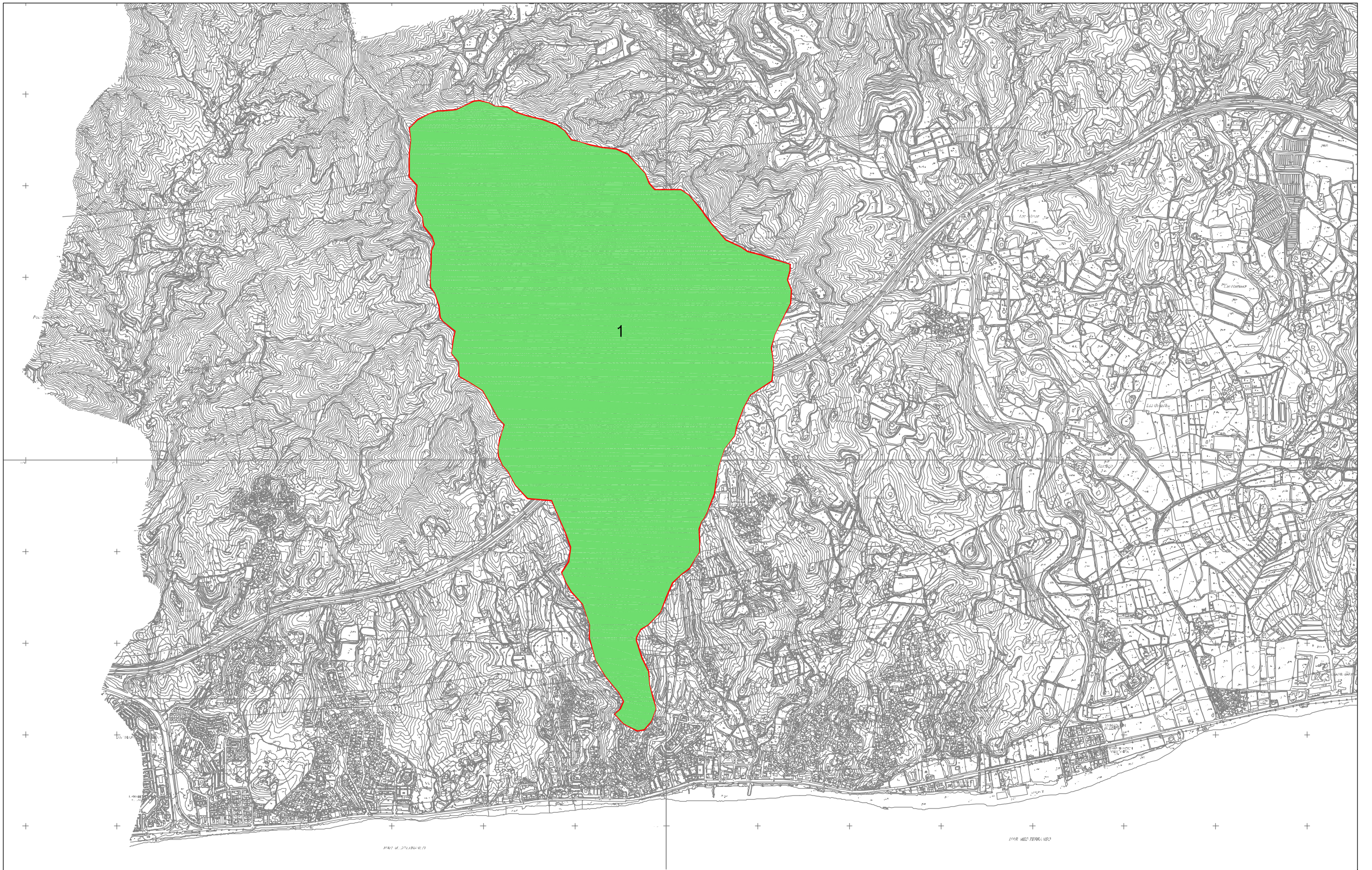


2.5. Apéndice 3. Litología



LEYENDA

1. Micaesquistos, filitas y areniscas

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

3. ANEJO 3. ESTUDIO HIDRÁULICO.

3.1. Objeto del estudio

Con el presente estudio hidráulico se pretenden analizar las condiciones hidráulicas de flujo del arroyo La Ermita (ó de las Adelfas) que afecta al desarrollo del sector SUP-B3 en Benajárafé (Vélez-Málaga), cruzándolo en sentido norte-sur.

El presente análisis hidráulico se hace para los caudales correspondientes a los períodos de retorno de 10 y 500 años. Se determinarán las cotas de agua en cada sección del cauce, y a partir de ellas, se establecerán las zonas inundables, así como las zonas correspondientes al dominio público hidráulico.

Para realizar el presente estudio, se ha partido de los datos hidrológicos y caudales obtenidos en el anejo 1.2.2.- Estudio Hidrológico.

De los resultados obtenidos, es decir, las delimitaciones de los terrenos de dominio público hidráulico y servidumbre, se elevarán al documento del Plan Parcial del Sector, debiendo clasificarlos como no urbanizables de especial protección, en base a lo establecido en el artículo 46 de la LOUA, y conforme al apartado 3.1.9 de 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.

Respecto a las zonas inundables del arroyo La Ermita (T500 años), se analiza la situación además con respecto a la corrección de márgenes propuesta según la ordenación del sector en el Plan Parcial. Esta situación se contempla en un capítulo denominado Escenario II.

Resumiendo, los resultados del presente cálculo hidráulico tendrán dos escenarios.

- Escenario I, situación actual del arroyo, que permitirá delimitar la zona el Dominio Público Hidráulico, la servidumbre y las Zonas inundables.
- Escenario II, que tras el acondicionamiento medioambiental de las márgenes, según la ordenación del Plan Parcial, respetando la Zona de Dominio Público Hidráulico y su Servidumbre, se estudiará la protección de las zonas Inundables. La sección tipo adoptada permitirá delimitar una franja uniforme de la zona inundable, con un ancho máximo de 24 metros.

