregida (P'd):

$$P'_d = K_A \times P_d$$

Referencia	Nombre	Pd (mm/día)	K_A	P'd (mm/día)
156	Loriguilla	170.60	0.8753	149.33
157	Sot	169.82	0.8703	147.79
158	Loriguilla-Sot	188.61	0.8522	160.73
159	Castellana	175.30	0.8402	147.79
160	Aceña	178.04	0.8534	151.94
161	Castellana-Aceña	197.05	0.8931	175.99
162	Turia-Escarihuela	202.68	0.9614	194.86
163	Escarihuela	208.31	0.8467	176.38
164	Turia*	211.13	0.8562	180.76

Tabla 8. Características de las subcuencas hidrográficas 3.

Para la obtención de la Intensidad Media Diaria de Precipitación (I_d), recurrimos a la formulación de Témez con la siguiente expresión:

$$\frac{I}{I_d} = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0,1} - D^{0,1}}{0,4}}$$

Donde:

- I = Intensidad Media correspondiente al intervalo de duración D (mm/h).
- D = Duración de la lluvia.
- I_d = Intensidad Media Diaria de Precipitación (mm/h).
- I_1/I_d = Relación entre la Intensidad Media horaria y la Diaria.

La Duración de la lluvia (D) se corresponde con el Tiempo de Concentración de la subcuenca (T_c). La Intensidad Media Diaria de Precipitación se corresponde con el cociente entre la Precipitación Máxima Diaria Corregida y las 24 horas del día:

$$I_d = \frac{P'_d}{24}$$

La relación entre la Intensidad Media Horaria y la Diaria (I_1/I_d), se obtiene a partir del Mapa de Isolíneas de la región peninsular de España:

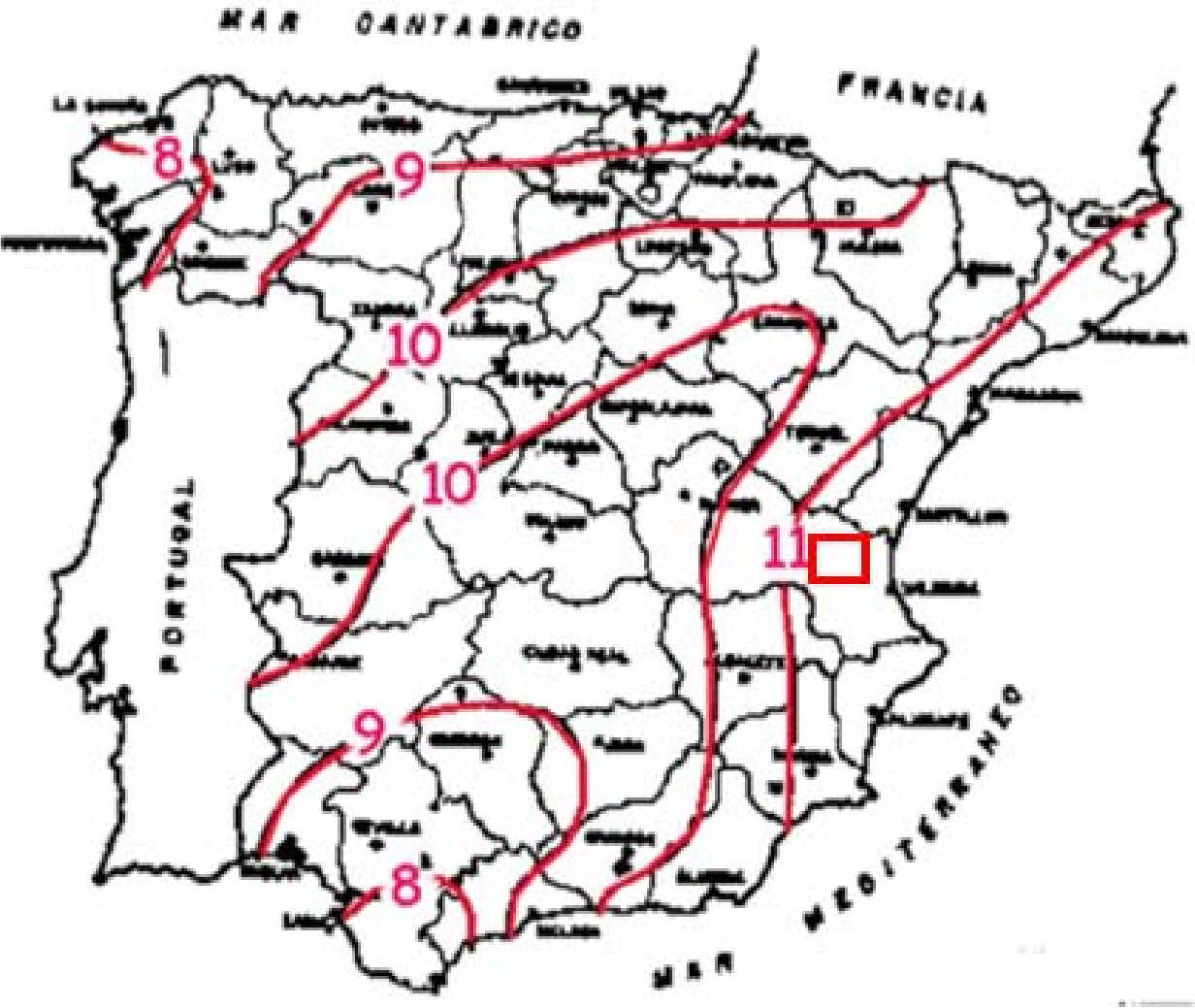


Figura 4. Mapa de Isolíneas de la región de la Península Ibérica.

