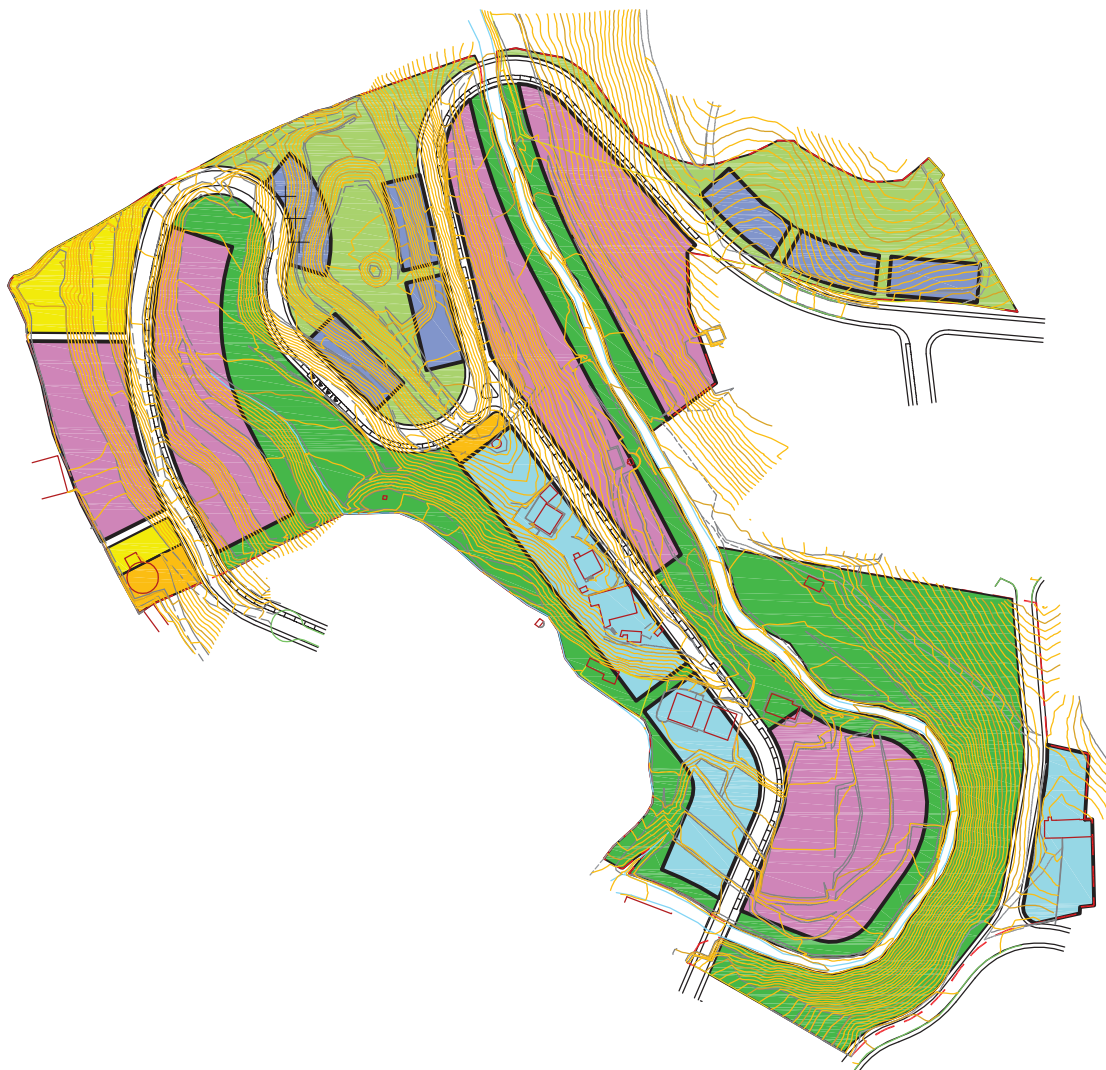


ESTUDIO HIDROLÓGICO-HIDRAÚLICO

SCTOR SUP.B-3 "EL SOTO"
BENAJARAFE. VELEZ-MALAGA



ARQUITECTO: ANTONIO GARVIN SALAZAR

PROMOTORA: D^a. FRANCISCA RUIZ GONZALEZ

INDICE

INDICE.....	1
MEMORIA	4
1. ANTECEDENTES Y OBJETO.....	5
2. DOCUMENTOS QUE INCLUYE EL PRESENTE ESTUDIO	10
3. DATOS PREVIOS	11
4. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	12
5. ESTUDIO HIDROLÓGICO	13
5.1. Delimitación de cuencas.....	13
5.2. Caracterización morfológica e hidrológica.....	14
5.3. Pluviometría de la zona	14
5.4. Escorrentía superficial	15
6. ESTUDIO HIDRÁULICO.....	17
6.1. Procedimiento de cálculo.....	17
6.2. Procedimiento de cálculo.....	17
7. CONCLUSIONES	19
ANEJOS A LA MEMORIA.....	21
1. ANEJO 1. DATOS PREVIOS	22
1.1. Introducción	22
1.2. Análisis previo.....	22
1.3. Cartografía.....	23
1.4. Toma de datos en campo.....	23
1.5. Datos de precipitación de estaciones meteorológicas	24
1.6. Usos del suelo	24
1.7. Geología	25
1.8. Apéndice 1. Reportaje fotográfico	26
1.9. Apéndice 2. Plano de limitación de usos en zona inundable del Estudio hidráulico para la ordenación de las cuencas de la Costa del Sol Oriental.....	29
1.10. Apéndice 3. Plano de definición de niveles de riesgo del Estudio hidráulico para la ordenación de las cuencas de la Costa del Sol Oriental.....	31
2. ANEJO 2. ESTUDIO HIDROLÓGICO.	33
2.1. Introducción	33
2.2. Estudio de avenidas	40
2.3. Apéndice 1. Delimitación de cuencas.....	57
2.4. Apéndice 2. Usos del suelo	59
2.5. Apéndice 3. Litología	61
3. ANEJO 3. ESTUDIO HIDRÁULICO.	63

3.1.	Objeto del estudio.....	63
3.2.	Consideraciones legales.....	63
3.3.	Cálculo hidráulico	65
3.4.	Conclusiones	75
3.5.	Apéndice 1. Directrices para la redacción de los estudios hidrológicos e hidráulicos destinados a las diferentes figuras de planeamiento	76
3.6.	Apéndice 2. Resultados del cálculo hidráulico de la Cuenca. Escenario 1.....	117
3.7.	Apéndice 3. Resultados del cálculo hidráulico de la Cuenca. Escenario II.....	195
PLANOS.....		225
1.	SITUACIÓN	226
2.	ESTADO ACTUAL.....	227
3.	DELIMITACIÓN PROPUESTA DEL SECTOR.....	228
4.	DELIMITACIÓN DE CUENCA.....	229
5.	ZONAS DE INUNDACIÓN Y DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO. ESCENARIO I.....	230
6.	ZONAS DE INUNDACIÓN Y DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO. ESCENARIO II.....	231

MEMORIA

1. ANTECEDENTES Y OBJETO

La adaptación parcial a la LOUA del Plan General de Ordenación Urbana de Vélez-Málaga vigente, contempla la previsión de desarrollo urbanístico del Sector SUP-B3 "El Soto", en Benajárfate (Vélez-Málaga).

El Excmo. Ayuntamiento de Vélez-Málaga, con fecha 13 de octubre de 2009, dictó una resolución por la que se aprobaba inicialmente el Plan Parcial de Ordenación del Sector SUP.B-3 El Soto, en Benajárfate, promovido por doña Francisca Ruiz González (expediente 69/06). Asimismo se acordó someter las actuaciones al trámite de información pública por plazo de un mes, conforme a lo previsto en el artículo 32.2.º de la Ley 7/2002, de 17 de diciembre, de Ordenación Urbanística de Andalucía.

Con fecha de Febrero de 2010, la Agencia Andaluza del Agua de la Consejería de Medio Ambiente, emitió un informe relativo al documento de Aprobación Inicial del Plan Parcial de Ordenación del Sector SUP.B-3 en Benajárfate, que se adjunta en la siguiente página.

Este Informe engloba, entre otros, los aspectos relativos a Dominio Público Hidráulico y Prevención de riesgos por avenidas e Inundaciones, dado que el desarrollo del Sector se ve afectado para el paso del arroyo de Las Adelfas (ó de la Ermita), que lo cruza en sentido norte-sur. En este sentido se pide incorporar al documento del Plan Parcial el "Estudio Hidráulico del arroyo la Ermita", que permita delimitar la superficie de Dominio Público Hidráulico, las zonas de servidumbre y las zonas inundables.

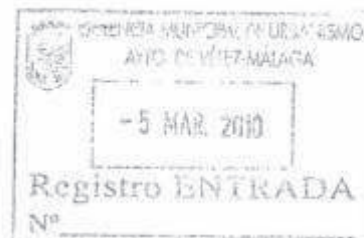
El informe hace referencia al "Estudio Hidráulico para la Ordenación de las Cuencas de la Costa del Sol Oriental", que abarca el arroyo en cuestión, y que hace una primera estimación de la superficie de dominio público hidráulico y las zonas inundables. Así, la franja de Dominio Público Hidráulico debe quedar exenta de aprovechamiento urbanístico y ser considerada en el documento del Plan Parcial como "suelo no urbanizable de especial protección", y las zonas inundables deben ser compatibles con los usos establecidos en el "Plan de Prevención de Avenidas e Inundaciones en cauces Urbanos Andaluces".

Con todo lo expuesto, se redacta el presente "ESTUDIO HIDRÁULICO DEL ARROYO LA ERMITA, EN EL TRAMO QUE AFECTA AL SECTOR SUP B-3 EL SOTO, EN BENAJARAFE (VÉLEZ-MÁLAGA)", que analizará con mayor detalle el funcionamiento del citado arroyo ante las distintas avenidas, en el tramo que afecta al sector SUP B-3. Se contemplará para ello la Instrucción de 20 de Febrero de 2012 de la Dirección General de Planificación y Gestión del Dominio Público Hidráulico sobre la elaboración de Informes en materia de aguas a los planes con incidencia territorial, a los planeamientos urbanísticos, y a los actos y ordenanzas de las entidades locales.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO
MEMORIA



Agencia Andaluza del Agua
CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE



Fecha: 22/02/2010

Ref.: MA 53163

Asunto: INFORME SOBRE EL DOCUMENTO DE PLAN PARCIAL DEL SECTOR SUP B-3
"EL SOTO" EN BENAJARAFE (VÉLEZ MÁLAGA)

INTRODUCCIÓN

La Ley de Ordenación Urbanística de Andalucía establece, en su artículo 32, el requerimiento, tras la aprobación inicial del instrumento de planeamiento, de informes de los órganos y entidades administrativas gestoras de intereses públicos afectados. Es el motivo por el cual la Agencia Andaluza del Agua emite el presente informe relativo al documento de aprobación inicial del Plan Parcial del Sector SUP-B3 en Benajáraf (Vélez Málaga).

El informe engloba los siguientes aspectos competencia de la Agencia Andaluza del Agua:

- Dominio público hidráulico.
- Prevención de riesgos por avenidas e inundaciones.
- Disponibilidad de recursos hídricos.
- Infraestructuras del ciclo integral del agua.
- Financiación de estudios e infraestructuras.

Además de la Legislación en vigor, para la elaboración de este informe se han empleado los siguientes documentos:

Protocolo de colaboración entre la Agencia Andaluza del Agua y la Mancomunidad de Municipios de la Costa del Sol Oriental, por el que se fijan las bases y líneas de actuación para la coordinación y mejora de la gestión de infraestructuras, en alta, de los servicios públicos del ciclo integral urbano del agua, documento al que se hará referencia a lo largo del presente informe

Plan de Prevención de Avenidas e Inundaciones en cauces urbanos andaluces.

Estudio hidráulico para la ordenación de las cuencas de la costa del sol Oriental.

El sector que se desarrolla es para uso residencial y pretende la construcción de 207 viviendas, de las que 81 corresponden a viviendas de protección pública.

Dirección Provincial de Málaga
Paseo de Rerling, nº 20, 29016 - Málaga Tel. 951 29.97.84

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO
MEMORIA



1.- DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO Y PREVENCIÓN DE RIESGOS POR AVENIDAS E INUNDACIONES

El sector afecta al cauce del Arroyo de las Adelfas (o de la Ermita), que lo cruza en sentido nort-sur. Dicho cauce se ha analizado en el estudio hidráulico para la ordenación de las cuencas de la costa del sol oriental, documento redactado por la Agencia Andaluza del Agua. Se adjunta a este informe copia en cd del citado documento, con objeto que sea integrado en el Plan Parcial.

La exigencia de un cauce, así como sus riberas y márgenes es la de satisfacer las funciones de evacuación de avenidas. El tratamiento dado debe ser conjunto con la cuenca vertiente y sus principales cauces, contemplando medidas de integración del cauce y medio urbano. El análisis debe incluir una valoración de las repercusiones del modelo urbano previsto sobre el dominio público hidráulico y la incidencia de las transformaciones de usos propuestas sobre la red de drenaje.

La redefinición de usos debe garantizar las condiciones de evacuación diseñándose para una capacidad suficiente a la vez que prime la facilidad de realizar las tareas de conservación y mantenimiento.