3.2. Consideraciones legales

Comenzamos por definir los siguientes términos, según 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:

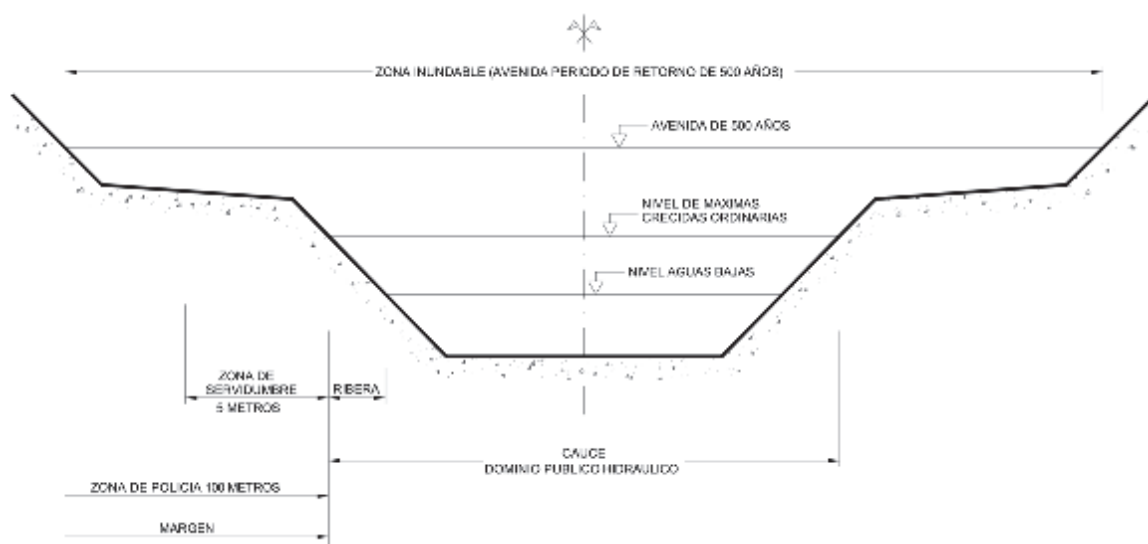
- Cauce: terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias.
- Caudal de máxima crecida ordinaria: media de los máximos caudales anuales, en su régimen natural, producidos durante diez años consecutivos, que sean representativos del comportamiento hidráulico de la corriente.
- Riberas: fajas laterales de los cauces públicos situadas por encima del nivel de aguas bajas.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

- Márgenes: terrenos que lindan con los cauces. Las márgenes están sujetas, en toda su extensión longitudinal:
 - A una zona de servidumbre de 5 m de anchura para uso público.
 - A una zona de policía de 100 metros de anchura en la que se condiciona el uso del suelo.
- Zonas inundables: las delimitadas por los niveles teóricos que alcanzarían las aguas en las avenidas cuyo período de retorno sea de quinientos años.

El concepto de caudal de M.C.O. es fundamental para la delimitación del cauce y por tanto de los bordes y zonificaciones del Dominio Público Hidráulico que establece la Ley de Aguas, y más ampliamente su Reglamento. Sin embargo la propia definición de la M.C.O. que se establece en la Ley de Aguas no representa un caudal concreto, sino que constituye una serie temporal de medias de valores máximos.

ZONIFICACIÓN DEL CAUCE Y MÁRGENES INUNDABLES



Para resolver los aspectos prácticos que conlleva la aplicación de la definición recogida en la Ley de Aguas sobre la M.C.O., en la delimitación de los cauces y, consecuentemente, en la definición del Dominio Público Hidráulico, se efectuó un estudio en el CEDEX en 1.994 para la D.G.C.A. en el que se establece de forma aproximada el valor del caudal de M.C.O., $Q_{M.C.O.}$, en función de la media, Q_m , y el coeficiente de variación, C_v , de la distribución de máximos caudales anuales mediante la expresión:

$$\frac{Q_{M.C.O.}}{Q_m} = 0,7 + 0,6 \cdot C_v$$

o bien el valor de su periodo de retorno por la expresión alternativa:

$$T(Q_{M.C.O.}) = 5 \cdot C_v$$

El coeficiente de variación, C_v , de la mayoría de los cursos de agua españoles está comprendido en el intervalo $0,3 \leq C_v \leq 1,4$, que según la expresión anterior conduce a periodos de retorno entre 1,5 y 7 años. Los valores bajos corresponden a regímenes de hidrología moderada y los altos a las corrientes con hidrología extrema.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

En nuestro caso, y según los datos incluidos en el anejo 1.2.2.- Estudio Hidrológico, el valor del coeficiente de variación C_v es de 0,491, con lo que se obtiene un período de retorno aproximado de 2,5 años en la estimación del caudal Q_{CMO} .

No obstante lo anterior, y con objeto de dar debido cumplimiento a los requerimientos del organismo de cuenca, se ha fijado finalmente un período de retorno de 10 años en la estimación del D.P.H., según se indica en el escrito denominado DIRECTRICES PARA LA REDACCIÓN DE ESTUDIOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DESTINADOS A LAS DIFERENTES FIGURAS DE PLANEAMIENTO.

Lo anterior equivale a considerar el caudal máximo correspondiente a un intervalo de 10 años consecutivos, y no el caudal medio, tal y como establece el REAL DECRETO 9/2008, lo que nos deja claramente del lado de la seguridad en la estimación del D.P.H.:

"2. Se considerará como caudal de la máxima crecida ordinaria la media de los máximos caudales anuales, en su régimen natural producidos durante diez años consecutivos, que sean representativos del comportamiento hidráulico de la corriente y que tengan en cuenta lo establecido en el apartado 1."