Adoptamos como valor de la relación el 11, dado que todas las subcuencas de estudio se encuentran en la zona señalizada con dicha isolínea.

Referencia	Nombre	Id (mm/h)	D (h)	I ₁ /I _d	I (mm/h)
156	Loriguilla	6.22	5.28	11	23.97
157	Sot	6.51	4.28	11	30.24
158	Loriguilla-Sot	6.69	10.37	11	14.76
159	Castellana	6.13	7.92	11	16.56
160	Aceña	6.33	7.84	11	17.20
161	Castellana-Aceña	7.33	3.52	11	35.15
162	Turia-Escarihuela	8.12	1.79	11	60.61
163	Escarihuela	7.34	8.40	11	18.97
164	Turia*	7.53	6.87	11	22.54

Tabla 9. Características de las subcuencas hidrográficas 4.

A continuación se procede a calcular el Coeficiente de Escorrentía (C) de cada una de las subcuencas, para ello es necesario conocer la Precipitación Máxima Diaria Corregida (P'd) y el Umbral de Escorrentía (Po) de la zona en cuestión. La formulación a utilizar es la siguiente:

$$C = \frac{(P'_d - P'_0) * (P'_d + 23 * P'_0)}{(P'_d + 11 * P'_0)^2}$$

En primer lugar se tiene que determinar el Umbral de Escorrentía Inicial, por lo que se recurre a las tablas dispuestas en la Instrucción de Carreteras 5.2 IC "Drenaje Superficial". Se decide escoger el mismo umbral de escorrentía para todas las subcuencas y se realizan varias suposiciones:

- Suelo con infiltración moderada (Grupo B).
- Cultivos en hilera colocados según las líneas de nivel (N).
- Pendiente mayor o igual al 3%.

Con estas condiciones el valor del Umbral de Escorrentía Inicial es de 16 mm.

TABLA 2-1
ESTIMACION INICIAL DEL UMBRAL DE ESCORRENTIA Po (mm)

Uso de la tierra	Pendiente (%)	Características hidrológicas	Grupo de suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	≥ 3	R	15	8	6	4
		N	17	11	8	6
	< 3	R/N	20	14	11	8
Cultivos en hilera	≥ 3	R	23	13	8	6
		N	25	16	11	8
	< 3	R/N	28	19	14	11
Cereales de invierno	≥ 3	R	29	17	10	8
		N	32	19	12	10
	< 3	R/N	34	21	14	12

Nota: N: denota cultivo según las curvas de nivel.
R: denota cultivo según la línea de máxima pendiente.

Tabla 10 . Umbral de Escorrentía. Instrucción de Carreteras 5.2. IC.

El Umbral de Escorrentía (Po) encontrado debe corregirse con un Coeficiente Corrector del Umbral de Escorrentía (β), el cual viene dado en el siguiente mapa extraído también de la Instrucción de Carreteras 5.2 IC "Drenaje Superficial". Las isolíneas representadas en la figura se corresponden con las zonas cuyo Coeficiente Corrector del Umbral de Escorrentía es el indicado.



Figura 5. Mapa del Coeficiente Corrector del umbral de Escorrentía. Instrucción de Carreteras 5.2. IC.

En la zona correspondiente a la ubicación de las subcuencas estudiadas, el Coeficiente Corrector del Umbral de Escorrentía (β) es 3. El producto de dicho coeficiente por el Umbral de Escorrentía (Po) proporciona el Umbral de Escorrentía Corregido.

$$P'_0 = P_0 \cdot \beta$$

Así, tenemos todos los valores para poder calcular el coeficiente de escorrentía, se muestran en la Tabla 10.

Referencia	Nombre	Po(mm)	β	P'o(mm)	P'd(mm/día)	C
156	Loriguilla	16	3	48	149.33	0.2768
157	Sot	16	3	48	147.79	0.2735
158	Loriguilla-Sot	16	3	48	160.73	0.3006
159	Castellana	16	3	48	147.79	0.2724
160	Aceña	16	3	48	151.94	0.2824
161	Castellana-Aceña	16	3	48	175.99	0.3306
162	Turia-Escarihuela	16	3	48	194.86	0.3651
163	Escarihuela	16	3	48	176.38	0.3313
164	Turia*	16	3	48	180.76	0.3396

Tabla 10. Características de las subcuencas hidrográficas 5.