En la zona de dominio público hidráulico se prohibirá cualquier tipo de ocupación temporal o permanente, con las excepciones relativas a los usos comunes especiales legalmente previstas¹.

En las zonas de servidumbre solamente se podrá prever ordenación urbanística orientada a los fines² de paso para el servicio del personal de vigilancia del cauce.

A falta de delimitación de la zona de policía se establecerá una banda de al menos 100 metros de anchura contados horizontalmente a partir del eje del cauce. En esta zona la ordenación urbanística de estos terrenos³ se deberá indicar y resaltar expresamente las alteraciones sustanciales del relieve natural del terreno, las extracciones de áridos, construcciones de todo tipo, obstáculo para la corriente o degradación o deterioro del dominio público hidráulico.

En el estudio hidráulico que se adjunta se realiza una primera estimación de la superficie de dominio público hidráulico y de la superficie inundable. Así, la superficie estimada de dominio público debe quedar exenta de aprovechamiento urbanístico y ser considerada en los documentos de revisión del Plan General de Vélez como no urbanizables de especial protección. En lo que respecta a la superficie inundable calculada, su uso debe ser compatible con los usos establecidos en el Plan de Prevención de Avenidas e Inundaciones en cauces Urbanos Andaluces.

2.- DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS

El Plan Parcial propone la construcción de 207 viviendas, lo que con una densidad de 2,4 habitantes

¹ Sección 2ª del Capítulo II del Real Decreto Real Decreto 849/1986, de 11 abril, por el que se aprueba el reglamento del dominio público hidráulico

² Artículo 7 del Real Decreto 9/2008, de 11 enero, por el que se modifica el reglamento del dominio público hidráulico, aprobado por Real Decreto 849/1986, de 11 abril.

³ Artículo 9 del Real Decreto 9/2008, de 11 enero, por el que se modifica el reglamento del dominio público hidráulico, aprobado por Real Decreto 849/1986, de 11 abril.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO
MEMORIA

por vivienda, supone un incremento de 497 habitantes. El crecimiento sobre la población actual de 74.190 habitantes es del 0.67 %. Teniendo en cuenta que los crecimientos en los últimos años, según el instituto Nacional de Estadística, han sido los que se resumen en la tabla siguiente, se considera que el crecimiento del Plan Parcial se encuentra dentro del vegetativo de la población.

Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
55156	56233	57457	60197	61797	64919	67697	69604	72842	74190

3.- INFRAESTRUCTURAS DEL CICLO INTEGRAL DEL AGUA Y SU FINANCIACIÓN

En el plan parcial se indican los puntos de conexión de los servicios de abastecimiento de agua y de saneamiento, que serán, en ambos casos a redes municipales. Se proyecta un depósito de agua de 540 m3 de capacidad en el interior del sector y un colector de residuales paralelo al cauce del Arroyo de las Adelfas. En este caso, se deberá colocar fuera del dominio público hidráulico.

En el estudio económico financiero se valoran infraestructuras tales como el emisario que conecta la urbanización con el colector general de la costa. Se valoran igualmente las infraestructuras de abastecimiento y saneamiento como obras de urbanización.

4.- CONCLUSION

Así, con objeto de poder continuar con la tramitación del Plan Parcial, se deberá incorporar al documento el estudio hidráulico del cauce del Arroyo de Las Adelfas, delimitando la superficie de dominio público (exenta de aprovechamiento urbanístico), la zona de servidumbre y la zona inundable.

En lo que respecta al colector de residuales proyectado paralelo al cauce, no debe afectar al dominio público hidráulico.

Málaga, 23 de febrero de 2010.

Fdo: M.Mar Ruiz de la Rúa
Ing. de Caminos

Fdo. Jorge Robles Alés.
Ing. de Caminos.
Gerente Provincial.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO
MEMORIA

El objeto de dicho estudio es el de delimitar justificadamente el dominio público hidráulico y las zonas inundables, correspondientes a las avenidas para los periodos de retorno de 10 y 500 años, respectivamente. En el documento del plan parcial se catalogarán los terrenos comprendidos entre los límites del dominio público hidráulico y servidumbre, como "no urbanizables de especial protección".

Atendiendo a los resultados finales del presente estudio se detallarán las conclusiones obtenidas del mismo, verificando la capacidad de desagüe del propio cauce y definiendo las zonas inundables en caso de desbordamiento.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO
MEMORIA

2. DOCUMENTOS QUE INCLUYE EL PRESENTE ESTUDIO

El presente estudio se compone de los siguientes documentos:

MEMORIA

ANEJOS A LA MEMORIA

Anejo 1 Datos previos.

- Apendice 1. Reportaje fotográfico
- Apendice 2. Plano de delimitación de usos en zona inundable del Estudio hidráulico para la ordenación de las cuencas de la Costa del Sol Oriental
- Apendice 3. Plano de definición de niveles de riesgo del Estudio hidráulico para la ordenación de las cuencas de la Costa del Sol Oriental

Anejo 2 Estudio hidrológico.

- Apéndice 1. Delimitación de cuencas
- Apéndice 2. Usos del suelo
- Apéndice 3. Litología

Anejo 3 Estudio hidráulico.

- Apéndice 1. Directrices para la redacción de estudios hidrológicos e hidráulicos.
- Apéndice 2. Resultados cálculos hidráulicos. Escenario 1.
- Apéndice 3. Resultados cálculos hidráulicos. Escenario 2.

PLANOS

- 1.- Situación
- 2.- Estado actual.
- 3.- Delimitación propuesta del sector.
- 4.- Delimitación de cuenca.
- 5.- Zonas de inundación y dominio público. hidráulico. Escenario I
- 6.- Zonas de inundación y dominio público. hidráulico. Escenario II

3. DATOS PREVIOS

Para realizar el presente estudio hidrológico - hidráulico del arroyo La Ermita (ó Las Adelfas) que afecta al sector SUP-B.3, como suelo urbanizable, se ha partido de los siguientes datos previos:

- Plan Parcial del sector SUP-B3 "El Soto" en Benajarafe (Vélez-Málaga).
- Plan de Prevención de Avenidas e Inundaciones en cauces urbanos andaluces.
- Estudio hidráulico para la ordenación de las cuencas de la Costa del Sol Oriental.
- Protocolo de colaboración entre la Agencia Andaluza del Agua y la Mancomunidad de Municipios de la Costa del Sol Oriental.
- Instrucción de 20 de Febrero de 2012 de la Dirección General de Planificación y Gestión del Dominio Público Hidráulico sobre la elaboración de informes en materia de aguas a los planes con incidencia territorial, a los planeamientos urbanísticos y a los actos y ordenanzas de las entidades locales.
- Cartografía a escala 1:10.000, propiedad del ICA. La cartografía 1:10.000 usada en el estudio, es la correspondiente al mosaico incluido en las siguientes hojas: 1053 (105343).
- Cartografía vectorial obtenida mediante levantamiento topográfico del sector, con curvas de nivel a 1 metro y georreferenciada bajo el sistema UTM ED50.
- Datos de precipitación según la publicación "Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular", de la DGC del Ministerio de Fomento (año 1.999).
- Datos correspondientes a usos y coberturas vegetales del suelo de Andalucía, en formato ArcInfo y escala 1:50.000 (año 1.999), elaborado por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.
- Datos correspondientes a geología e hidrogeología, suministrados por el IGME a escalas 1:50.000 (hoja MAGNA 50 correspondiente a la hoja 1053), y 1:200.000 (mapa hidrogeológico correspondiente a la hoja 82).

En el anejo 1.2.1. Datos previos, se incluye una descripción más amplia de las fuentes e información de partida empleada en cada caso.

4. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

El promotor facilita un levantamiento topográfico del sector con detalle de escala 1:1000, vectorizado y con curvas de nivel cada 1 metro. Esta topografía queda referenciada al sistema de coordenadas UTM ED 50, compatible para la superposición en coordenadas originales con otras cartografías empleadas en el trabajo.

Esta cartografía, complementada por los datos de campo, ha sido empleada en la modelización tridimensional del cauce y sus márgenes, para realizar la posterior simulación hidráulica. En el **plano nº 2 Estado Actual**, del presente documento se incluye un plano de la cartografía vectorial, empleada en el estudio.

5. ESTUDIO HIDROLÓGICO

Para la obtención de los caudales en los diferentes puntos de los cauces se han seguido los siguientes pasos.

5.1. Delimitación de cuencas

Para la delimitación de las cuencas vertientes se ha empleado cartografía a escalas 1:10.000 del Instituto Cartográfico de Andalucía, y se detalla en el plano nº 2.4 del presente documento.

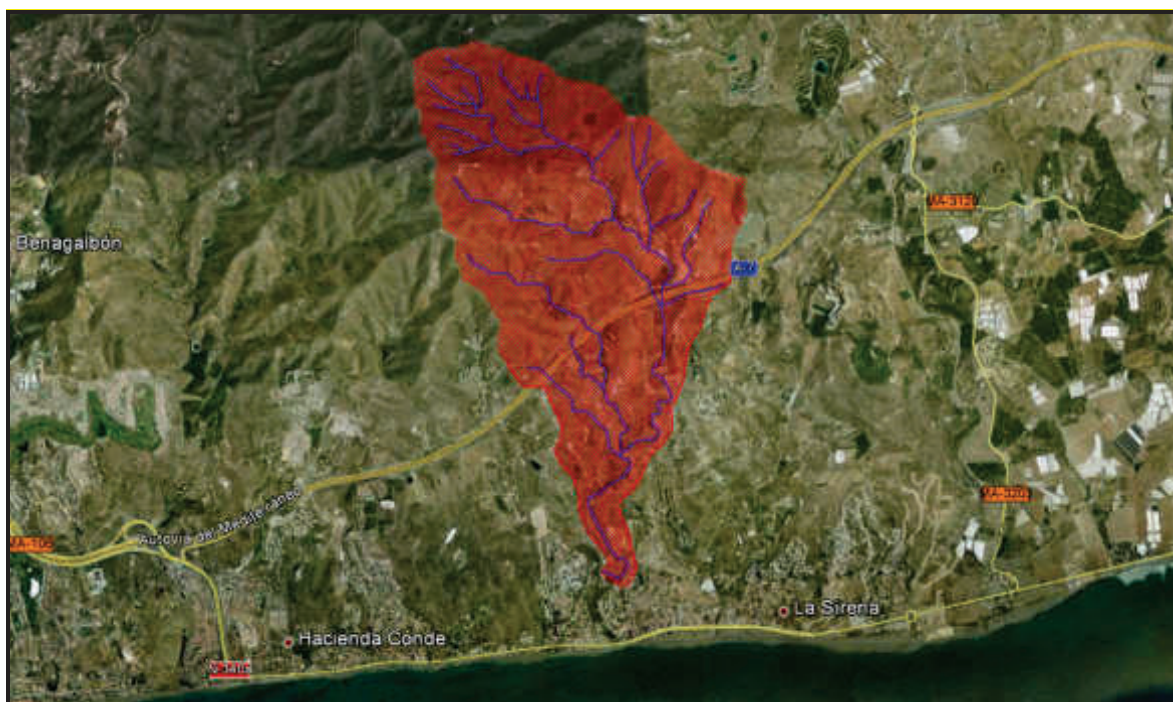


Imagen 1. Delimitación del contorno de la cuenca

Las hojas 1:10.000 empleadas en el presente estudio han sido las siguientes:

HOJA 1053.43

La superficie total de la cuenca estudiada es de 367,17 Has (3,672 km²), distribuida de la siguiente manera:

CUENCA	ZONA	CAUCE	SUPERFICIE (Km ²)
1	Benajárfate	Arroyo La Ermita	3,671678

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO
MEMORIA**5.2. Caracterización morfológica e hidrológica**

Dada la entidad de la cuenca se ha realizado una división única de características hidrológicas homogéneas, permitiendo la aplicación de un único cálculo mediante el método racional de las Instrucción de drenaje superficial.

Por otro lado, se han obtenido una serie de indicadores morfológicos para cada una de las cuencas y subcuencas analizadas. Los parámetros que se han determinado son los siguientes:

- S: Superficie en Km².
- P: Perímetro en km.
- C. Sup: Cota superior de la cuenca de aportación en m.
- C. Inf: Cota inferior de la cuenca de aportación en m.
- L: Longitud del cauce principal en km.
- i: Pendiente media del cauce principal en tantos por uno.

Para la gestión de la información se ha empleado el programa ARC-VIEW generando información en formato GIS, y aportando zonas homogéneas con datos de pendientes, permeabilidad, vegetación y usos del suelo. Para cada una de estas áreas se ha obtenido un valor de precipitación inicial, (Po), o de número de curva, (CN). El valor de Po se ha empleado en los cálculos simplificados por el Método de la Instrucción 5.2-IC "Drenaje Superficial".