3.3. Cálculo hidráulico

Descripción del programa

Para realizar el cálculo hidráulico de los arroyos considerados se ha empleado el modelo matemático HEC-RAS (River Analysis System) versión 4.0.0., desarrollado por el Hydrological Engineering Center (HEC) perteneciente al United States Army Corps of Engineers (USACE), y que corresponde al software de última generación del prestigioso organismo estadounidense, viniendo a sustituir al utilizado modelo HEC-2, en su versión para el entorno Windows, implementando además numerosas mejoras.

HEC-RAS es un paquete de programas de análisis hidráulico, en el que el usuario interacciona con el sistema a través de un interface gráfico (GUI). El sistema está capacitado para realizar cálculos de flujo continuo y discontinuo, o realizar cálculos de transporte de sedimentos, así como otros cálculos de diseño hidráulico.

El programa para cada uno de los proyectos gestiona la siguiente información:

- Datos del Plan
- Datos geométricos
- Datos de flujo continuo
- Datos de flujo discontinuo.
- Datos de sedimentos.
- Datos de diseño hidráulico.

Durante el transcurso de un estudio, el simulador puede realizar varios planes diferentes. Cada plan representa un conjunto específico de datos geométricos y de datos de flujo. Una vez que los datos básicos son introducidos, el simulador puede fácilmente desarrollar nuevos planes. Después de que el programa ha realizado los cálculos para los diferentes planes, los resultados pueden compararse simultáneamente mediante tablas y gráficos.

Introducción de datos

La metodología de trabajo con el programa conlleva las siguientes etapas:

- Entrada de datos geométricos en planta.
- Entrada de datos geométricos para las secciones transversales.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

- Entrada de datos para los coeficientes de Manning y coeficientes de contracción y expansión.
- Interpolación de los datos geométricos para dar mayor precisión al calculador.
- Establecimiento de las condiciones de borde aguas arriba o aguas abajo, según se pretenda hacer un cálculo en régimen rápido, lento o mixto.

El programa permite también la modelización de los puentes y obras de fábrica existentes en el cauce, disponiendo de un completo asistente para puentes donde se introducen todos los datos que se necesitan para la simulación.

Para introducir un puente o una obra de fábrica en el modelo del cauce es necesario introducir cuatro secciones transversales:

- Dos secciones: una sección aguas abajo y la otra sección aguas arriba del puente lo suficientemente alejadas de éste como para que en ellas no se vea afectado el flujo. Las distancias a las que hay que colocar estas secciones deberían provenir de un estudio de la zona de influencia durante la avenida. Cuando no se pueden obtener estos datos, el programa recomienda una distancia igual al ancho del puente en la dirección del flujo.
- Otras dos secciones adyacentes a los bordes del puente y separadas de él lo menos posible.

Para introducir los datos correspondientes a flujo continuo, hay que especificar los siguientes parámetros:

- El número de perfiles para ser calculado.
- Los datos del flujo.
- Condiciones de borde del sistema.
- Al menos, un valor para el flujo debe ser introducido para cada segmento dentro del sistema.
- Los valores del flujo deben ser introducidos para todos los contornos definidos.

Si se va a hacer un análisis en régimen subcrítico, sólo son necesarias las condiciones de borde en el extremo de aguas abajo del cauce. En un análisis supercrítico, sólo son necesarias las condiciones de borde en el extremo aguas arriba del tramo en estudio. Para un análisis en régimen mixto, son necesarias las condiciones de borde tanto en los extremos aguas arriba como en los de aguas abajo.

El programa permite la entrada de las siguientes condiciones de borde:

- Elevaciones de la superficie de agua conocida.
- Profundidad crítica: el usuario no tiene que introducir ninguna información. El programa calculará la profundidad crítica para cada uno de los perfiles.
- Profundidad normal: el usuario debe introducir la pendiente de la línea de energía que deberá ser utilizada en los cálculos de profundidad normal (en la ecuación de Manning). Si la pendiente de la línea de energía es desconocida, el usuario podría aproximarla introduciendo la pendiente de la superficie de agua o la pendiente del fondo del canal.

Una vez realizado el cálculo, el programa permite la impresión de los resultados obtenidos mediante diferentes tipos de tablas y gráficos, con opciones de generación de perfiles y vistas en tres dimensiones.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

El proceso de cálculo que realiza el modelo sigue la aplicación de la ecuación de la energía y la de continuidad entre secciones consecutivas, partiendo de una condición hidráulica conocida.

Para calcular la elevación de la superficie de agua en una sección transversal determinada, el modelo resuelve iterativamente las dos ecuaciones siguientes:

$$(1) \quad WS_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} = WS_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} + h_e$$

$$(2) \quad h_e = L \cdot Sf + C \cdot \left(\frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} \right)$$

siendo:

WS_1 elevación de la lámina de agua en la sección transversal 1

WS_2 : elevación de la lámina de agua en la sección transversal 2

V_1, V_2 velocidad en dichas secciones

α_1, α_2 : coeficientes de velocidad

g : aceleración de la gravedad

h_e : pérdida de energía entre las secciones 1 y 2

L : distancia entre las dos secciones transversales

Sf : pendiente de fricción

C : coeficiente de pérdidas por contracción o expansión

Las pérdidas de energía de fricción continua $L \times Sf$ se calculan por la fórmula de Manning:

$$Sf = \frac{n^2 \cdot V_i^2}{R_i^{4/3}}$$

siendo:

Sf : pendiente de fricción (pérdida de carga por metro lineal)

n : nº de Manning

V_i : velocidad media de la sección i

R_i : radio hidráulico en la sección i

Las pérdidas producidas por estrechamientos o ensanchamientos bruscos entre secciones (pérdidas localizadas), se evalúan con la siguiente formulación:

$$C \cdot \left(\frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} \right)$$

siendo:

C , (coeficiente de contracción o expansión), para estrechamientos y ensanchamientos graduales, toma los valores de 0,1 y 0,3, respectivamente, mientras que en las secciones características de puentes toma los valores 0,3 y 0,5.