Referencia	Nombre	C	I (mm/h)	Superficie (km ²)	K	Q(m ³ /s)
156	Loriguilla	0.2768	23.97	74.13	1.3381	182.88
157	Sot	0.2735	30.24	88.14	1.2475	252.70
158	Loriguilla-Sot	0.3006	14.76	164.69	1.5708	318.93
159	Castellana	0.2724	16.56	249.51	1.4867	464.94
160	Aceña	0.2824	17.20	157.86	1.4838	316.10
161	Castellana-Aceña	0.3306	35.15	40.1	1.2559	162.58
162	Turia-Escarihuela	0.3651	60.61	3.79	1.1291	26.29
163	Escarihuela	0.3313	18.97	199.12	1.5054	523.48
164	Turia*	0.3396	22.54	143.54	1.4428	440.35

Tabla 11. Características de las subcuencas hidrográficas 6.

Como último paso para acceder al cálculo del Caudal Punta se debe obtener el Coeficiente de Uniformidad en función del Tiempo de Concentración (tc) con la siguiente formulación:

$$K = 1 + \frac{t_c^{1.25}}{t_c^{1.25} + 14}$$

Una vez obtenido este valor para cada subcuenca se procede al cálculo final para la obtención del Caudal Punta con la siguiente expresión:

$$Q = \frac{C * I * A}{3.6} * K$$

Donde:

- Q : Caudal máximo (m³/s)
- C : Coeficiente de Escorrentía
- I : Intensidad de la lluvia de diseño (mm/h)
- A : Área de la cuenca (km²)
- K : Coeficiente de uniformidad

Tras haber calculado estos Caudales Punta (Q) y los Tiempos de Concentración (Tc) se puede obtener un hidrograma unitario para cada una de las subcuencas. El sumatorio o la superposición de los nueve hidrogramas resultantes conformará el hidrograma de la Cuenca Hidrográfica para la Alternativa 1.

Para realizar estos hidrogramas se ha empleado el método del hidrograma unitario triangular de Témez, el cual emplea las siguientes fórmulas para definir cada uno de los parámetros necesarios :

Dichos hidrogramas se obtiene empleando el Método del Hidrograma Unitario Triangular de Témez, éste método permite representar los gráficos a partir de tres puntos dados por las siguientes expresiones:

$$\text{Duración de la tormenta: } t_t = 2 * t_c$$

$$\text{Tiempo al pico: } t_p = 0.3 * t_t$$

$$\text{Caudal pico} = \text{Caudal máximo o de referencia}$$

A continuación se procede a representar los hidrogramas de cada una de las subcuencas con sus puntos característicos:

Referencia	Nombre	Tc(h)	Tt(h)	Tp(h)	Q(m ³ /s)
156	Loriguilla	5.28	10.56	3.17	182.88
157	Sot	4.28	8.55	2.57	252.70
158	Loriguilla-Sot	10.37	20.76	6.22	318.93
159	Castellana	7.92	15.83	4.75	464.94
160	Aceña	7.84	15.68	4.70	316.10
161	Castellana-Aceña	3.52	7.03	2.11	162.58
162	Turia-Escarihuela	1.79	3.58	1.07	26.29
163	Escarihuela	8.40	16.80	5.04	523.48
164	Turia*	6.87	13.74	4.12	440.35

Tabla 12. Características de las subcuencas hidrográficas 7.

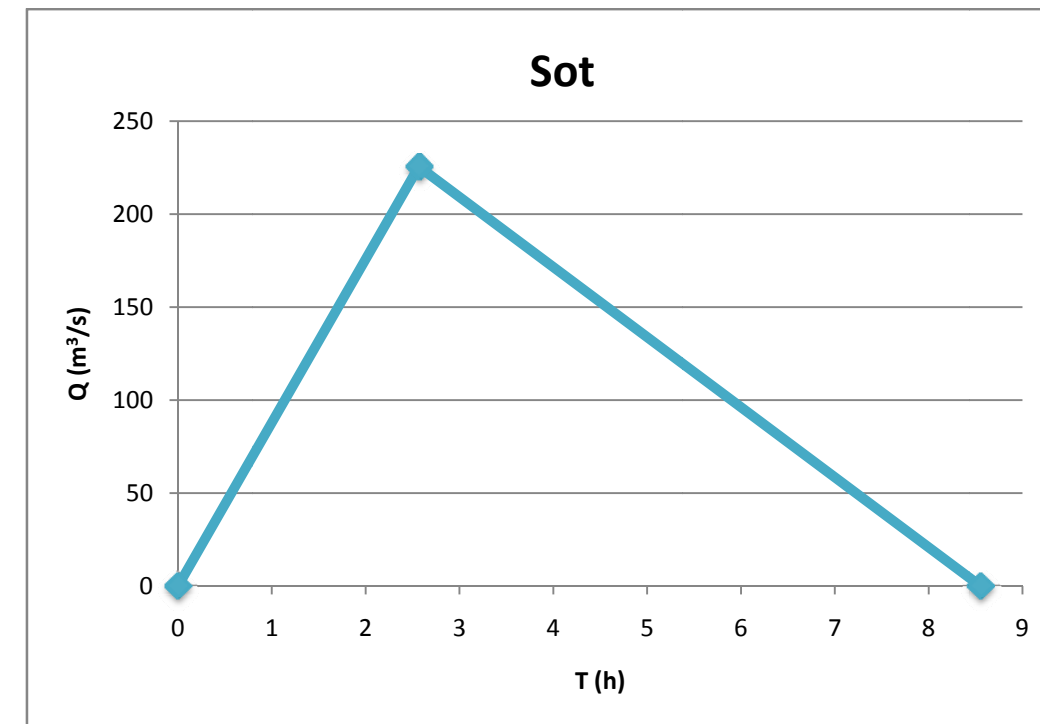


Figura 7. Hidrograma Sot.