LONG. CAUCE L (km)	COTA SUP. CAUCE C.Sup (m)	COTA INF. CAUCE C.Inf (m)	PENDIENTE MEDIA i (m/m)
5,199	417,9	18	0,077

PERMEAB.	PEND.	USOS	Po	Po'	Area (m2)	Po' * Area
D	--	1. Z. urbanizadas / urbanizables	1	3.10	117653.0	364724.30
D	--	2. Urb. Agrícolas / residenciales	1,5	4.65	41995.0	195276.75
D	--	3. Carreteras, autovías, caminos	1	3.10	84084.0	260660.40
D	--	4. Invernaderos	1	3.10	18850.0	58435.00
D	P>3	5. Matorral Disperso	5	15.50	2115995.0	32797922.50
D	P>3	6. Pastizal no arbolado	6	18.60	222684.0	4141922.40
D	P>3	7. Mosaicos leñosos en secano	9	27.90	901874.0	25162284.60
D	P>3	8. Cultivos leñosos	6	18.60	56573.0	1052257.80
D	P>3	9. Cultivos herbáceos secano	7	21.70	31267.0	678493.90
D	P>3	10 Cultivos herbáceos regadío	6	18.60	3246.0	60375.60
D	P>3	11 Olivar secano	6	18.60	45599.0	848141.40
D	P>3	12 Frutales tropicales	10	31.00	22302.0	691362.00
D	--	13 Balsas, lagos, embalses	80	248.00	9556.0	2369888.00
				Suma:	3671678.0	68681745
					Po' medio	18.71

5.3. Pluviometría de la zona

La estimación de la lluvia máxima previsible en un intervalo de 24 horas para los periodos de retorno de 10 y 500 años, se ha obtenido a partir de la publicación del Ministerio de Fomento "Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular". En dicha publicación viene incluido el

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO
MEMORIA

programa "maxpluwin", en el que introduciendo las coordenadas UTM (huso 30) del centro de cada cuenca, se obtiene la precipitación máxima en 24 horas esperada para el periodo de retorno considerado.

En cuanto a la distribución temporal de precipitaciones, se adopta para toda la cuenca una intensidad uniforme durante el tiempo de concentración, según el método de la Instrucción.

De la aplicación del maxpluwin resumimos los resultados obtenidos en las siguientes tablas, para los periodos de retorno de 10 y de 500 años.

Precipitaciones máximas diarias Pd para cada periodo de retorno de 10 años

CUENCA	CAUCE	Pd (mm/d)
		T10
1	Arroyo La Ermita	97,00

Precipitaciones máximas diarias Pd para cada periodo de retorno de 500 años

CUENCA	CAUCE	Pd (mm/d)
		T 500
1	Arroyo La Ermita	226,00

5.4. Escorrentía superficial

Para la determinación de caudales según el periodo de retorno considerado, se adoptarán el mayor de los valores resultantes de la aplicación de los siguientes métodos propuestos por la Agencia Andaluza del Agua:

- c.1)** El obtenido por el método racional "Instrucción 5.2 IV Drenaje superficial" del Ministerio de Fomento, con la modificación introducida por J.R. Témez $Q=K.C.lt.A/3$, con $K=1+(Tc^{1,25})/(14+Tc^{1,25})$. En ningún caso se utilizarán valores de umbral de escorrentía ya corregidos Po superiores a 25mm. Asimismo, tampoco se aceptarán coeficientes de escorrentía "C" inferiores a 0,65 para un periodo de retorno de 500 años.

Para caudales de periodo de retorno de 500 años se deberá comprobar que el valor resultante dará caudales específicos superiores a los que aquí se indican:

- c.2)** Los siguientes valores en función de la superficie de la cuenca:

Superficie (km ²)	Q (m ³ /s/km ²)	Características de los terrenos
0-5	20	Rústicos y urbanos
5-20	20-15	Rústicos
5-30	20-15	Urbanos

- c.3)** El valor arrojado de las siguientes fórmulas empíricas:

$$\text{Si } S < 25 \text{ km}^2 \quad Q = 45.S^{0,636}$$

$$\text{Si } S > 25 \text{ km}^2 \quad Q = 65,54.S^{0,522}$$

En el caso del apartado c.3, únicamente se comprueban las cuencas con una superficie superior a 20 km².

A continuación se muestran las siguientes tablas, especificando los diferentes caudales (m3/s), según el método empleado:

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO
MEMORIA**Tabla 1.** Determinación de caudales para el periodo de retorno de 10 años, mediante el método c.1.

PERIODO DE RETORNO 10 AÑOS

CAUCE	Pd T10	It T 10	Po corregido	C T 10	S km ²	Q (m3/s) T 10
Arroyo La Ermita	97,00	27,81	18,71	0,45	3,671678	15,33

Tabla 2. Determinación de caudales para el periodo de retorno de 500 años, mediante el método c.1.

PERIODO DE RETORNO 500 AÑOS

CAUCE	Pd T500	It T 500	Po corregido	C T 500	S km ²	Q (m3/s) T 500
Arroyo La Ermita	226,00	64,79	18,71	0,73	3,671678	57,86

Tabla 3. Comprobación de caudales para el periodo de retorno de 500 años, mediante los métodos c.2

PERIODO DE RETORNO 500 AÑOS

CUENCA	ZONA	CAUCE	SUPERFICIE S (Km ²)	Q (m3/s) c.2)
1	Benajarafe	Arroyo La Ermita	3,671678	73,43

Tabla 4. Caudales de diseño para los periodos de retorno 10 y 500 años

PERIODOS DE RETORNO DE 10 Y 500 AÑOS

CUENCA	CAUCE	Q T 10	Q T 500
1	Arroyo La Ermita	15,33 m ³ /s	73,43 m ³ /s

6. ESTUDIO HIDRÁULICO

6.1. Procedimiento de cálculo

La simulación matemática del flujo ha requerido de un trabajo intenso preliminar para determinar de la forma más real posible las condiciones geométricas del cauce, las condiciones de contorno y las variables hidráulicas que determinan la cota absoluta de la lámina de agua.

Para la elaboración de los cálculos hidráulicos se ha partido de la cartografía **vectorial a escala 1:1000** del cauce que afecta al **sector SUS.B-3**. En dicha cartografía además de existir curvas de nivel en cota, todos los elementos gráficos se hayan elevados. Por dicho motivo la primera fase del trabajo ha consistido en depurar la información de partida eligiendo los elementos con información relevante para la geometrización del cauce y sus márgenes y descartando aquellos que pudieran introducir errores en el modelo digital del cauce y sus llanuras de inundación.

Dicha información cartográfica se ha completado con los datos tomados en campo, que analizan las condiciones singulares del cauce. En particular se han considerado los valores de rugosidad analizados, así como todos aquellos detalles no apreciables en la cartografía. Posteriormente se ha realizado una conversión de la cartografía elaborada a un modelo edm, el cual se ha triangulado para modelizar el terreno en tres dimensiones, obteniendo **secciones transversales cada 25 metros de distancia como máximo**. Tales secciones se han exportado posteriormente en formato GIS para su proceso mediante la herramienta de modelización hidráulica **HEC-RAS v 4.0.0**.

El cálculo se ha hecho en régimen permanente, y no se han considerado fenómenos de esponjamiento de la sección hidráulica por transporte de sólidos, puesto que los valores restrictivos del coeficiente de rugosidad impuestos, incluyen de forma más o menos objetiva dicho efecto.

6.2. Procedimiento de cálculo

En el **anexo 1.2.3**, se aportan los cálculos elaborados, recogiendo listados de variables hidráulicas resultantes en cada sección de cálculo, perfiles longitudinales y perfiles transversales para 10 y 500 años de período de retorno de cada cauce. Dichos resultados han servido de base para la posterior elaboración de los planos de inundación, que han sido obtenidos a través de la herramienta GIS HEC Georas.

Se han realizado dos simulaciones hidráulicas:

Escenario I. Cálculo hidráulico del arroyo considerando el estado actual del cauce y sus márgenes.

Escenario II. Cálculo hidráulico del arroyo tras la ordenación del sector y su acondicionamiento fluvial de las márgenes. Respetando la zona de Dominio Público Hidráulico y su Servidumbre, determinada en el Escenario I, se acondicionan las márgenes para protección de algunas zonas inundables. Se incluye a continuación una sección tipo con la identificación de las distintas zonas del cauce:

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO
MEMORIA

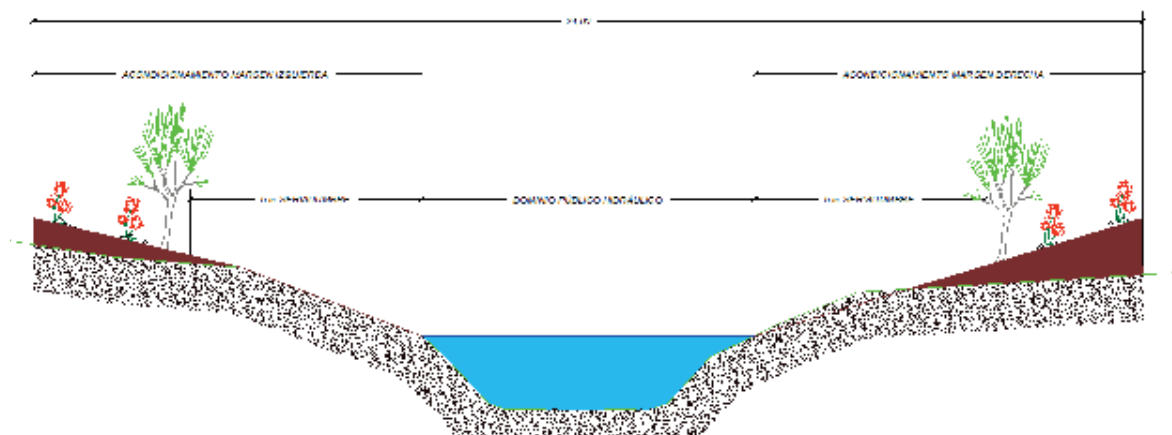
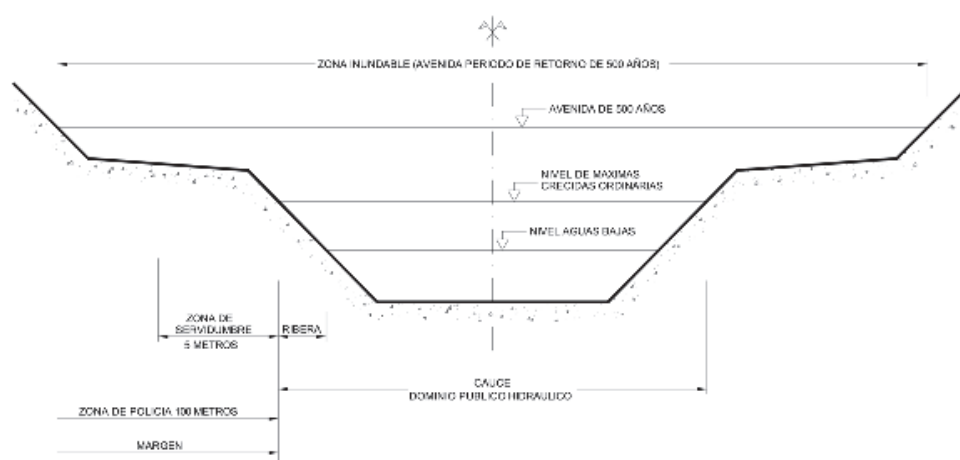


Fig. 1 Sección tipo del arroyo. Escenario II

(Protección de zonas inundables mediante acondicionamiento de márgenes)

La clasificación de las distintas zonas se hará conforme al esquema que establece el Texto Refundido de la Ley de Aguas de 2001, así como el RD 9/2008 por el que se modifica el Reglamento de Dominio Público Hidráulico. El Plan Parcial a desarrollar considerará esta delimitación para garantizar la compatibilidad de usos según la legislación específica:

ZONIFICACIÓN DEL CAUCE Y MÁRGENES INUNDABLES



En los apéndices nº 2 Escenario I y nº 3 Escenario II del anejo 1.2.3 Estudio hidráulico, se incluyen los gráficos y resultados siguientes para cada tramo de estudio:

- Planta general
- Vista 3D T= 10 años
- Vista 3D T= 500 años
- Perfil longitudinal T = 10 años.
- Perfil longitudinal T = 500 años.
- Perfiles transversales T = 10 años.
- Perfiles transversales T = 500 años.
- Variables de cálculo T = 10 y T = 500 años.

7. CONCLUSIONES

Los cálculos realizados para los períodos de retorno de 10 y 500 años, permiten definir perfectamente el D.P.H., con carácter de suelo no urbanizable de especial protección y por lo tanto a excluir del ámbito del sector (según el artículo 46 de la LOUA), así como las zonas inundables asociadas a un período de recurrencia de 500 años.

El presente estudio hidráulico del arroyo La Ermita será incorporado al Documento del Plan Parcial de Ordenación del Sector SUP-B.3, teniendo en cuenta la delimitación propuesta de Dominio Público Hidráulico, Servidumbres y Zonas Inundables del arroyo La Ermita a su paso por el mismo.

Los resultados obtenidos del cálculo hidráulico justifican la propuesta de delimitación del Dominio Público Hidráulico, Servidumbre y Zonas Inundables, en las siguientes situaciones:

1. Escenario I. Estado actual del cauce y sus márgenes. Se determina la superficie de Dominio Público Hidráulico, Servidumbre y Zonas Inundables.
2. Escenario II. De modo inherente a la ordenación del sector, se delimita una franja para el arroyo que permitirá su integración en el desarrollo urbanístico. El escenario II contempla la protección de algunas zonas inundables mediante el acondicionamiento de sus riberas. En el modelo digital se elevan aquellas zonas inundables que se pretenden proteger, dejando en el mismo estado el cauce central (dominio público hidráulico) y sendas franjas de 5 metros a cada lado (servidumbre). Se determina la nueva Zona Inundable, manteniéndose el mismo Dominio Público Hidráulico que en el escenario I.

