

## **ANEJO Nº 07**

### **Estudio Hidrológico**

**ÍNDICE:**

<b>1</b>	<b>OBJETO DEL ESTUDIO</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>ESTUDIO DE INUNDABILIDAD ARROYO DE LA POVEDA</b>	<b>3</b>

## **1 OBJETO DEL ESTUDIO**

El objeto de este anejo es el de determinar las posibles interferencias de las actuaciones previstas en el proyecto sobre el arroyo de la Poveda.

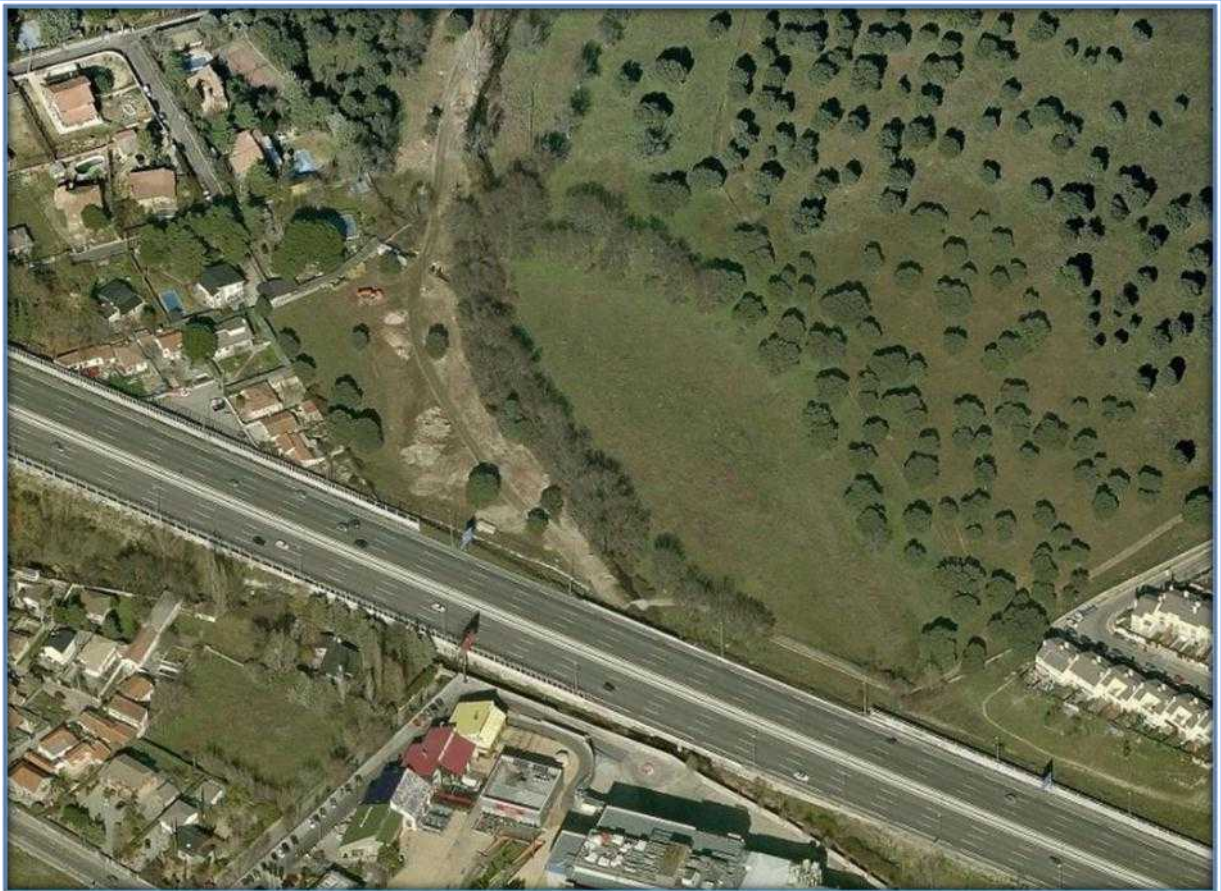
Para ello se ha realizado un estudio de inundabilidad del arroyo de la Poveda, una propuesta de definición del dominio público hidráulico del arroyo y sus correspondientes zonas de servidumbre y policía.