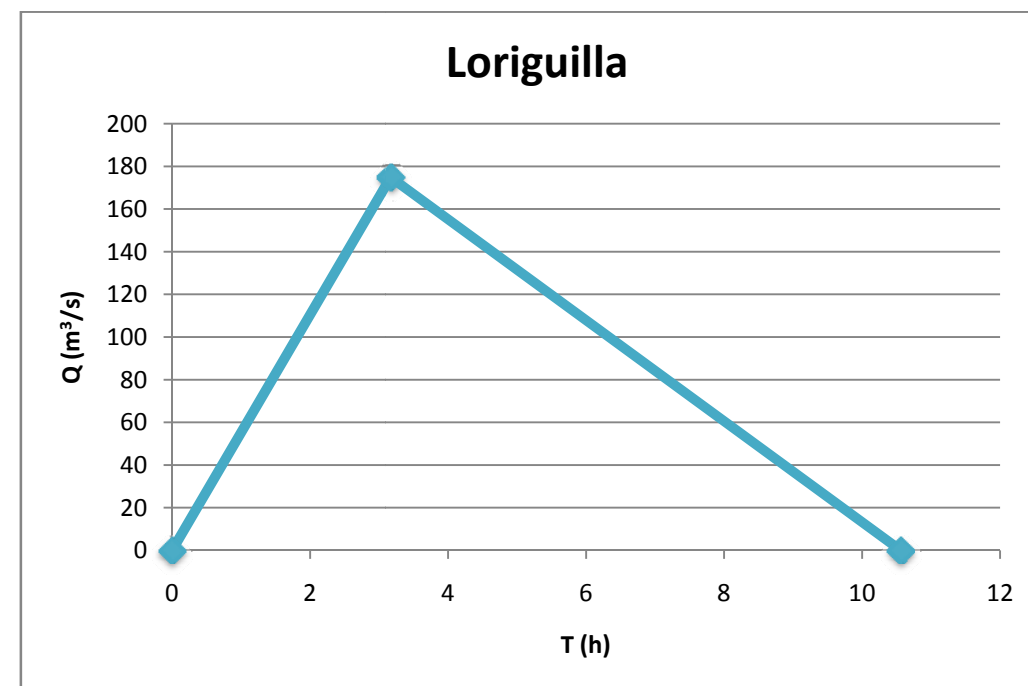


Figura 6. Hidrograma Loriguilla.

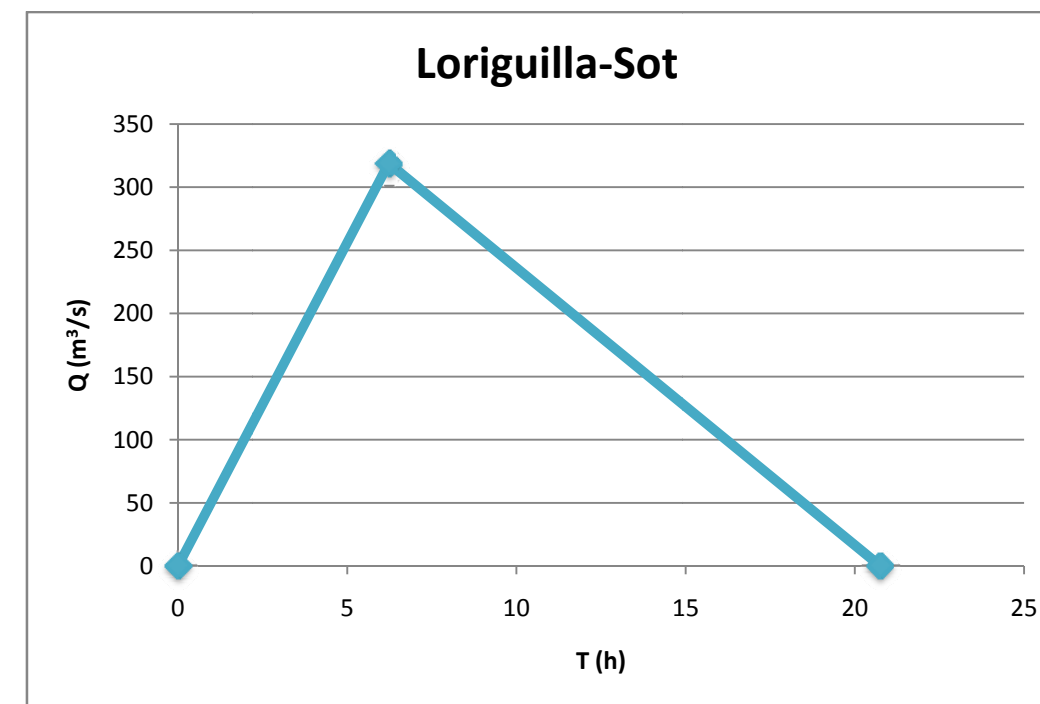


Figura 8. Hidrograma Loriguilla-Sot.