En los plano 2.5 y 2.6 de Zonas de Inundación y Dominio Público Hidráulico, correspondientes a los Escenarios I y II respectivamente, se incluye los resultados gráficos obtenidos del cálculo hidráulico correspondientes a los períodos de retorno de 10 y 500 años, detallando las superficies de ocupación sobre el sector que afecta.

Con carácter general la sección transversal natural del cauce estudiado satisface las necesidades de desagüe para los distintos periodos de retorno, y considerando la integración urbanística del arroyo en el sector (escenario II), no se produce ningún desbordamiento sobre la franja destinada a evacuar las avenidas correspondientes al periodo de retorno de 500 años.

La Zona de Dominio Público Hidráulico determinada en este estudio, calculada para una avenida con periodo de retorno de 10 años, habrá de excluirse del sector de suelo urbanizable delimitado en el P.G.O.U. de Vélez-Málaga en aplicación de las determinaciones de la Ley de Ordenación Urbanística de Andalucía.

En las Zonas de Servidumbre de Protección de cauces, a la que se refiere el artículo 6.1.a) del Texto Refundido de la Ley de Aguas, se garantizará, conforme a la Ley 9/2010, de 30 de julio, de Aguas para Andalucía, con carácter general la continuidad ecológica, para lo cual deberán permanecer regularmente libre de obstáculos, sin perjuicio del derecho a sembrar en los términos establecidos por la legislación básica

En lo que respecta a las Zonas Inundables, deberán tener un uso compatible con lo establecido según el Decreto 189/2002 por el que se aprueba Plan de Prevención de Avenidas e Inundaciones en cauces urbanos Andaluces.

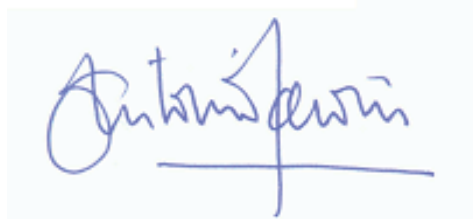
El planeamiento urbanístico dará un tratamiento respetuoso al cauce y sus márgenes, de forma que el medio ambiente hídrico sea respetado e integrado por el desarrollo del sector.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO
MEMORIA

Todas las justificaciones y cálculos desarrollados en el presente documento, se entienden como suficientes para ser elevados a la consideración de la Dirección General de Planificación y Gestión del Dominio Público Hidráulico, de la Consejería de Medio Ambiente.

Vélez-Málaga junio de 2.012

EL ARQUITECTO AUTOR DEL ESTUDIO



Fdo. Antonio Garvín Salazar

ANEJOS A LA MEMORIA

1. ANEJO 1. DATOS PREVIOS

1.1. Introducción

Para realizar el presente estudio hidrológico - hidráulico del arroyo la Ermita, que afecta al sector SUP B-3 "El Soto" en Benajárate, propuesto como urbanizable en el PGOU de Vélez-Málaga, y que por lo tanto afecta a su desarrollo, se ha partido de los siguientes datos previos:

- Plan Parcial del sector SUP-B3 "El Soto" en Benajárate (Vélez-Málaga).
- Plan de Prevención de Avenidas e Inundaciones en cauces urbanos andaluces.
- Estudio hidráulico para la ordenación de las cuencas de la Costa del Sol Oriental.
- Protocolo de colaboración entre la Agencia Andaluza del Agua y la Mancomunidad de Municipios de la Costa del Sol Oriental.
- Instrucción de 20 de Febrero de 2012 de la Dirección General de Planificación y Gestión del Dominio Público Hidráulico sobre la elaboración de informes en materia de aguas a los planes con incidencia territorial, a los planeamientos urbanísticos y a los actos y ordenanzas de las entidades locales.
- Cartografía a escala 1:10.000, propiedad del ICA. La cartografía 1:10.000 usada en el estudio, es la correspondiente al mosaico incluido en las siguientes hojas: 1053 (105343).
- Cartografía vectorial obtenida mediante levantamiento topográfico del sector, con curvas de nivel a 1 metro y georreferenciada bajo el sistema UTM ED50.
- Datos de precipitación según la publicación "Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular", de la DGC del Ministerio de Fomento (año 1.999).
- Datos correspondientes a usos y coberturas vegetales del suelo de Andalucía, en formato ArcInfo y escala 1:50.000 (año 1.999), elaborado por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.
- Datos correspondientes a geología e hidrogeología, suministrados por el IGME a escalas 1:50.000 (hoja MAGNA 50 correspondiente a la hoja 1053), y 1:200.000 (mapa hidrogeológico correspondiente a las hojas 82).

1.2. Análisis previo

Como documento de partida y contraste se ha utilizado el Estudio hidráulico para la ordenación de las cuencas de la costa del sol Oriental, facilitado por la Consejería de Medio Ambiente.

Con el objeto de realizar un estudio de mayor precisión al mencionado anteriormente, dada la escala de trabajo, se redacta el presente documento, donde el estudio hidráulico del arroyo se realiza en base a una topografía del sector a escala 1:1.000, permitiendo así definir una propuesta de deslinde para el Dominio Público Hidráulico y para las zonas Inundables, con mayor grado de detalle sobre la geomorfología real del cauce y sus márgenes.

En la siguiente figura se representa la imagen extraída del *Estudio Hidráulico para la ordenación de las cuencas de la costa del sol Oriental*, donde se definen los niveles de riesgos y las zonas inundables del arroyo la Ermita en el tramo que afecta al desarrollo del sector que se pretende.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA



Fig. 1. Zonas inundables del arroyo La Ermita en el ámbito del sector SUP B-3, según el Estudio Hidráulico para la Ordenación de las Cuencas de la Costa del Sol Oriental

En el apéndice nº 2 de este anejo se incluye plano original de definición de los niveles de riesgo y zonas inundables para el arroyo la Ermita, extraído del Estudio Hidráulico para la ordenación de las cuencas de la costa del sol Oriental.

1.3. Cartografía

El promotor facilita un levantamiento topográfico del sector con detalle de escala 1:1000, vectorizado y con curvas de nivel cada 1 metro. Esta topografía queda referenciada al sistema de coordenadas UTM ED 50, compatible para la superposición en coordenadas originales con otras cartografías empleadas en el trabajo.

Esta cartografía, complementada por los datos de campo, ha sido empleada en la modelización tridimensional del cauce y sus márgenes, para realizar la posterior simulación hidráulica. En el *plano nº 2 Estado Actual*, del presente documento se incluye un plano de la cartografía vectorial, empleada en el estudio.

Para realizar el correspondiente estudio hidrológico, se ha empleado con carácter general la cartografía a escala 1:10.000 del ICA, cartografía sobre la que se ha realizado el correspondiente estudio físico y geomorfológico de las diferentes cuencas identificadas.

1.4. Toma de datos en campo

Durante la toma de datos en campo se ha realizado un exhaustivo inventario de las diferentes obras de drenaje y tramos singulares, con objeto de llevar a cabo las siguientes actividades:

- 1.- Análisis de la información recogida en la cartografía.
- 2.- Comprobación de las secciones tipo de cauce:
 - Ubicación.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

- Características geométricas de los actuales arroyos.
 - Cotas básicas para el estudio (terreno, solera de la obra, calzada, etc...).
 - Existencia de obras de drenaje
 - Vegetación
- 3.- Confirmación de límites de cuenca, trazado de vaguadas y esquemas de flujo en crecidas extraordinarias.

1.5. Datos de precipitación de estaciones meteorológicas

Los datos correspondientes a las precipitaciones máximas en 24 horas, empleados en el desarrollo del presente estudio, se han obtenido a partir de los datos suministrados por la publicación "Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular", de la DGC del Ministerio de Fomento (año 1.999), haciendo uso para ello del software de cálculo MAXPLUWIN que acompaña a dicho texto.

La finalidad de dicha publicación, de uso ampliamente extendido, es la de presentar un método operativo que de una manera breve y fiable, nos proporcione un valor de las "Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular" que sirva de base de partida para el cálculo de los caudales a desaguar por los pequeños cauces existentes en las obras de carreteras, supliendo así la ausencia de aforos en los mismos. El estudio realizado por la DGC incluye las siguientes fases:

- 1.- Selección de estaciones pluviométricas y recopilación de sus datos correspondientes a las máximas lluvias diarias.
- 2.- Modelación estadística de las series anuales de máximas lluvias diarias realizando una estimación regional de parámetros y cuantiles.
- 3.- Análisis de la distribución del valor medio de las series anuales de máximas lluvias diarias, estimado directamente a partir de las muestras.
- 4.- Resumen y presentación de los resultados alcanzados tanto en la forma tradicional de planos, como en versión informática aprovechando la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Dado el carácter eminentemente práctico del texto, básicamente lo referido en la 4ª de las fases inmediatamente enunciadas, y tras una revisión de los principales resultados obtenidos en las etapas anteriores, se incluyen los planos finalmente elaborados, así como el resumen de las principales características del SIG empleado y de la aplicación informática desarrollada (GISPLU), que permite para los periodos de retorno dados, la consulta de los cuantiles de máximas lluvias diarias en cualquier punto de la geografía peninsular española.

En nuestro caso, para la zona geográfica correspondiente al presente estudio, el mapa de isólineas y coeficiente de variación correspondiente, se corresponde con el de Andalucía Oriental

1.6. Usos del suelo

Para la identificación de los usos del suelo y vegetación existente en la zona de estudio, con objeto de realizar el estudio hidrológico previo al cálculo hidráulico de los cauces identificados en el presente estudio, se ha empleado el Mapa de Usos y Coberturas Vegetales del Suelo de Andalucía, en formato ArcInfo y escala 1:50.000 (año 1.999), elaborado por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, y disponible en su página web.

El Mapa de Usos y Coberturas Vegetales del Suelo de Andalucía constituye un proyecto en el que se recogen datos sobre los usos o formas de ocupación del suelo presentes en el territorio de Andalucía. Dichos datos son integrados en un sistema de información geográfica para el desarrollo de aplicaciones y para el análisis de la información. Por el carácter digital de los datos ofrece la posibilidad de análisis cuantitativos y cartográficos a distintos niveles de referencia territorial

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

(regional, provincial municipal, EENNPP, etc), así como a distintos niveles de agregación de los mismos.

El carácter dinámico y global de la información incluida en el sistema encuentra aplicación en muchos ámbitos de la gestión ambiental y territorial como la evaluación y explotación de los recursos naturales, la ordenación territorial y ambiental, la evaluación y prevención de determinados procesos naturales y actividades humanas, etc.

Con la realización de dicha cartografía la Consejería de Medio Ambiente dispone de una base de datos y cartografía de interés para el seguimiento de los cambios de usos en la totalidad del territorio, así como para el estudio de múltiples problemáticas de índole ambiental y territorial como la erosión por pérdida de la cubierta vegetal, la contaminación y sobreexplotación de recursos hídricos por prácticas agrícolas intensivas, contaminación atmosférica y de las aguas por actividades industriales, sellado e impermeabilización de suelos por las construcciones, etc.

1.7. Geología

Para la elaboración del presente estudio hidrológico – hidráulico, se ha empleado la información geológico e hidrogeológica suministrada por el Instituto Geológico y Minero de España, dependiente de Ministerio de Ciencia e Innovación.

Los datos han sido suministrados por el IGME a escalas 1:50.000 (MAGNA 50 correspondiente a la hoja 1053).

La información correspondiente se incluye en los apéndices que acompañan al estudio hidrológico que se incluye en el anejo 1.2.2 del presente estudio.

1.8. Apéndice 1. Reportaje fotográfico



Vista 1 del cauce

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA



Vista 2 del cauce

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA



Vista 3 del cauce

1.9. Apéndice 2. Plano de limitación de usos en zona inundable del Estudio hidráulico para la ordenación de las cuencas de la Costa del Sol Oriental



Urbanización Molinero

Uso Hidráulico
vidumbre
cia

USO EN ZONAS INUNDABLES
Instalación alguna, temporal o permanente.
Iniciadas justificadas de interés público, se

1.10. Apéndice 3. Plano de definición de niveles de riesgo del Estudio hidráulico para la ordenación de las cuencas de la Costa del Sol Oriental



LOS ARBO

Nivel de Riesgo D:
Afectación: Otros urbanizables
Causa: 100 y 100 años
Afectación: 50 años
T.M. Vozes Malaga

Nivel de Riesgo C:
Afectación: Otros urbanizables
Causa: 100 y 100 años
Afectación: 50 años
T.M. Vozes Malaga

Nivel de Riesgo C:
Afectación: accesos
Causa: 100 y 100 años
Afectación: 50 años
T.M. Vozes Malaga

Nivel de Riesgo B:
Afectación: instalación eléctrica
Causa: 100 y 100 años
Afectación: 50 y 100 años
T.M. Vozes Malaga

URBANIZACIÓN MOJONERO

2. ANEJO 2. ESTUDIO HIDROLÓGICO.

2.1. Introducción

Objetivos de la simulación hidrológica

El principal objetivo de la presente simulación hidrológica, es el obtener los diferentes caudales de avenidas, según diferentes períodos de retorno, para los cauces identificados en el presente estudio.

Los períodos de retorno que se han considerado en el presente estudio han sido los siguientes:

- T = 10 AÑOS, para la determinación del Dominio Público Hidráulico
- T = 500 AÑOS, para la determinación de Zonas Inundables

Para la determinación de dichos caudales, se ha seguido la metodología propuesta por la Agencia Andaluza del Agua, concretamente desde la Dirección Provincial de Málaga, que se detalla en el apartado 1.3.