El modelo matemático HEC-RAS está basado en la ecuación de conservación de la energía, con las pérdidas de carga valoradas según la ecuación de Manning y las siguientes hipótesis:

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

1. Pueden hacerse los cálculos en régimen permanente o variable según una tabla de valores, Q / t .
2. El flujo es gradualmente variado: la curvatura de las líneas de corriente es despreciable, de manera que se puede suponer una distribución hidrostática de la presión.
3. El flujo se supone unidimensional, considerándose en la distribución horizontal de la velocidad las zonas de cauce y llanuras de inundación por ambos márgenes. La altura de la energía es igual para todos los puntos de la sección.
4. La pendiente del cauce ha de ser pequeña (menor a un 10 %), debido a que la altura de presión se supone equivalente a la cota de agua medida verticalmente.
5. Se admite cambio de régimen (de lento a rápido o viceversa) en un mismo cálculo.
6. La pendiente de la línea de energía es constante entre dos secciones transversales.
7. El lecho del cauce es fijo. No se tienen en cuenta los procesos de acreción o erosión en el lecho.

El modelo matemático HEC-RAS resuelve de forma iterativa la ecuación de conservación de la energía para calcular el nivel del agua en una sección a partir del nivel conocido de otra. Para calcular las pérdidas por fricción se utiliza la fórmula de Manning, pudiendo usarse diferentes procedimientos, tanto para asignar el valor del coeficiente, que varía de sección en sección, y en cada sección horizontal o verticalmente, como para calcular el valor medio en cada tramo (media aritmética, geométrica y armónica). Pueden especificarse con todo detalle las pérdidas por expansión o contracción, así como las pérdidas localizadas en puentes.

Simulación

Para realizar la simulación hidráulica se ha partido de la definición geométrica de los cauces, según datos aportados por los topográficos de los sectores. Las secciones transversales han sido obtenidas por tratamiento informático con diferentes aplicaciones cad, y teniendo en cuenta los datos para el terreno original.

Se han realizado dos simulaciones:

- **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:
ANEJOS A LA MEMORIA

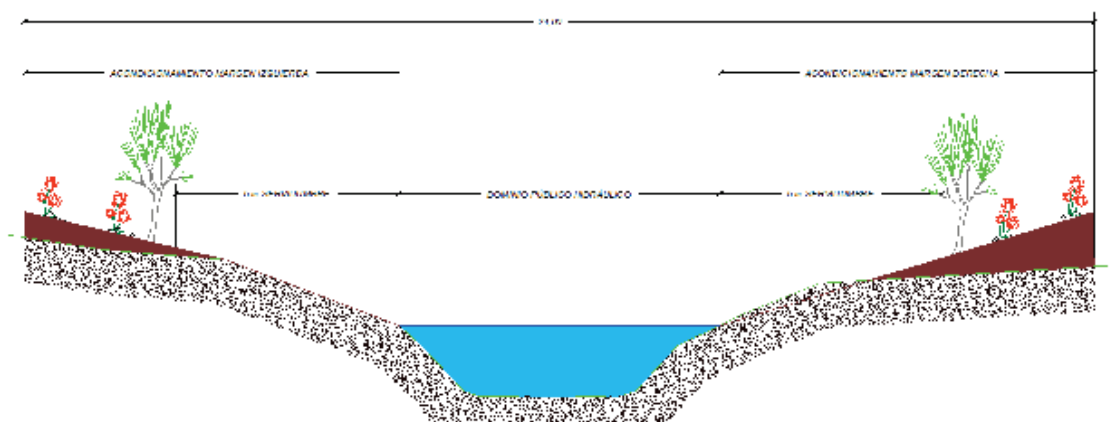


Figura 1 Sección tipo del arroyo. Escenario II

(protección de zonas inundables mediante acondicionamiento de márgenes)

Para la determinación de las condiciones de contorno, se han estudiado las pendientes y anchos de los cauces principales. Los caudales considerados en el cálculo son los que se obtienen de los cálculos realizados en el Anejo.2.- Estudio Hidrológico.

Para la estimación del coeficiente de rugosidad de Manning, se ha considerado la publicación Hidráulica de los Canales Abiertos, de Ven te Chow (1.982). Analizadas las secciones hidráulicas reales de los arroyos, se ha asimilado la morfología existente en general a Cursos naturales menores de 100 ft de ancho de crecida, y morfología limpia, curva, con algunos pozos, bancos, pastos y piedras (tipo D-1.a.4):

<i>Tipo de canal y descripción</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Normal</i>	<i>Máximo</i>
D. Cursos naturales			
D-1 Cursos menores (ancho superior al nivel de crecida < 100 ft).			
a. Cursos en planicie:			
1. Limpio, recto, nivel lleno, sin fallas o pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2. Igual que arriba, pero más piedras y pastos	0.030	0.035	0.040
3. Limpio, curvado, algunos pozos y bancos	0.033	0.040	0.045
4. Igual que arriba, pero algunos pastos y piedras	0.035	0.045	0.050
5. Igual que arriba, nivel inferiores, más pendiente y sección inefectivas.	0.040	0.048	0.055
6. Igual que 4, pero más piedras	0.045	0.050	0.060
7. Tramos sucios, con pastos y pozos profundos.	0.050	0.070	0.080
8. Tramos con muchos pastos, pozos profundos o recorridos de la crecida con mucha madera y arbustos bajos.	0.075	0.100	0.150

En nuestro caso se ha considerado un valor de **Manning de 0,045**, en el cauce, y de **0,050** en las márgenes, siguiendo de esta forma las recomendaciones establecidas por el organismo de cuenca en el documento referido DIRECTRICES PARA LA REDACCIÓN DE ESTUDIOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DESTINADOS A LAS DIFERENTES FIGURAS DE PLANEAMIENTO.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