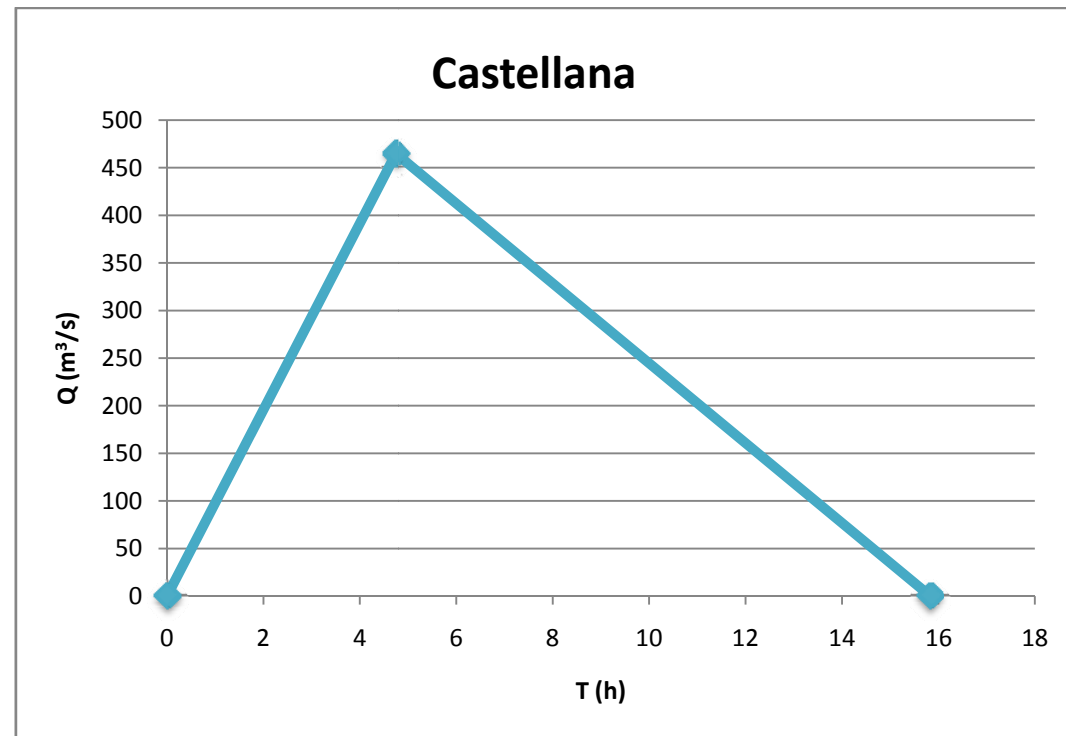


Figura 9. Hidrograma Castellana.

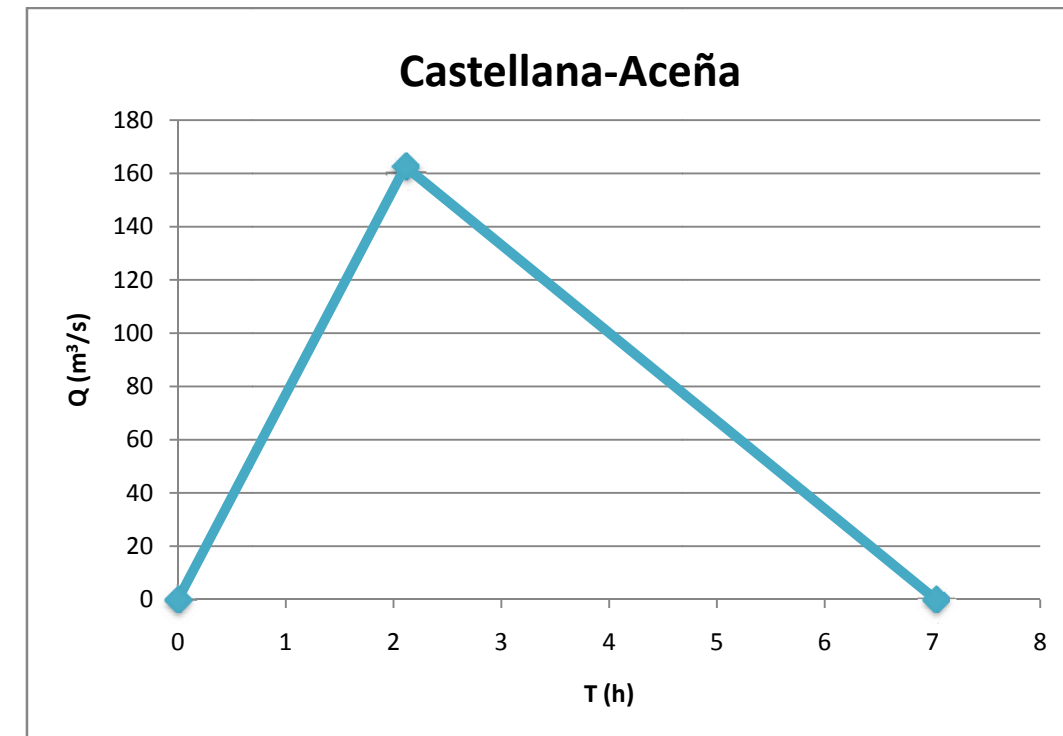


Figura 11. Hidrograma Castellana-Aceña.