Los caudales determinados en la presente simulación hidrológica son los que posteriormente se emplean para calcular las líneas de ocupación del agua para cada período de retorno.

- Período de retorno T = 10 años → $Q_{(T10 \text{ AÑOS})}$ → Dominio Público Hidráulico
- Período de retorno T = 500 años → $Q_{(T500 \text{ AÑOS})}$ → Zona Inundable

Descripción de las cuencas objeto de estudio

Mediante tratamiento cartográfico del cauce considerado en el presente estudio, se delimita la correspondiente cuenca vertiente, que se extiende dentro del término municipal de Vélez-Málaga.

Se ha partido de la Cartografía a escala 1:10.000 del ICA para la definición de de la cuenca del arroyo la Ermita, cuyo ámbito orográfico queda del siguiente modo:

- Norte: Lomas de Benajárfé
- Sur: Urbanizaciones del frente litoral de la playa de Benajárfé
- Este: Cuenca el arroyo Iberos
- Oeste: Cuenca del arroyo Cañuelo

Aproximadamente, un 73% de la superficie total de la cuenca queda al norte de la Autovía A-7, y el 27% restante, al sur. La cuenca se cierra en el límite sur de la zona que se pretende estudiar, quedando al borde del núcleo urbano de Benajárfé, en las urbanizaciones San José y las Biznagas.

En la siguiente imagen se representa el contorno de la cuenca correspondiente al arroyo La Ermita. En el apéndice 1 del presente anejo, se incluye plano de delimitación de cuencas, sobre el plano 1:10.000 del ICA.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

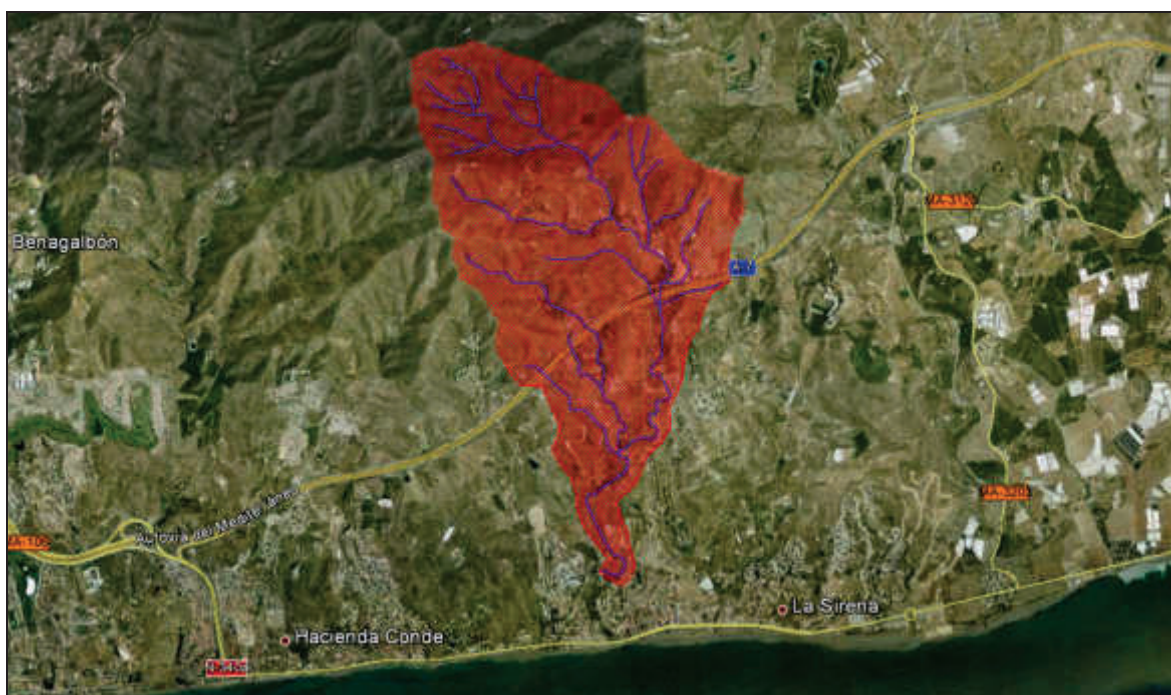


Imagen 1. Delimitación del contorno de la cuenca

En lo que se refiere a las pendientes del terreno, éstas oscilan entre el 15 y el 30% en la mayor parte de la cuenca, aunque para la parte baja de la misma, las pendientes se atenúan quedando siempre y en todo caso por encima del 3%

En cuanto a litología y usos del suelo la zona de estudio responde a una amplia gama por la extensión que abarca, quedando detallada en los apartados correspondientes de caracterización del suelo.

En la siguiente imagen se muestra la perspectiva de los límites hidrográficos de la cuenca.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

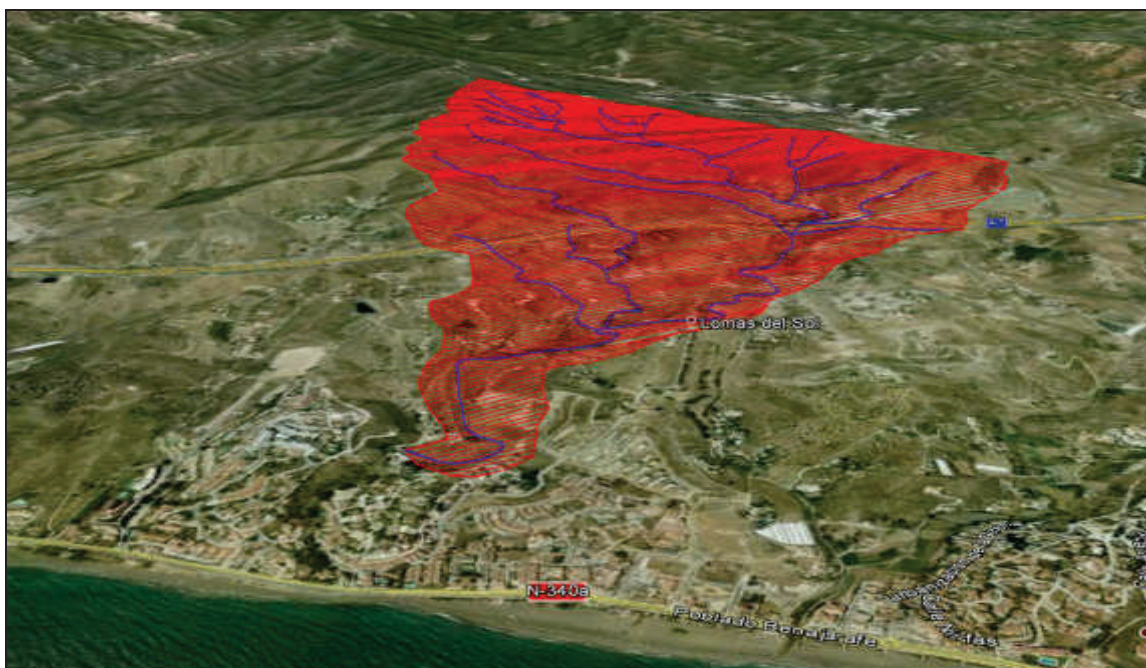


Imagen 2. Perspectiva del contorno de la cuenca

Metodología empleada

Para determinar la avenida máxima correspondiente a un período de retorno determinado, se han aplicado los distintos métodos exigidos por la Agencia Andaluza del Agua. El estudio se ha dividido en los siguientes bloques:

- Caracterización de cuencas
- Estudio del régimen pluviométrico
- Aplicación de los distintos métodos de cálculo
- Análisis de resultados

Se expone a continuación los distintos criterios de aplicación en la metodología de cálculo, exigidos por la Agencia Andaluza del Agua para los estudios hidrológicos-hidráulicos que competen a la Dirección Provincial de Málaga.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

DIRECTRICES PARA LA REDACCIÓN DE ESTUDIOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DESTINADOS AL DISEÑO DE OBRAS DE PASO Y ENCAUZAMIENTOS.

1.- ESTUDIO HIDROLÓGICO

En el se deben obtener los caudales previstos en los ríos y arroyos afectados por las obras. Se les dará carácter de cauces públicos (sin menoscabo de lo que dice la Ley de aguas) a los cauces que a pesar de no atravesar terrenos públicos cumplan alguna de las siguientes condiciones:

- Todos los cauces cuya superficie de Cuenca en el punto de cierre que estemos estudiando tenga una superficie, mayor o igual a 0,3 km².
- Todos los ríos y arroyos que aparezcan en línea azul continua o discontinua, en el mapa topográfico nacional a escala 1:25000

Para obtener los caudales indicados, se utilizará el Método Racional Modificado, siguiendo el procedimiento que se indica a continuación para cada una de las cuencas:

a) Planimetría de cuencas

Tomando como base el mapa Mulhacén a escala 1:10000 de la Junta de Andalucía, se obtendrá:

- Área de la cuenca en el punto de estudio.
- Las Coordenadas UTM del centro de la Cuenca (basta un punto aproximado).
- La longitud del cauce principal.
- Las cotas máximas y mínimas de dicho cauce en la Cuenca.

Se incluirá un plano a escala 1/10.000 dónde se represente para cada cuenca el límite de la misma y el eje del cauce principal tomado para el cálculo.

b) Pluviometría

Se obtendrán para cada cuenca los valores de precipitación máxima en 24 horas, para periodos de retorno de 10 y 500 años (y en su caso, si se considera necesario, también las de periodo de retorno de 50 y 100 años), dados en la

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

publicación del Ministerio de Fomento Máximas lluvias en la España Peninsular. En dicha publicación viene incluido el programa "maxpluwin", en el que introduciendo las coordenadas UTM (huso 30) del centro de la cuenca, se obtiene la precipitación máxima en 24 horas esperada para el periodo de retorno que se indique en cada caso.

c) Cálculo de caudales por el Método Racional Modificado

Para determinar el caudal de la cuenca vertiente en el punto donde se proyecten las obras, se adoptará el mayor de los valores siguientes:

- **c.1)** El obtenido por el método racional "Instrucción 5.2 IV Drenaje superficial" del Ministerio de Fomento, con la modificación introducida por J.R. Témez $Q=K \cdot C \cdot It \cdot A/3$, con $K= 1+(Tc^{1,25})/(14+Tc^{1,25})$. En ningún caso se utilizarán valores de umbral de escorrentía ya corregidos P_0 superiores a 25mm. Asimismo, tampoco se aceptarán coeficientes de escorrentía "C" inferiores a 0,65 para un periodo de retorno de 500 años.
- **c.2)** Los siguientes valores en función de la superficie de la cuenca.

Superficies (Km ²)	Q (m ³ /s/Km ²)	Características de los terreno
0-5	20	Rústicos y urbanos
5-20	20-15	Rústicos
5-30	20-15	Urbanos

- **c.3)** El valor arrojado de las siguientes fórmulas empíricas:

$$\text{Si } S < 25 \text{ km}^2 \quad Q = 45 \cdot S^{0,636}$$

$$\text{Si } S > 25 \text{ km}^2 \quad Q = 65,54 \cdot S^{0,522}$$

Para superficies mayores de 30 Km², se aplicará únicamente el punto **c.1** y el **c.3**

2.- ESTUDIO HIDRÁULICO

Con los caudales obtenidos anteriormente para cada cuenca, se determinará la zona ocupada por la lámina de agua para los periodos de retorno indicados de 10 años sobre cauce natural, con el fin de realizar una estimación del D.P.H. Por otra parte se realizará la modelización hidráulica para la obra proyectada teniendo para

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

una avenida de 500 años. Para ello, deberán seguirse los siguientes pasos, para cada uno de los ríos y arroyos considerados:

2.a) Deberá realizarse un trabajo topográfico de campo (no es necesario si la cartografía es adecuada) en el que se obtengan perfiles transversales cada 20 m en la zona del cauce afectada por las obras. urbanísticas del planeamiento. También deberán tomarse perfiles transversales en los puntos singulares como curvas cerradas, cambios de rasante o cambios bruscos de sección.

2.b) A continuación y basándose en dichos perfiles, deberá realizarse un cálculo hidráulico en régimen permanente no uniforme, con el que se obtenga la altura alcanzada por la lámina de agua de cada sección, para la avenida de periodo de retorno 10 años.

2.c) Se realizará posteriormente el estudio hidráulico relativo al comportamiento del caudal relativo a una avenida de 500 años en la obra proyectada.

- El coeficiente de rugosidad de Manning a emplear en los cálculos hidráulicos son los siguientes:
 - 0,045 para cauces naturales normales sin vegetación.
 - 0,050 para cauces naturales normales con vegetación o muy accidentados.
 - 0,035 para encauzamientos con escollera y obras de drenaje transversal de hormigón armado.
 - 0,025 para obras de encauzamientos y embovedados de hormigón.
- En el caso de proyectarse encauzamiento con tuberías, el diámetro mínimo para longitudes superiores a 15 m. será de 1,80 m, en cauces públicos. En el caso de proyectarse otro tipo de secciones, se deberá de tener en cuenta que éstas sean visitables, por lo que la altura mínima deberá ser de 2,0 a 2,20 m. y 2,50 a 3,00 m. de anchura ó superiores a éstas.
- El calado debe ser como máximo el 80 % de la altura de sección proyectada.
- Las secciones deben proyectarse de forma que sean únicas con el fin de evitar posibles atoramientos derivados de los arrastres de sólidos, con lo

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

que no se admite como solución hidráulica obras como marcos bicelulares, ni baterías de secciones circulares o rectangulares.