Modelo matemático de cálculo

La simulación matemática del flujo requiere de un trabajo intenso preliminar que determine de la forma más real posible las condiciones geométricas del cauce, las condiciones de contorno y se afinen al máximo las variables hidráulicas que determinan la cota absoluta de la lámina de agua. Seguidamente se analiza la información de la que se parte:

GEOMETRÍA

- 1.- Para la elaboración de los cálculos hidráulicos se ha partido de la cartografía vectorial a escala 1:1.000 elevada, que mediante una triangulación ha quedado transformada con curvas de nivel cada 1 metro. En dicha cartografía además de existir las curvas de nivel correspondientes, todos los elementos gráficos se hayan elevados (con cota absoluta). Por dicho motivo la primera fase del trabajo ha consistido en depurar la información de partida eligiendo las capas con información relevante para la geometrización del cauce y descartando aquellas que pudieran introducir errores en la modelización del cauce y sus márgenes.
- 2.- Dicha información se ha completado con la información de ortofotos de la zona, estudiando el desarrollo del cauce, y verificando la no existencia de obras transversales al mismo.

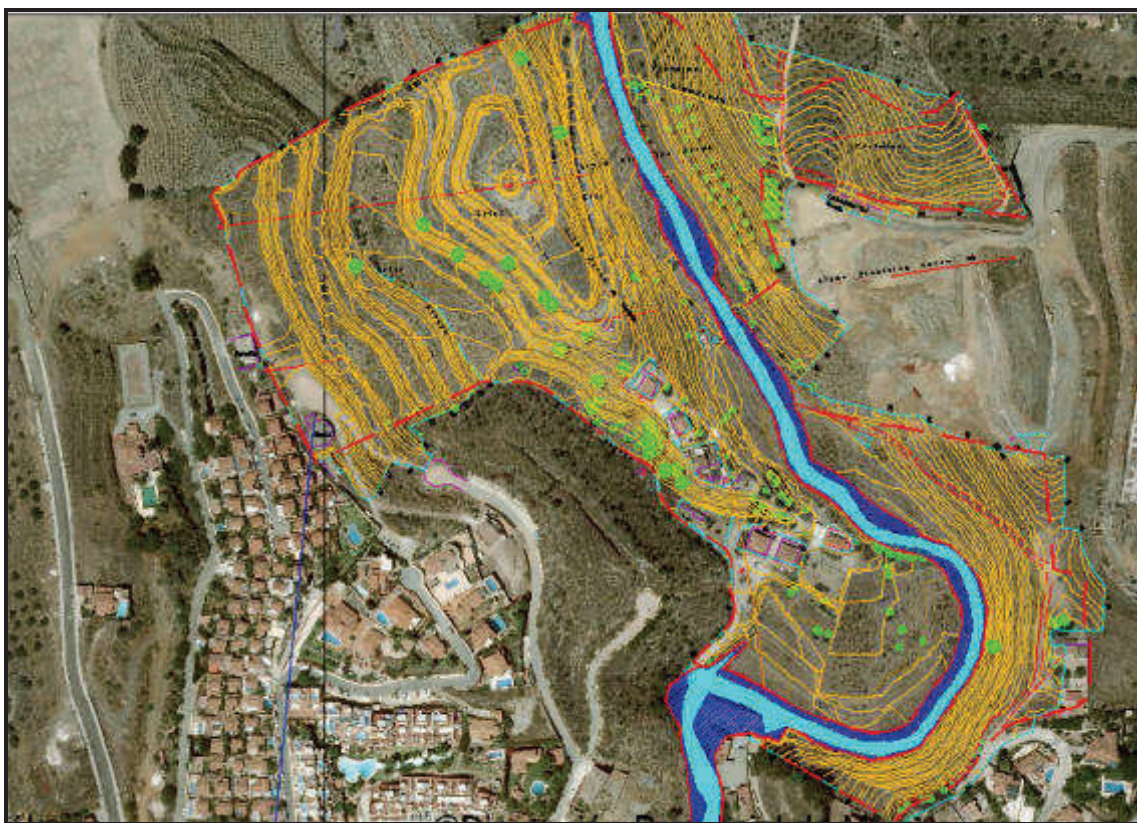


Fig. 2 Levantamiento topográfico del arroyo la Ermita sobre las ortofotos de definición 1:1.000

- 3.- Con los datos anteriores se ha realizado la conversión de la cartografía elaborada a un modelo digital (TIN), el cual se ha triangulado para modelizar el terreno en tres dimensiones, obteniendo secciones transversales espaciadas según la mayor o menor uniformidad del tramo de cauce a analizar. Tales secciones se han exportado posteriormente en formato GIS, importándolas en el programa de modelización HEC-RAS en coordenadas absolutas.

Se muestra en la siguiente imagen el modelo digital TIN, generado mediante GIS.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