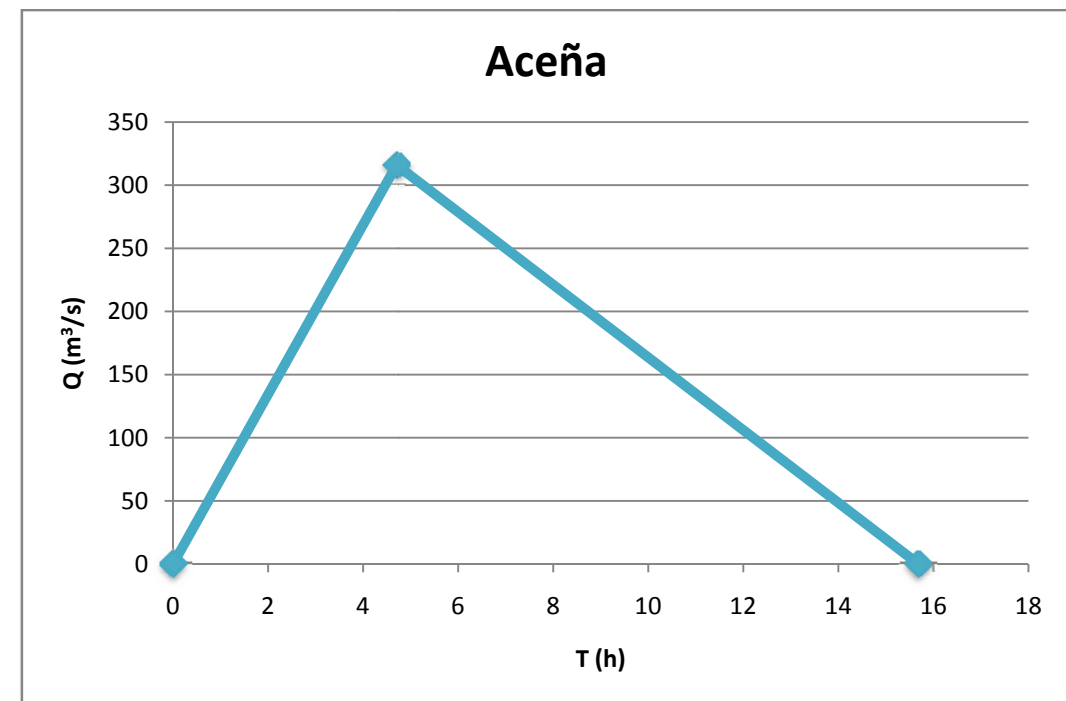


Figura 10. Hidrograma Aceña.

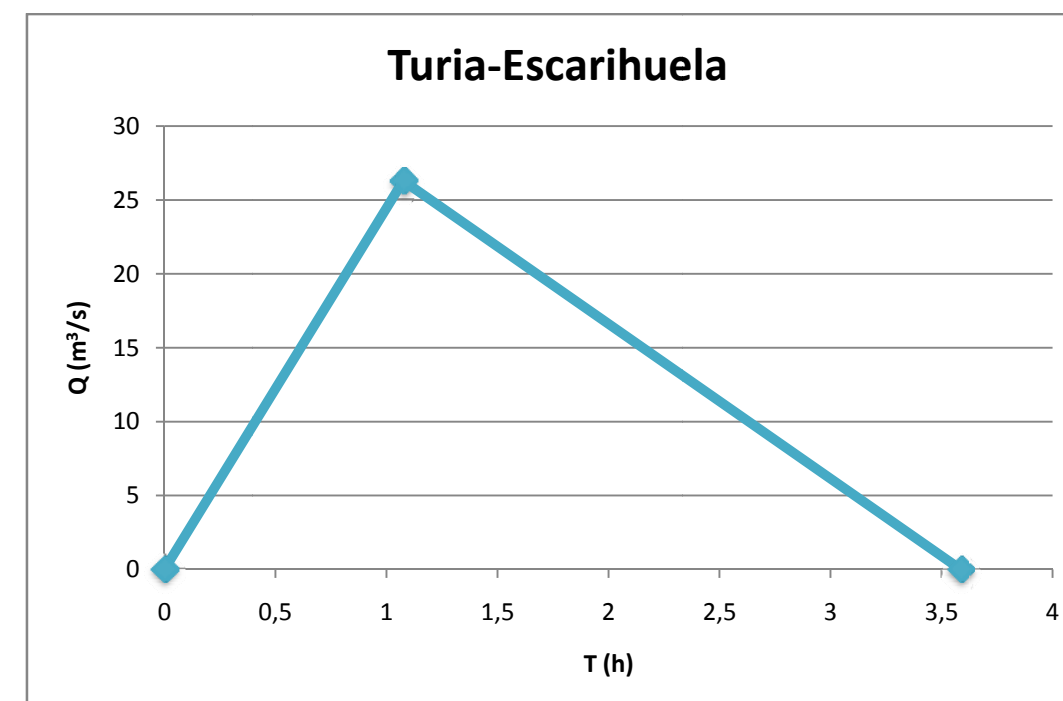


Figura 12. Hidrograma Turia-Escarihuela.