Se han estudiado también las avenidas de 10, 100 y 500 años de periodo de retorno además de definir la zona de flujo preferente.

En base a este análisis se ha planteado la ubicación del nuevo aliviadero, ubicado fuera del DPH, Zona de Servidumbre y de la Zona de Flujo Preferente. No existiendo una reducción significativa de la capacidad desagüe del arroyo.

## **2 ESTUDIO DE INUNDABILIDAD ARROYO DE LA POVEDA**

**ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL ARROYO DE LA  
POVEDA EN EL ÁMBITO DE LA IMPLANTACIÓN DE  
ALIVIADERO DEL “PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN  
ACTUACIONES SISTEMA EL ENDRINAL. TRAMOB-5”.  
TT.MM. DE ALPEDRETE Y COLLADO VILLALBA.**



## MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	1
2. DESCRIPCIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO.....	2
3. VISITA DE CAMPO .....	6
4. DETERMINACIÓN DE CAUDALES .....	8
5. ANÁLISIS DE LAS OBRAS DE FÁBRICA .....	12
6. ESTUDIO HIDRÁULICO .....	14
7. DETERMINACIÓN DPH .....	26
8. DETERMINACIÓN ZI.....	37
9. DETERMINACIÓN ZONA DE FLUJO PREFERENTE (ZFP) .....	40
10. UBICACIÓN ALIVIADERO.....	45
11. CONCLUSIONES .....	47

## ANEJOS

ANEJO 1: VISITA DE CAMPO

ANEJO 2: FICHAS CAUMAX

ANEJO 3: FICHAS ARPSIs C.H.TAJO

## PLANOS

1. Dominio Público Hidráulico (DPH)
2. Zona Flujo Preferente (ZFP)
3. Zona Inundable T = 10 años
4. Zona Inundable T = 100 años
5. Zona Inundable T = 500 años

# MEMORIA

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	1
2. DESCRIPCIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO.....	2
3. VISITA DE CAMPO .....	6
4. DETERMINACIÓN DE CAUDALES .....	8
4.1. CAUDALES PUNTA.....	8
4.2. HIDROGRAMA TRIANGULAR SCS.....	10
5. ANÁLISIS DE LAS OBRAS DE FÁBRICA .....	12
6. ESTUDIO HIDRÁULICO .....	14
6.1. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA IBER.....	15
6.2. INFORMACIÓN DE PARTIDA.....	16
6.2.1. Modelo Digital del Terreno (MDT) .....	16
6.2.2. Usos del Suelo.....	19
6.2.3. Caudales.....	21
6.3. PROCESO DE DATOS .....	22
6.3.1. Geometría del terreno .....	22
6.3.2. Hidrodinámica.....	23
6.3.2.1. Condiciones de contorno .....	23
6.3.2.2. Condiciones iniciales .....	23
6.3.2.3. Condiciones internas .....	24
6.3.3. Mallado .....	24
6.3.4. Rugosidad.....	24
6.3.5. Datos del problema.....	25
7. DETERMINACIÓN DPH .....	26
7.1. INTRODUCCIÓN .....	26
7.2. DETERMINACIÓN HIDRÁULICA – Máxima Crecida Ordinaria .....	26
7.3. DINÁMICA FLUVIAL .....	27
8. DETERMINACIÓN ZI.....	37
9. DETERMINACIÓN ZONA DE FLUJO PREFERENTE (ZFP) .....	40
9.1. ZONA DE INUNDACIÓN PELIGROSA (ZIP).....	40
9.2. VÍA DE INTENSO DESAGÜE (VID) .....	43
9.3. ZONA DE FLUJO PREFERENTE (ZFP) .....	43
10. UBICACIÓN ALIVIADERO.....	45
11. CONCLUSIONES .....	47



## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El objetivo del presente estudio es determinar la inundabilidad del arroyo de La Poveda en el ámbito de la implantación del aliviadero para el “*Proyecto de Construcción Actuaciones Sistema El Endrinal. Tramo B-5 en los TT.MM. de Alpedrete y Collado Villalba.*”

Este ámbito es el tramo final del arroyo hasta su confluencia con el arroyo de los Linos, que se produce justo después del paso bajo la autovía A-6, tal y como se muestra en la siguiente imagen.