- La velocidad nunca deberá ser superior a los 6 m/s, por razones de erosión. Con carácter general, teniendo en cuenta la gran cantidad de materiales que transportan las aguas en las avenidas, la velocidad media de la corriente suele quedar por debajo de la velocidad crítica.
- Para todas las conducciones cerradas se deberá cumplir:
 - Se incluirán pozos de registro cada 50 m y en los cambio de dirección.
 - Nunca deben entrar en carga.
- Para el caso concreto de las obras de paso realizadas mediante badenes, se tendrá en cuenta que la solución que se proponga debe no suponer un obstáculo a la circulación normal del agua, con lo que sólo se admitirán obras que sirvan para salvar un caudal relativo a aguas bajas (periodo de retorno 1-5 años), y que no se eleven sobre el lecho del cauce de manera que el taponamiento suponga un posible daño a tercero.
- La superficie estimada de D.P.H. mantendrá su condición de suelo no urbanizable, no variando en superficie a pesar de la ejecución de las obras, siendo esta superficie la estimada sobre el terreno original

3.- PLANOS

Con los resultados de dicho estudio, deberán realizarse los siguientes planos a incluir en el anejo:

- Un plano de planta en el que se indique para cada arroyo, la avenida de periodo de retorno de 10 años (que coincide sensiblemente con el D.P.H, aplicando las especificaciones del artículo 4 del RD 9/2008 de 11 de enero). La escala más aconsejable es la 1:1000.
- Plano de planta en el que se represente la obra que se va a realizar con respecto al cauce.
- Unos perfiles transversales a escala adecuada en donde se indique la zona ocupada por la avenida de periodo de retorno de 10 años.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

- Plano de perfiles transversales en los que se represente la obra proyectada. En el caso de que se trate de una obra de paso o embovedado, se debe acotar la caída de tierras sobre la sección.
- Un perfil longitudinal dónde se indique la altura ocupada por el agua para la avenida de 10 años.
- Perfil longitudinal en el que se represente la obra propuesta.
- Plano de detalle de las secciones propuestas.

Para la modelización hidráulica podrá utilizarse un programa como HEC-RAS.
(www.hec.usace.army.mil)

2.2. Estudio de avenidas

Caracterización de las cuencas de aportación

DELIMITACIÓN DE CUENCAS

Para la delimitación de las cuencas vertientes se ha empleado cartografía a escalas 1:10.000 del Instituto Cartográfico de Andalucía.

Las hojas 1:10.000 empleadas en el presente estudio han sido las siguientes:

HOJA 1053.43

La superficie total de las cuencas estudiadas es de 367,17 Has (3,672 km²), distribuida de la siguiente manera:

CUENCA	ZONA	CAUCE	SUPERFICIE (Km ²)
1	Benajárfes	Arroyo La Ermita	3,671678

En la siguiente figura 3 y en el apéndice 1 del presente anejo, se puede observar gráficamente la distribución espacial de la cuenca considerada en el estudio:

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

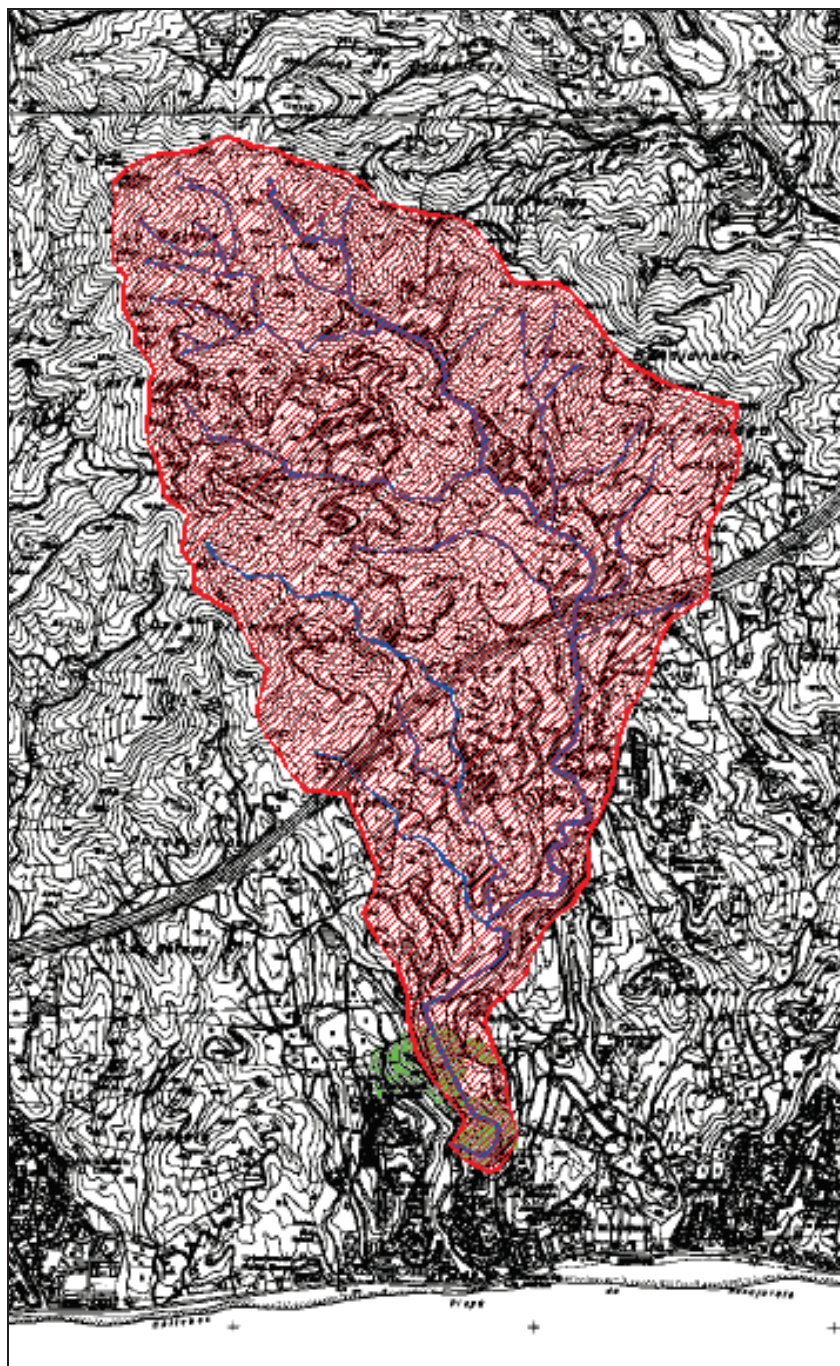


Fig. 3: Delimitación de Cuenca

Leyenda

 Cuenca

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA.

No se ha realizado subdivisión de la cuenca principal, puesto que la cuenca delimitada posee un único arroyo principal con unas características hidrológicas predominantes sobre el resto de los arroyos secundarios que conforman la cuenca. Por lo cual, su funcionamiento hidrológico se podrá determinar mediante un cálculo directo del caudal punta.

Por otro lado, se han obtenido una serie de indicadores morfológicos para cada una de las cuencas analizadas. Los parámetros que se han determinado son los siguientes:

- S: Superficie en Km².
- Coordenadas UTM: Coordenadas X Y del centro de gravedad de cada cuenca
- C.Sup: Cota superior de la cuenca de aportación en m.
- C.Inf: Cota inferior de la cuenca de aportación en m.
- L: Longitud del cauce principal en km.
- i: Pendiente media del cauce principal en tantos por uno.

A continuación se recopilan todos estos datos de cada una de las cuencas delimitadas para el presente estudio.

CAUCE	SUPERFICIE S (Km ²)	Coordenadas UTM del Centroide	
		X	Y
Arroyo La Ermita	3,671678	392.739	4.066.242

LONG. CAUCE L (km)	COTA SUP. CAUCE C.Sup (m)	COTA INF. CAUCE C.Inf (m)	PENDIENTE MEDIA i (m/m)
5,199	417,9	18	0,077

A partir de la longitud del cauce y la pendiente del mismo, se obtendrá el tiempo de concentración, definido en el siguiente apartado.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.

Otro concepto fundamental a la hora de analizar el caudal aportado por cada cuenca, es el tiempo de concentración de la misma, definido como el tiempo que tarda en llegar a la sección de salida la gota de agua de lluvia caída en el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca.

Este parámetro se determina mediante diferentes fórmulas empíricas. En nuestro caso, dada la enorme tradición existente, se ha empleado la fórmula de Témez que es además la que propone la instrucción de drenaje:

$$T_c = 0,3 \times \left(\frac{L}{i^{0,25}} \right)^{0,76}$$

A continuación se adjunta una tabla con el tiempo de concentración calculado para cada cuenca analizada en el presente estudio:

CUENCA	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (h)
Arroyo La Ermita	1,709

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA.

Para determinar la respuesta de una cuenca a un determinado episodio lluvioso, se hace necesario obtener la lluvia que genera dicha escorrentía, es decir, la lluvia neta o exceso de lluvia. Para ello se ha empleado los distintos métodos de cálculo expuestos en el apartado 1.3 Metodología empleada, atendiendo los criterios de la Agencia Andaluza del Agua y la Instrucción de Drenaje 5.2. I.C.

Metodología de la Instrucción 5.2 – IC.

En las todas las cuencas se ha empleado el método racional propuesto en la instrucción de drenaje. Este método define el coeficiente de escorrentía como la proporción de la intensidad de lluvia que genera escorrentía superficial. Depende de la razón entre la precipitación diaria P_d , correspondiente a un determinado período de retorno, y el umbral de escorrentía P_o a partir del cual se inicia ésta.

La fórmula propuesta por la instrucción es:

$$C = \frac{\left(\frac{P_d}{P_o} - 1\right) \times \left(\frac{P_d}{P_o} + 23\right)}{\left(\frac{P_d}{P_o} + 11\right)^2}$$

siendo:

- C = coeficiente de escorrentía.
- P_d = precipitación máxima diaria.
- P_o = umbral de escorrentía.

El umbral de escorrentía se afecta además por un coeficiente corrector en función de la situación geográfica de la cuenca, según la figura 2.5 de la instrucción. En nuestro caso, se ha optado por tomar el valor **3,1** para dicho coeficiente corrector.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

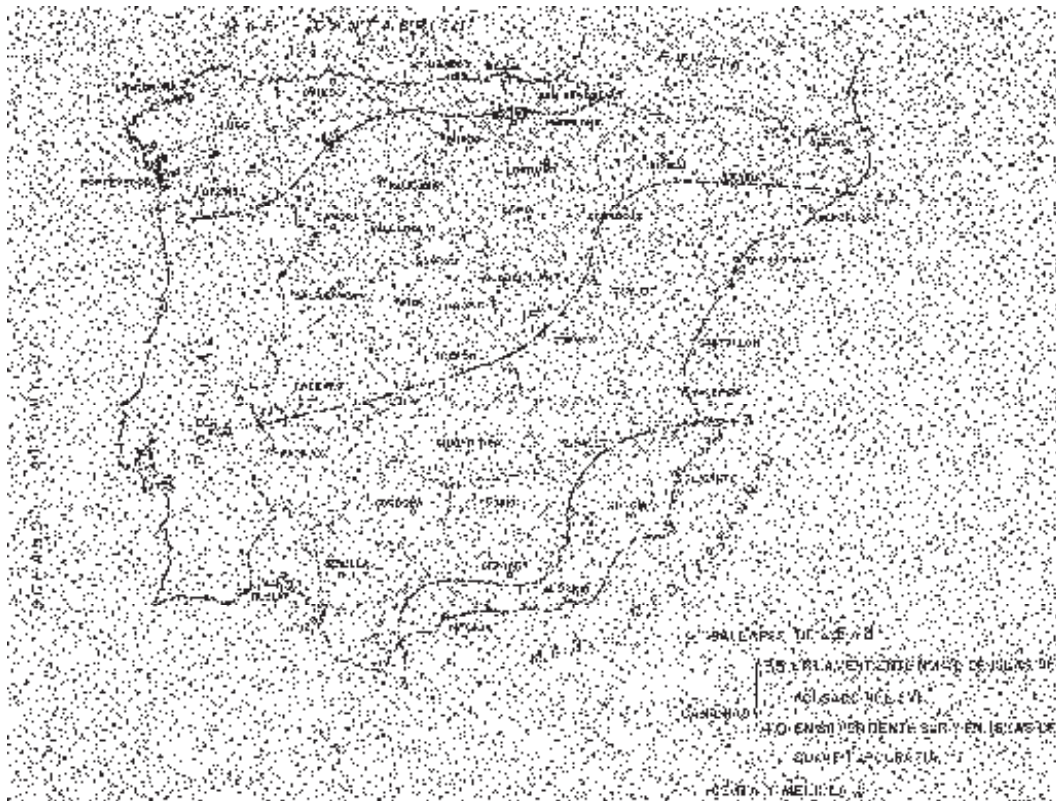


Figura 4. Coeficiente corrector para el umbral de escorrentía.