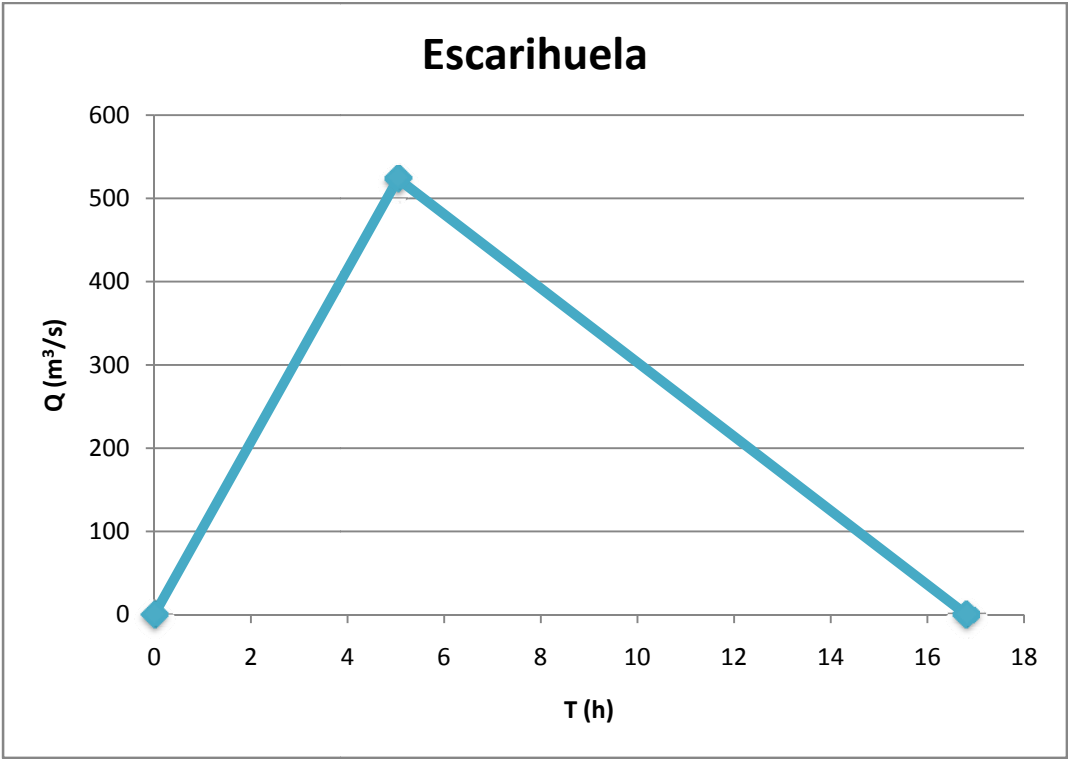


Figura 13. Hidrograma Escarihuela.

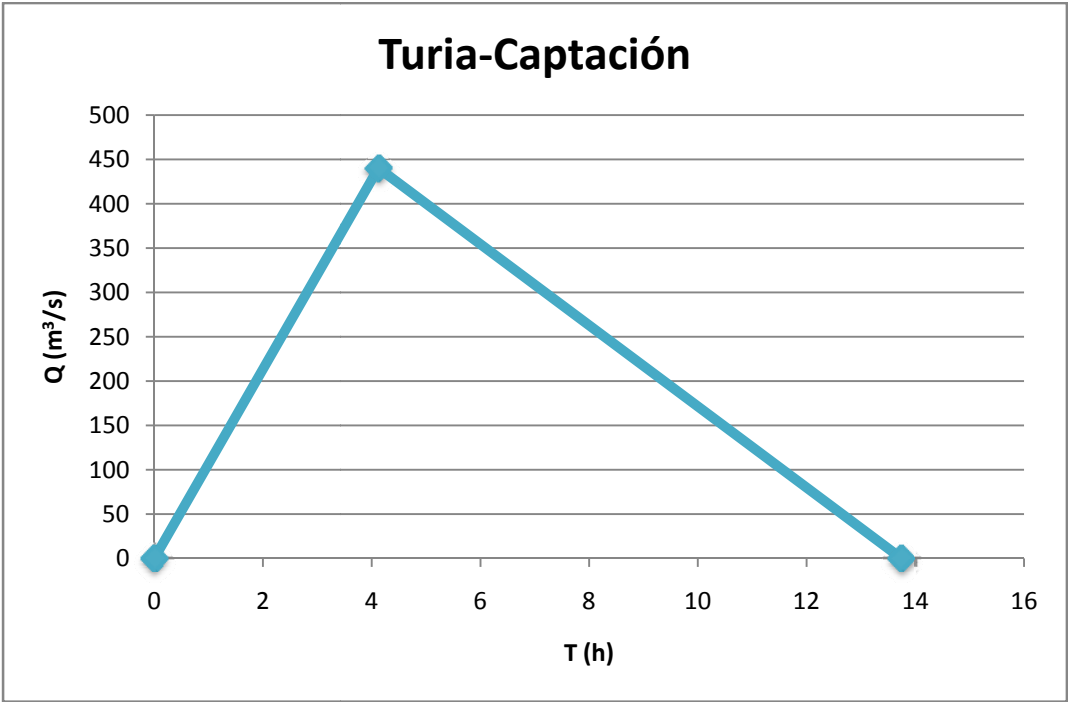


Figura 14. Hidrograma Turia-Captación.