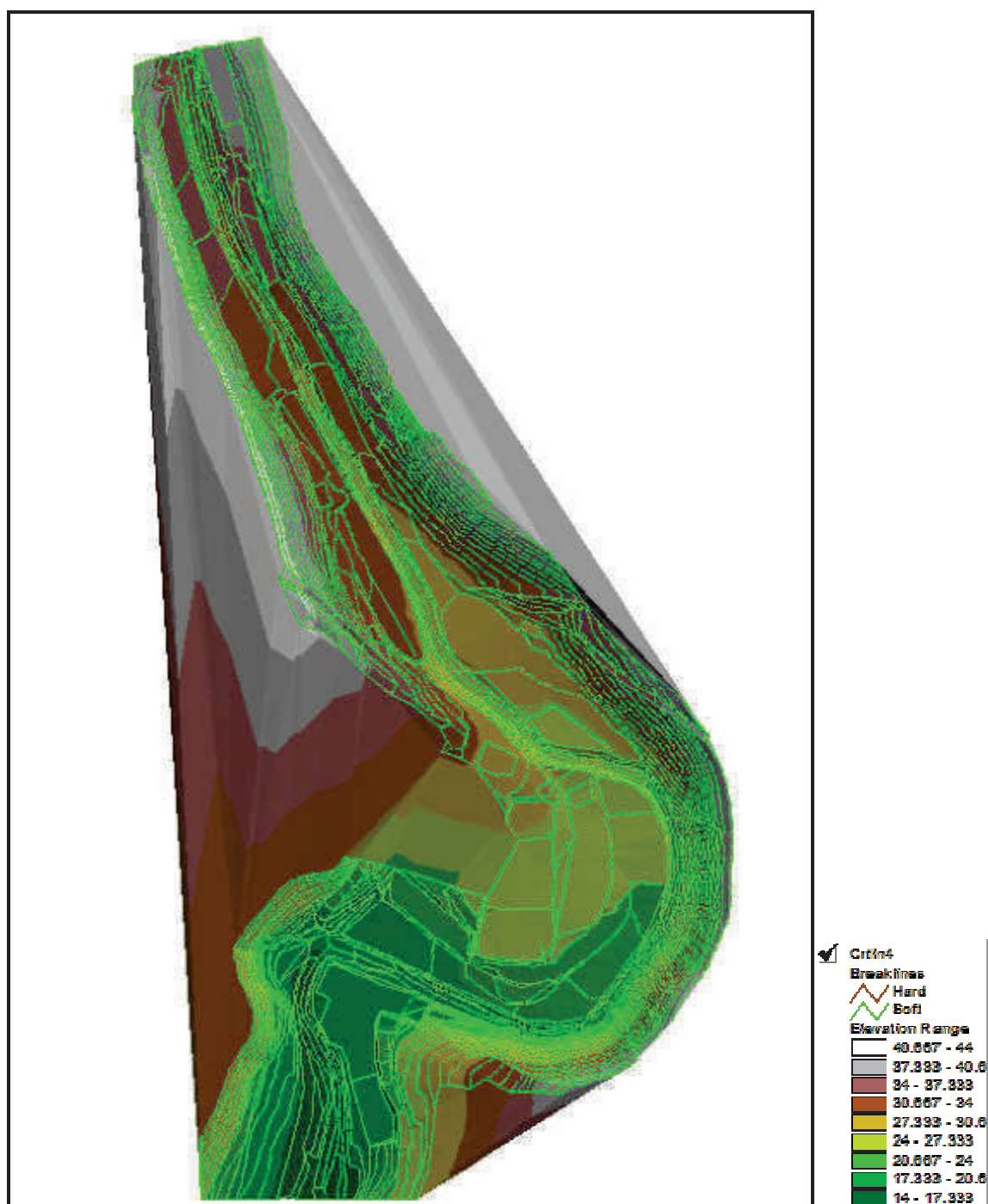


Fig. 3 Modelo TIN, generado mediante GIS

CONDICIONES HIDRÁULICAS DE CONTORNO

La primera mitad del cauce, aguas arriba, con una pendiente mayor, impone el flujo en régimen rápido, y el tramo aguas abajo, con pendiente más suave, presenta un régimen lento. Así que el flujo se modeliza en régimen mixto, obteniendo los cruces de la lámina de agua con la línea de calado crítico y conociendo por tanto los tramos en régimen rápido y lento en un proceso iterativo.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

En todos los casos, se han adoptado las condiciones de borde correspondientes a la pendiente de la línea de energía, que en primera instancia se ha aproximado a la pendiente del cauce natural. Dicha aproximación supone errores en los extremos del cauce por lo general poco significativos, ya que rápidamente se produce la convergencia al calado y energía correspondiente, de ahí la necesidad de extender los tramos de cálculo convenientemente más allá de las zonas a analizar, tanto aguas arriba como aguas abajo.

VARIABLES DE CÁLCULO HIDRÁULICO

Para determinar la rugosidad del cauce se ha partido de los datos previos tomados en campo. La asignación de valores de n de Manning se ha hecho de acuerdo a la bibliografía existente y de acuerdo a la experiencia de los modelos físicos elaborados por el CEDEX, con modelizaciones físicas y matemáticas de procesos tormentosos, con datos conocidos de precipitación y láminas de agua en cauces o llanuras de inundación de la cuenca sur mediterránea, lo que ha permitido obtener los valores de rugosidad de los cauces. Con esta premisa, y con la información visual, se ha podido fijar el coeficiente de rugosidad a aplicar, que se ha fijado en **0,045 - 0,050** (cauces naturales normales con vegetación) con carácter general.

Por lo que se refiere a los coeficientes de contracción y expansión se han aplicado valores de **0,1 y 0,3** respectivamente, allí donde no existan estrechamientos o ensanchamientos importantes de la sección transversal.

Finalmente debe indicarse que el cálculo se hace en régimen permanente, y que no se consideran fenómenos de esponjamiento de la sección hidráulica por transporte de sólidos, dado el carácter conservador de los coeficientes de rugosidad aplicados.

Proceso de cálculo hidráulico

Se ha seguido la siguiente metodología de cálculo:

- 1º. Introducción de la geometría de los cauces independientes.
- 2º. Establecimiento de nudos de confluencia para que las condiciones de contorno en los cauces, den cotas de aguas congruentes en los arroyos convergentes aguas arriba y aguas abajo de dichas confluencias.
- 3º. Establecimiento de las condiciones de contorno en los extremos de los cauces.
- 4º. Introducción de los caudales obtenidos en la modelización hidrológica para T-10, T-500 en los diferentes puntos de cálculo.

Resultados de la simulación

De los cálculos realizados se obtienen las superficies de ocupación correspondientes a la lámina de agua para los periodos de retorno de 10 y 500 años, correspondiéndose con el Dominio Público Hidráulico y la Zona Inundable, respectivamente. Los resultados obtenidos son sensiblemente similares a los detallados en el "Estudio Hidráulico para la ordenación de las cuencas de la Costa del Sol Oriental (Málaga)", cuyos planos se adjuntan en el Apéndice 2 del anejo 1.2.1 de Datos Previos del presente documento.