Ubicación del tramo de estudio (vista hacia aguas abajo)

En el estudio se van a generar las Zonas Inundables (ZI) para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años; y se delimitará el Dominio Público Hidráulico (DPH) y la Zona Flujo Preferente (ZFP).

De especial relevancia en cuanto a la ubicación del aliviadero es la delimitación del Dominio Público Hidráulico y sus zonas asociadas de Policía y Servidumbre, para lo cual será necesario establecer la inundación que genera la Máxima Crecida Ordinaria y además realizar un análisis de la dinámica fluvial en el que se establezca la evolución que ha tenido el cauce a lo largo de los años.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO

El arroyo La Poveda se encuentra ubicado en la Comunidad Autónoma de Madrid, ubicándose el tramo final (el correspondiente al presente estudio) justo en la división de los términos municipales de Alpedrete y Collado Villalba.



Plano situación del tramo de estudio

Dicho tramo tiene una longitud de unos 1.000 metros aproximadamente y en las siguientes imágenes se muestra con mayor detalle el mismo:



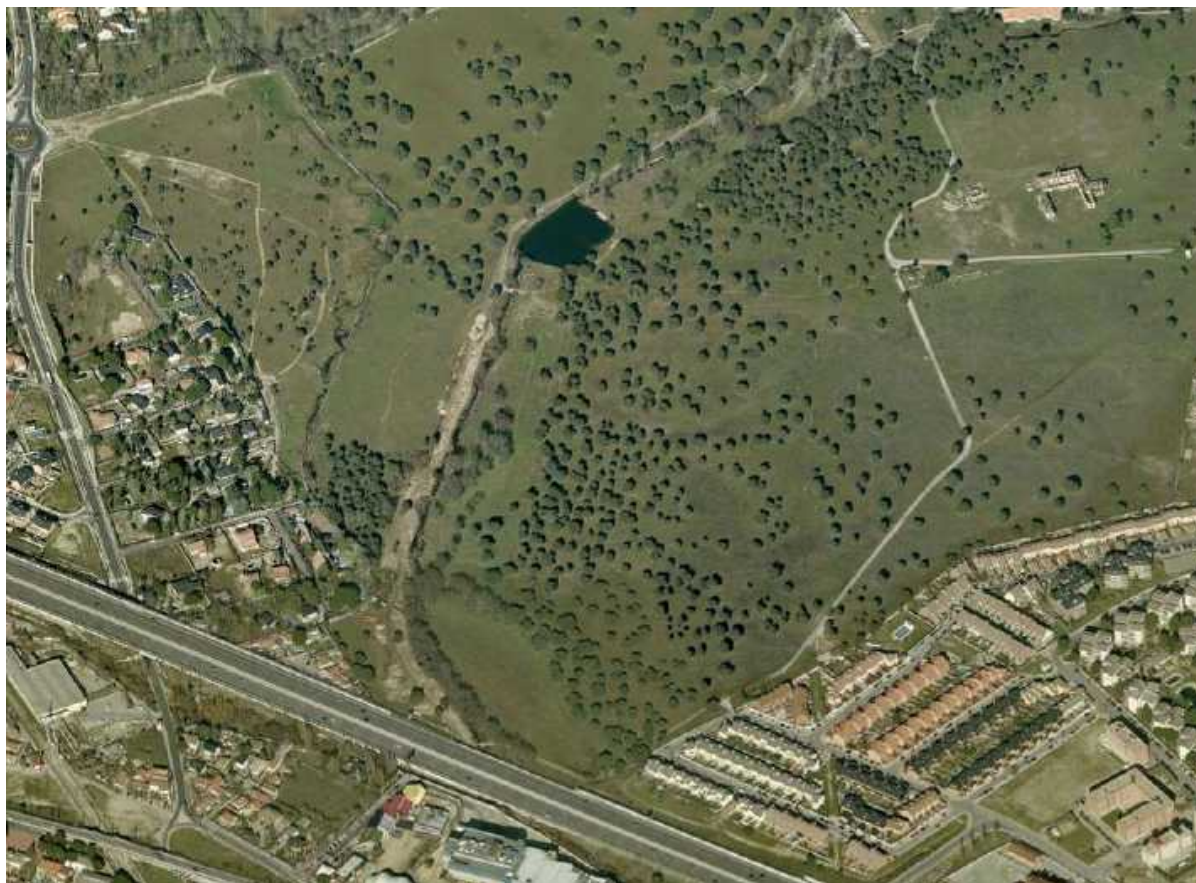


Vista arroyo hacia aguas abajo (sentido sur)