Como paso previo y necesario para la definición del complejo hidrológico presente en el área de estudio, se hace necesario elaborar una serie de planos temáticos geográficos, con información de la vegetación y usos del suelo, la litología y permeabilidades del terreno.

Vegetación y usos del suelo.

Un aspecto fundamental considerado para la obtención del número de curva es el tipo de cubierta del suelo, conjuntamente con el tipo de tratamiento en el caso de cultivos.

La documentación básica de partida para la obtención de esta información se ha extraído de los "Mapas de Cultivo y Aprovechamientos" del Ministerio de Agricultura a escala 1:50.000. En concreto se ha empleado la hoja de Málaga 1053. Al mismo tiempo se ha tenido en cuenta el cambio de uso a suelo urbanizable del sector SUS-B.3 en estudio reemplazando en este caso el uso definido en el Mapa de Cultivo y Aprovechamiento por el uso nuevo previsto en el sector.

La zona atravesada por las cuencas vertientes, se compone en su mayor parte de terreno correspondiente a los siguientes usos:

1. Zonas urbanizadas / urbanizables
2. Urbanizaciones agrícolas / residenciales
3. Carreteras, autovías, caminos asfaltados
4. Invernaderos
5. Matorral disperso
6. Pastizal no arbolado

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

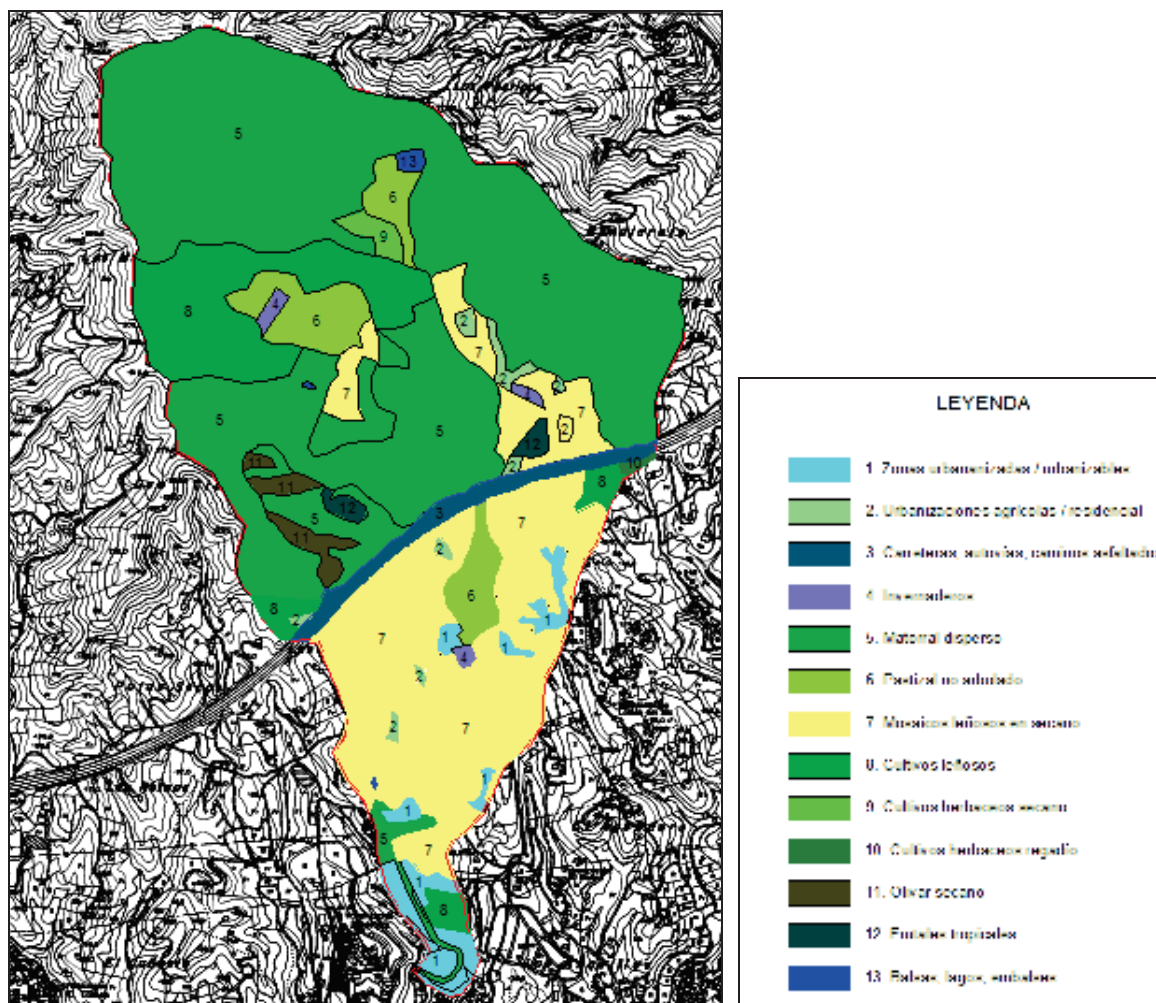
7. Mosaicos leñosos en seco
8. Cultivos leñosos
9. Cultivos herbáceos en seco
10. Cultivos herbáceos en regadío
11. Olivar seco
12. Frutales tropicales

Estos usos serán empleados en la determinación del **umbral de escorrentía Po** según las tablas incluidas en el Apartado correspondiente.

En la siguiente figura se puede apreciar la distribución de la vegetación y los usos del suelo dentro de la cuenca estudiada. Se adjunta apéndice nº 2

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

Figura 5: Usos del suelo.



Litología y permeabilidad.

Otro aspecto fundamental a la hora de establecer la distribución del número de curva en cada una de las subcuencas estudiadas es el análisis de la permeabilidad del agua que ofrecen los diferentes sustratos que conforman las cuencas de recepción.

La documentación básica de partida para la obtención de esta información se ha extraído del Mapa Litológico de Andalucía a escala 1:50.000 elaborado por la Consejería de Obras Públicas y Transportes y la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía y el Mapa Hidrogeológico de España a escala 1:200.000 elaborado por el Instituto Geológico y Minero de España. En relación con la información disponible, se han clasificado los diferentes materiales o suelos en función de sus características hidrológicas de la siguiente forma, según lo dispuesto en la Instrucción de drenaje:

TIPO DE SUELO A

Es el que ofrece menor escorrentía. Incluye los suelos que presentan mayor permeabilidad, incluso cuando están saturados. Comprenden los terrenos profundos, sueltos, con predominio de arena o grava y con muy poco limo o arcilla.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

TIPO DE SUELO B

Incluye los suelos de moderada permeabilidad cuando están saturados, comprendiendo los terrenos arenosos menos profundos que los del grupo anterior, aquellos otros de textura franco-arenosa de mediana profundidad y los francos profundos.

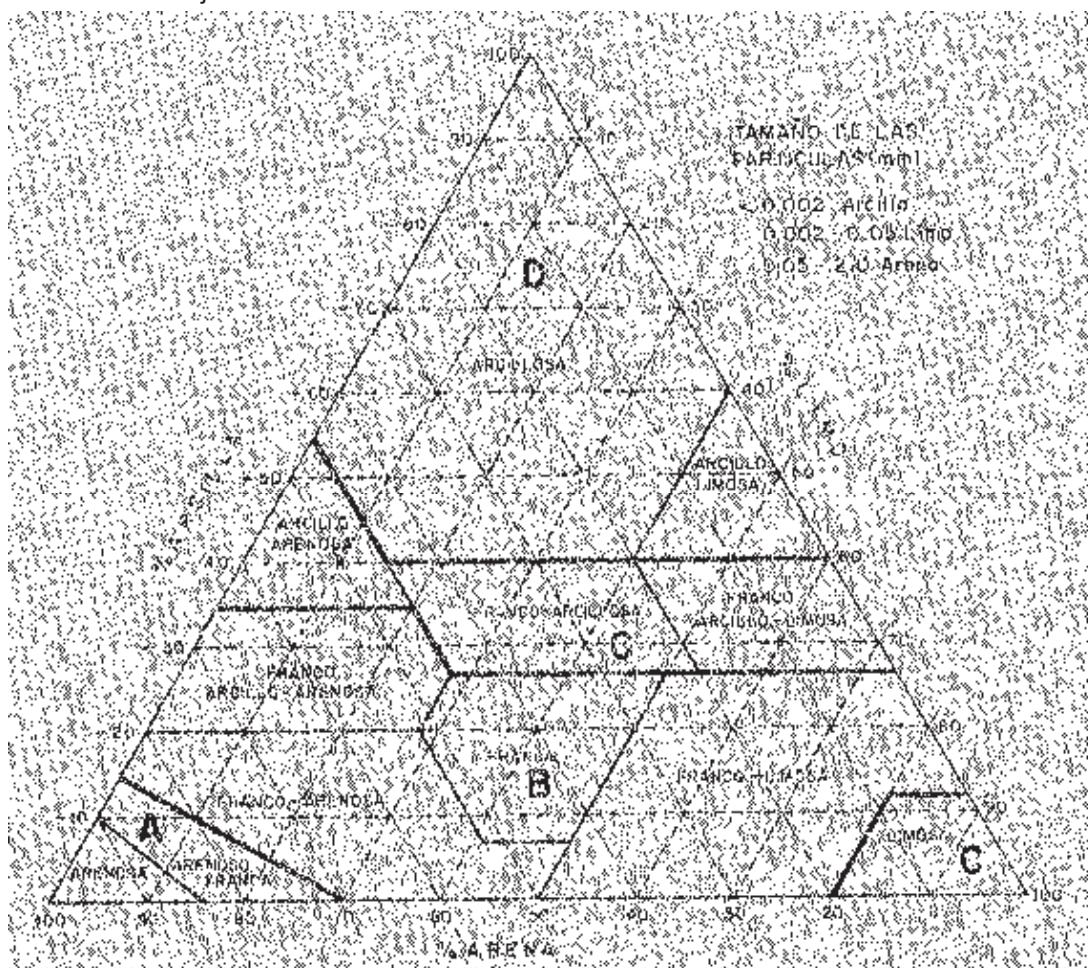
TIPO DE SUELO C

Incluye los suelos que ofrecen poca permeabilidad cuando están saturados, por presentar un estrato impermeable que dificulta la infiltración o porque, en conjunto, su textura es franco-arcillosa o arcillosa.

TIPO DE SUELO D

Es el que ofrece mayor escorrentía. Incluye los suelos que presentan gran impermeabilidad, tales como los terrenos muy arcillosos profundos con alto grado de tumefacción, los terrenos que presentan en la superficie o cerca de la misma una carga de arcilla muy impermeable y aquellos otros con subsuelo muy impermeable próximo a la superficie.

Estos tipos de suelos aparecen sintetizados en la siguiente figura que está extraída de la instrucción de Drenaje:



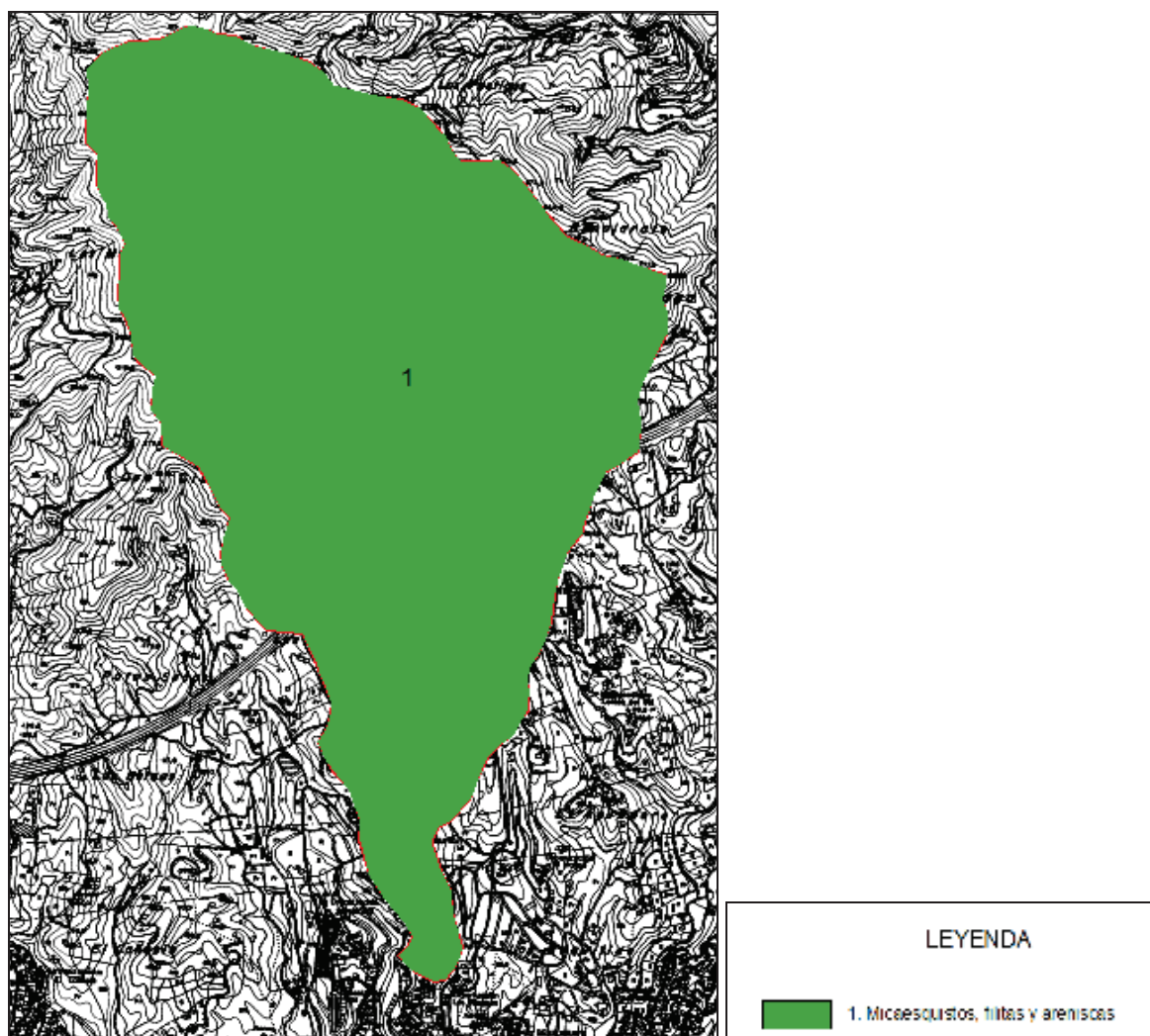
Según esta clasificación se ha asignado el siguiente valor al tipo de suelo (permeabilidad) según los materiales identificados en el plano litológico:

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

Litología	Permeabilidad
Micaesquistos, filitas y areniscas	D

En la figura que se incluye a continuación se resumen las características litológicas y de permeabilidad de los materiales presentes en las diferentes cuencas. Se adjunta apéndice nº 3.