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, detallando las superficies de ocupación sobre el sector que afecta.

En las siguientes figuras, obtenidas durante el proceso de cálculo, se representa las láminas de agua para los periodos de retorno de 10 y 500 años, en el estado actual (Escenario I)

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

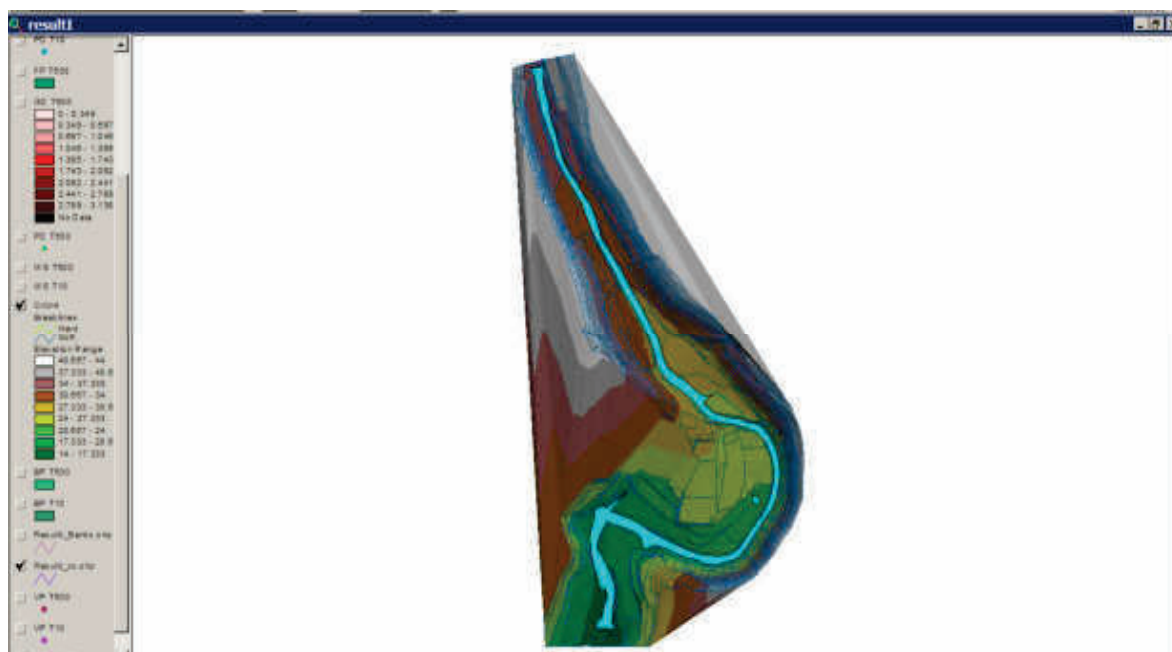


Figura 4. Lámina de agua. T 10 años. Escenario I

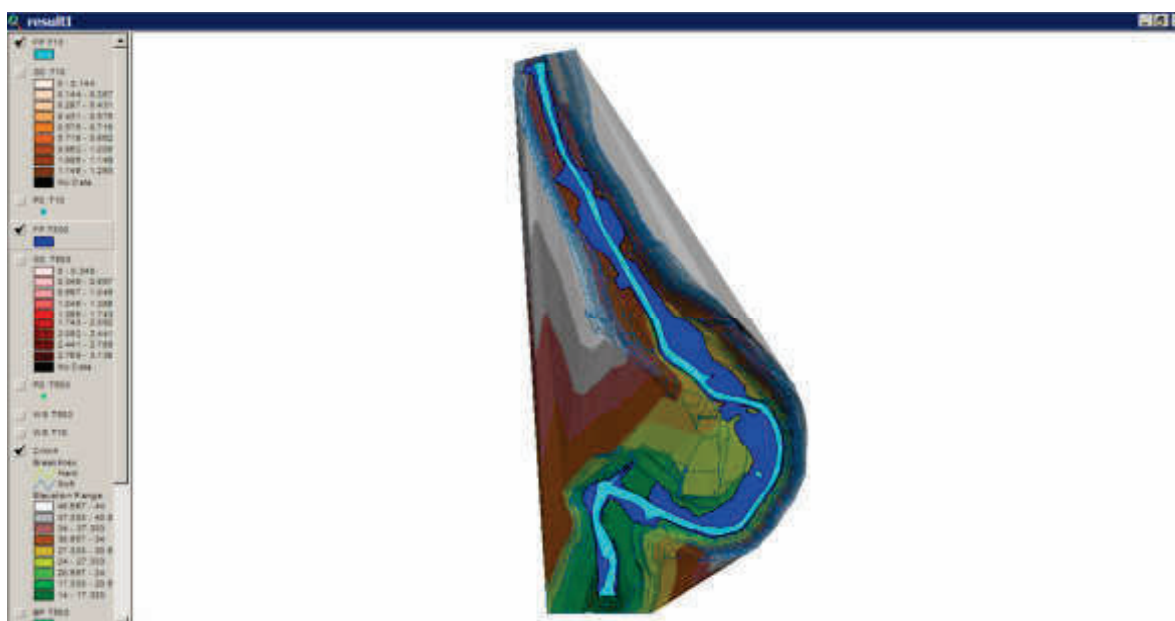


Fig. 5. Lámina de agua. T 500 años. Escenario I

En los apéndices que acompañan al presente anejo, se incluyen gráficos y listados de resultados de cálculo para las siguientes variables:

- Caudal
- Cota de agua
- Cota mínima del terreno
- Calado máximo

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

- Cota crítica
- Cota de la línea de energía
- Pendiente de energía
- Calado medio de la sección
- Pérdida de carga
- Radio hidráulico
- Velocidad media del flujo
- Área inundada en cada sección
- Ancho máximo de la sección
- Número de Froude de la sección

En los apéndices **nº 2 Escenario I** y **nº 3 Escenario II**, al presente anejo, 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.