A continuación se procede al sumatorio de los hidrogramas de todas las subcuencas, lo cual dará como resultado el hidrograma correspondiente a la Cuenca Hidrográfica de la captación del proyecto.

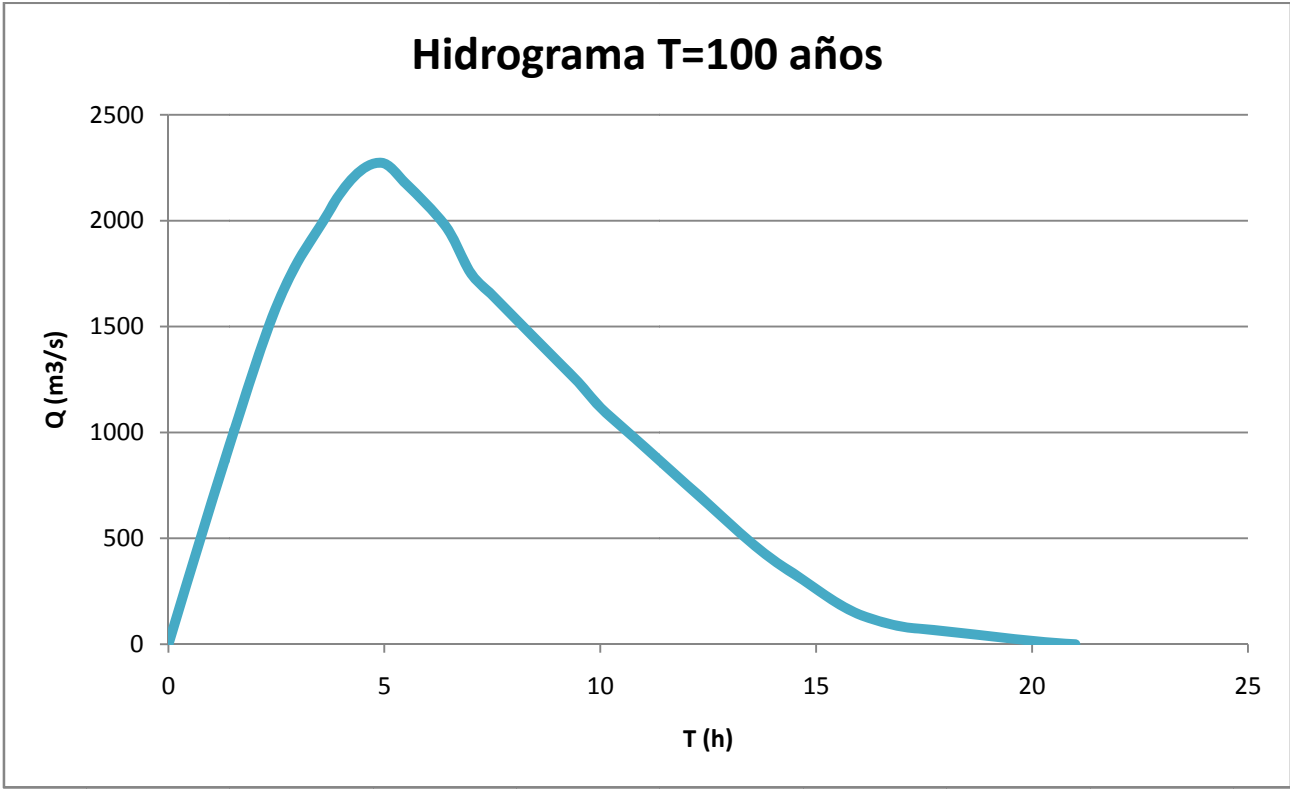


Figura 15. Hidrograma de entrada T=100 años.

Nombre	Tt(h)	Tp(h)	Q(m³/s)
Turia*	20.76	5	2270

Tabla 13. Valores pico del hidrograma de entrada para T= 100 años.

Para un Periodo de retorno de T=100 años el caudal máximo al que se verá expuesto el azud será de 2270 m³/s y se producirá a las 5 horas haberse iniciado la tormenta. El tiempo total considerado en el hidrograma es de 20.76 horas y se corresponde con el máximo de los tiempos de duración de tormenta de las subcuencas, en este caso Loriguilla-Sot.



3.3. Situación Extrema (N.A.E.)

Se ha considerado la Situación Extrema aquella cuya avenida se corresponda con el periodo de retorno de $T= 100$ años. De modo que los cálculos hidrológicos son los mismos que para la Situación Accidental y quedan reflejados en el apartado anterior.