Figura 6: Litología.



Pendiente media.

La pendiente es el tercer factor que actúa como condicionante de la respuesta del terreno frente a aguaceros. La incidencia de la pendiente presenta diversas facetas, siendo las más importantes las relativas al control que ejerce sobre:

- El desarrollo de los suelos y, en consecuencia, su capacidad de retención de agua de lluvia, que es lógicamente mayor en las zonas llanas que en las inclinadas.
- La tasa de infiltración que, para suelos del mismo tipo, es mayor cuanto menor es la pendiente.
- La velocidad del flujo superficial en laderas y cauces, y por lo tanto, el tiempo de concentración de la cuenca.

Para determinar el umbral de escorrentía Po partiremos de las tablas de la Instrucción de Drenaje 5.2.-IC, que se muestran a continuación. Previa clasificación del grupo de suelo A, B, C ó D y conociendo su uso, podremos determinar exactamente el umbral de escorrentía correspondiente.

Uso de la tierra	Presencia (%)	Candelarios Niveles	Especie de árbol			
			A	S	C	D
Reserva de salicosa pobre	2.0	9	26	15	8	5
		8	50	17	11	8
		10.0	50	19	13	10
Reserva de salicosa media	2.0	8	87	20	11	8
		8	77	23	14	11
		10.0	87	21	16	13
Reserva	2.0	Pobre	24	14	11	6
		Media	23	22	14	9
		10.0	83	18	10	7
	2.0	May. media	1	21	22	17
		8	55	33	12	7
		10.0	85	17	12	10
Reserva de salicosa media	2.0	8	82	28	15	11
		8	82	29	14	11
		10.0	82	27	15	11
	2.0	8	82	28	15	11
		8	82	28	15	11
		10.0	82	28	15	11
Reserva de salicosa rica	2.0	8	82	28	15	11
		8	82	28	15	11
		10.0	82	28	15	11
	2.0	8	82	28	15	11
		8	82	28	15	11
		10.0	82	28	15	11
Reserva de salicosa rica	2.0	8	82	28	15	11
		8	82	28	15	11
		10.0	82	28	15	11
	2.0	8	82	28	15	11
		8	82	28	15	11
		10.0	82	28	15	11

$$P_o = \frac{\sum A_i \times P_i}{A_t}$$

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

CUENCA	ZONA	CAUCE	Po CORREGIDO Y PONDERADO
1	Benajarafe	Arroyo La Ermita	18,71

Estudio pluviométrico

INTRODUCCIÓN.

La estimación de la avenida de diseño, necesita de un estudio pluviométrico que determine a nivel diario y horario los aguaceros probables para diferentes periodos de retorno. Los trabajos realizados en este caso han consistido en:

- Estudio de precipitaciones máximas diarias.
- Establecimiento de las intensidades máximas.

PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS.

La estimación de la lluvia máxima previsible en 24 horas para los periodos de retorno de 10 y 500 años, se hará mediante la publicación del Ministerio de Fomento de Máximas Lluvias en la España. En dicha publicación viene incluido el programa "maxpluwin", en el que introduciendo las coordenadas UTM (huso 30) del centro de cada cuenca, se obtiene la precipitación máxima en 24 horas esperada para el periodo de retorno que se considere.

Aplicación maxpluwin.

Para la obtención de las precipitaciones máximas diarias se emplea la aplicación informática maxpluwin. A continuación se detalla una muestra representativa de los resultados obtenidos para cada cuenca de estudio, y para cada periodo de retorno considerado, la precipitación media diaria esperada, Pd (mm/d).

CUENCA 1. T 10 AÑOS

The screenshot shows the MAXPLUWIN application window. At the top, it displays the logos of the Ministerio de Fomento and the Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. The main title is "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular". Below this, there is a "Sistema de Coordenadas" section with a dropdown menu set to "UTM (Huso 30)". The input fields are filled with "UTM X: 392739 m" and "UTM Y: 4066242 m". The "Periodo de Retorno (T)" is set to "10 años". To the right, the calculated values are displayed: "P media: 61 mm/día", "Cv: 0.4910", and "P r: 97 mm/día". At the bottom, there is a red text prompt "Poner coordenadas UTM X en metros" and four buttons: "Calcular", "Ayuda", "Poner a cero", and "Salir".

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

CUENCA 1

T 500 AÑOS

Precipitaciones de cálculo.

De la aplicación del maxpluwin resumimos los resultados obtenidos en las siguientes tablas, para los periodos de retorno de 10 y de 500 años.

Precipitaciones máximas diarias Pd para cada periodo de retorno de 10 años

CUENCA	CAUCE	Pd (mm/d)
		T10
1	Arroyo La Ermita	97,00

Precipitaciones máximas diarias Pd para cada periodo de retorno de 500 años y para cuenca de estudio

CUENCA	CAUCE	Pd
		T 500
1	Arroyo La Ermita	226,00

Se fijan por tanto las precipitaciones máximas diarias en cada cuenca para los periodos de retorno considerados, pudiendo determinar a partir de estas la Intensidad Media de Precipitación para la aplicación del método racional modificado.

Intensidad media de precipitación

La intensidad media de precipitación a emplear en la estimación de caudales de referencia por métodos hidrometeorológicos se obtiene según la siguiente fórmula:

$$\frac{I_t}{I_d} = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0,1-t^{0,1}}}{28^{0,1}-1}}, \text{ donde:}$$

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

- I_d (mm/h): Intensidad media diaria de precipitación, correspondiente al período de retorno considerado. Es igual a $P_d/24$.
- P_d (mm): Precipitación total diaria correspondiente a dicho período de retorno.
- I_1 (mm/h): Intensidad horaria de precipitación correspondiente a dicho período de retorno. El valor de la razón I_1/I_d podrá tomarse de la siguiente figura.
- t (h): Duración del intervalo de referencia al que se refiere I , que se tomará igual al tiempo de concentración.



Con estos valores y los valores de precipitación total diaria P_d , calculados en el apartado anterior, se obtienen los valores finales de Intensidad media de precipitación I_t . En el cálculo se ha empleado un valor de 9,4 para la relación I_1/I_d .

CUENCA	P_d (mm/d) T10	I_d T10	Tiempo de concentración (h)	I_t (mm/h) T 10
1	97,00	4,04	1,709	27,81

CUENCA	P_d (mm/d) T 500	I_d T 500	Tiempo de concentración (h)	I_t (mm/h) T 500
1	226,00	9,42	1,709	64,79

Cálculo de caudales de avenida

Atendiendo a los criterios de la Agencia Andaluza del Agua, se adoptará el mayor de los valores obtenidos según los distintos métodos de cálculo:

- c.1) Método Racional Modificado
- c.2) Fórmula empírica para superficies de cuenca inferiores a 20 km^2
- c.3) Fórmula empírica para superficies de cuenca superiores a 20 km^2

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

En este caso nos encontramos con cuencas con una superficie inferior a 20 km² por lo que se compararán los caudales obtenidos con el método racional modificado y la fórmula empírica c.2) para el periodo de retorno de 500 años

CÁLCULO DE CAUDALES POR EL MÉTODO RACIONAL MODIFICADO.

Los caudales se han calculado siguiendo el método racional Modificado, al que hacen referencia los criterios de la Agencia Andaluza del Agua.

- **c.1)** El obtenido por el método racional "Instrucción 5.2 IV Drenaje superficial" del Ministerio de Fomento, con la modificación introducida por J.R. Témez $Q=K \cdot C \cdot I_t \cdot A/3$, con $K= 1+(T_c^{1,25})/(14+T_c^{1,25})$. En ningún caso se utilizarán valores de umbral de escorrentía ya corregidos P_o superiores a 25mm. Asimismo, tampoco se aceptarán coeficientes de escorrentía "C" inferiores a 0,65 para un periodo de retorno de 500 años.

Donde:

Q = caudal de avenida de la cuenca en m³/sg.

C = coeficiente de escorrentía, cuya expresión es:

$$C = \frac{\left[\left(\frac{P_d}{P_o} \right) - 1 \right] \times \left[\left(\frac{P_d}{P_o} \right) + 23 \right]}{\left[\left(\frac{P_d}{P_o} \right) + 11 \right]^2}$$

Donde:

Pd: Precipitación máxima diaria para un periodo de retorno

Po: Umbral de escorrentía corregido y limitado

A = área de la cuenca en km².

T_c = tiempo de concentración

I_t = Intensidad media de precipitación correspondiente al periodo de retorno considerado y para una duración igual al tiempo de concentración en mm/h. Este valor se deduce de la siguiente expresión:

$$\frac{I_t}{I_d} = \left[\frac{I_1}{I_d} \right]^{\frac{28^{0,1} - T_c^{0,1}}{28^{0,1} - 1}}$$

Donde:

I_d: Intensidad media horaria correspondiente al periodo de retorno considerado (mm/h).

T_c: Tiempo de concentración, en horas.

I₁/I_d: se obtiene del mapa de isolíneas de la instrucción, en nuestro caso

$$\frac{I_1}{I_d} = 9$$

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

En los apartados 2.1.2 y 2.1.3 se han incluido las superficies de las cuencas y su tiempo de concentración.

En la siguiente tabla se recogen los resultados previos a la determinación de caudales para los periodos de retorno de 10 y 500 años.

PERIODO DE RETORNO 10 AÑOS

CAUCE	Pd	It	Po	C	S	Q (m3/s)
	T10	T 10	corregido	T 10	km ²	T 10
A. La Ermita	97,00	27,81	18,71	0,45	3,671678	15,33

PERIODO DE RETORNO 500 AÑOS

CAUCE	Pd	It	Po	C	S	Q (m3/s)
	T500	T 500	corregido	T500	km ²	T 500
A. La Ermita	226,00	64,79	18,71	0,73	3,671678	57,86

CÁLCULO DE CAUDALES MEDIANTE FORMULACIONES EMPÍRICAS.

La Agencia Andaluza del Agua indica que para caudales de periodo de retorno de 500 años se deberá comprobar que el valor resultante dará caudales específicos superiores a los que aquí se indican:

- **c.2)** Los siguientes valores en función de la superficie de la cuenca.

Superficies (Km ²)	Q (m ³ /s/Km ²)	Características de los terreno
0-5	20	Rústicos y urbanos
5-20	20-15	Rústicos
5-30	20-15	Urbanos

- **c.3)** El valor arrojado de las siguientes fórmulas empíricas:

Si $S < 25 \text{ km}^2$ $Q = 45 \cdot S^{0,636}$

Si $S > 25 \text{ km}^2$ $Q = 65,54 \cdot S^{0,522}$

Para el apartado c.3, se comprueban las cuencas con una superficie superior a 20 km², que en nuestro caso no procede por la extensión de la cuenca.

De este modo se ha procedido al cálculo de caudales atendiendo a los valores específicos reseñados. Los caudales resultantes de aplicar esta formulación se muestran en la siguiente tabla:

CUENCA	ZONA	CAUCE	SUPERFICIE S (Km ²)	Q (m3/s) c.2)
1	Benajárfate	Arroyo La Ermita	3,671678	73,43

COMPARATIVA DE CAUDALES PARA T = 500 AÑOS.

Para 500 años de periodo de retorno se consideran los caudales calculados mediante el Método Racional Modificado y los resultados de aplicar los caudales específicos mínimos de la Agencia Andaluza del Agua adoptando finalmente el mayor de los caudales calculados. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

CUENCA	ZONA	CAUCE	Q c.1	Q c.2)
1	Benajárafe	Arroyo La Ermita	57,86	73,43

Caudales de diseño para las cuencas estudiadas

En la siguiente tabla se resumen los caudales de diseño, en **m³/s**, para los distintos periodos de retorno considerados, cumpliendo finalmente el objeto del presente anejo:

CUENCA	CAUCE	Q T 10	Q T 500
1	Arroyo La Ermita	15,33 m3/s	73,43 m3/s