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 (según el artículo 46 de la LOUA), así como las zonas inundables asociadas a un período de recurrencia de 500 años.

Caudales de diseño para la cuenca de estudio

Mediante tratamiento cartográfico de la cuenca considerada en el presente estudio, se ha determinado un tramo de estudio, que cruza el sector SUP-B.2 "el Soto" en Benajáraf. Los caudales de diseño empleados en el estudio, se resumen en la siguiente tabla y quedan justificados en el anejo 2. Estudio Hidrológico:

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

3.4. Conclusiones

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

- **Escenario I.** Estado actual del cauce y sus márgenes. Se determina la superficie de **Dominio Público Hidráulico, Servidumbre y Zonas Inundables**.
- **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, detallando las superficies de ocupación sobre el sector que afecta.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

3.5. Apéndice 1. Directrices para la redacción de los estudios hidrológicos e hidráulicos destinados a las diferentes figuras de planeamiento

DIRECTRICES PARA LA REDACCIÓN DE ESTUDIOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS DESTINADOS A LAS DIFERENTES FIGURAS DE PLANEAMIENTO.

1.- ESTUDIO HIDROLÓGICO

En él se deben obtener los caudales previstos en los ríos y arroyos afectados por las actuaciones comprendidas en el planeamiento. En este sentido se considerarán como cauces a estudiar:

- 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).

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

dados en la 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 realiza el cálculo, 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:

$$\begin{array}{lll} \text{Si} & S < 25 \text{ km}^2 & Q = 45 \cdot S^{0.636} \\ \text{Si} & S > 25 \text{ km}^2 & Q = 65,54 \cdot S^{0.522} \end{array}$$

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

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

2.a) Deberá realizarse un trabajo topográfico de campo (si la cartografía no es adecuada) en el que se obtengan perfiles transversales cada 20 m en la zona del cauce afectada por las actuaciones urbanísticas del planeamiento, en especial de núcleo urbano consolidado y las zonas nuevas donde se pretenda urbanizar o construir. También deberán tomarse perfiles transversales en los puntos singulares como curvas cerradas, cambios de rasante o cambios bruscos de sección. Estos perfiles deberán incluir en cada punto la zona situada hasta una altura mínima de 3m, con respecto al lecho del cauce. En las zonas no urbanas o urbanizables que también se quieran estudiar, bastará tomar perfiles transversales cada 50m.

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 las avenidas de periodo de retorno 10 y 500 años (y en su caso si es necesario también 50 y 100 años).

A la hora de proyectar las zonas afectadas por las actuaciones urbanísticas, deberán tenerse en cuenta los siguientes criterios:

- Deberá dejarse libre de cualquier cerramiento o muro en una franja de 5 metros contados desde el límite de D.P.H, el cual como se ha dicho antes, es la zona ocupada por la avenida de periodo de retorno de 10 años, de la cual se han obtenido sus límites. La determinación del cauce natural se realizará atendiendo a sus características geomorfológicas, ecológicas y teniendo en cuenta las informaciones hidrológicas, hidráulicas, fotográficas y cartográficas que existan, así como referencias históricas disponibles.
- El D.P.H. tiene carácter de suelo no urbanizable (artículo 46 de la LOUA), por lo tanto no computa a efectos de aprovechamiento en las figuras de planeamiento.
- Esta franja de 5m es la Zona de Servidumbre indicada en la Ley de Aguas, y deberá dejarse libre para tránsito. No obstante en dicha franja sí podrán ponerse viales, caminos, zonas verdes, etc. *Se recomienda su utilización como zona verde, dejando una franja ajardinada que contiene el cauce en su estado natural, de acuerdo con las directrices de la Directiva Marco, que proponen integrar el río en su estado natural dentro del casco urbano.*

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

- En general deberán respetarse la limitación de usos definidos en el "Plan de Prevención de Avenidas e Inundaciones en Cauces Urbanos Andaluces" (Decreto 189/2002 de 2 de Junio de La Junta de Andalucía) que en su artículo 14 establece las siguientes indicaciones:
 - a) En los terrenos inundables de periodo de retorno 50 años, no se permitirá edificación o instalación alguna, temporal o permanente. Excepcionalmente y por razones justificadas de interés público, se podrán autorizar instalaciones temporales.
 - b) En los terrenos inundables de periodo de retorno entre 50 y 100 años no se permitirá la instalación de industria pesada, contaminante según la legislación vigente o con riesgo inherente de accidentes graves. Además en aquellos terrenos en los que el calado del agua sea superior a 0,5m tampoco se permitirá edificación o instalación alguna, temporal o permanente.
 - c) Asimismo, en los terrenos inundables de periodo de retorno de 100 años y donde además la velocidad del agua para dicha avenida sea superior a 0,5m/s, se prohíbe la construcción de edificaciones, instalaciones, obras lineales o cualesquiera otras que constituyan obstáculo significativo para el curso del agua. A tal efecto se entiende por obstáculo significativo el que presenta un frente en sentido perpendicular a la corriente de más de 10m de anchura o cuando la relación anchura del obstáculo/anchura del cauce de avenida extraordinaria de 100 años de periodo de retorno es mayor a 0,2.

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.

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO:
ANEJOS A LA MEMORIA

3.- PLANOS

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

- Un plano en 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), y la avenida de periodo de retorno de 500 años.
- Las escalas deben ser de 1:500 en casco urbano consolidado, y escala 1:500 o 1:1000 para el resto de las zonas.
- Unos perfiles transversales a escala 1:50 donde se indique la zona ocupada por las dos avenidas indicadas de periodo de retorno de 10 y 500 años. Sobre dichos perfiles, si hay edificaciones, muros, movimientos de tierra, caminos, etc... (existentes o previstos), deberá dibujarse la posición del mismo con respecto al cauce, acotando su distancia con respecto a éste en horizontal y vertical.
- Un perfil longitudinal donde se indique la altura ocupada por el agua para las avenidas de 10 y 500 años.)

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