Vista arroyo desde la margen izquierda (sentido este)





Vista arroyo hacia aguas arriba (sentido norte)



Vista arroyo desde la margen derecha (sentido oeste)

Tal y como se ha mencionado anteriormente, el arroyo La Poveda confluye nada más pasar la autovía A6 con el arroyo de los Linos, catalogado como ARPSI por la Confederación Hidrográfica del Tago en su “Evaluación preliminar del riesgo de inundación”, realizada en Abril de 2012.

Debido a esto, la Confederación Hidrográfica del Tajo ha publicado recientemente en su página web, en Mayo de 2015, en sus “Mapas de peligrosidad y riesgo de inundación en la demarcación hidrográfica del tajo” la delimitación de las zonas inundables de este arroyo.

También existe otro ARPSI cercano, el arroyo de Los Sauces que confluye con el arroyo de los Linos aguas arriba del arroyo de la Poveda. Sin embargo este cauce en la actualidad se encuentra totalmente antropizado, circulando en muchos tramos soterrado, en otros por las cunetas de la carretera que une las urbanizaciones de Los Sauces y Los Llanos y también desviado por un canal abierto por el que confluye al arroyo de la poveda.

Se incluyen en el anejo nº 3 del presente estudio las fichas de estas ARPSIs publicadas tanto en la página web de la confederación como en el visor del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Asimismo, al final del estudio y una vez realizada la propuesta de delimitación del DPH del arroyo de La Poveda se comprobará que esta ubicación también quede fuera del DPH del arroyo de Los linos, no siendo necesario comprobar esto mismo con el arroyo de Los Sauces por lo mencionado anteriormente en cuanto a su gran nivel de antropización.

### 3. VISITA DE CAMPO

Con el fin de adquirir un mejor conocimiento del tramo de estudio, se ha realizado una visita de campo a la zona para recorrer el cauce, las posibles llanuras de inundación y reconocer y medir las infraestructuras y las obras de fábrica existentes que puedan suponer o no un obstáculo para la circulación del agua.

Cabe destacar el cruce del arroyo La Poveda con la autopista A-6 y la obra existente bajo la misma que permite el paso del agua. A continuación se muestra una imagen de dicha obra, que consta de 3 arcos de 6 metros de ancho por 3 metros de altura en su parte más alta.



Entrada a la obra de fábrica bajo la A-6



Detalle de la entrada a la obra de fábrica bajo la A-6





Salida de la obra de fábrica bajo la A-6

En el Anejo 1 “Visita de Campo” se adjuntan las imágenes tomadas durante la visita realizada al tramo de estudio.

## 4. DETERMINACIÓN DE CAUDALES

### 4.1. CAUDALES PUNTA

Para determinar los caudales asociados a los distintos periodos de retorno en el arroyo, se ha recurrido al “Mapa de caudales máximos de avenida para la red fluvial de la España peninsular” del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Cabe destacar que la Confederación Hidrográfica del Tago en la redacción de sus “Mapas de peligrosidad y riesgo de inundación en la demarcación hidrográfica del tajo”, anteriormente mencionados, también utilizaron dicha aplicación como referencia.

El objeto fundamental de esta aplicación consiste en caracterizar estadísticamente las crecidas mediante el conocimiento de su ley de frecuencia, la cual relaciona la magnitud del caudal punta de avenida con su frecuencia de presentación expresada mediante periodo de retorno, o, lo que es lo mismo, su probabilidad de ocurrencia.

La metodología aplicada en la elaboración de los mapas ha partido de la selección de estaciones de aforos y embalses con suficiente información sobre caudales máximos como para realizar una estimación suficientemente fiable de los valores correspondientes a distintas probabilidades o periodos de retorno (cuantiles). A las series de datos seleccionados se les han aplicado diversas técnicas estadísticas para verificar la calidad de la información, así como la coherencia en la información de las distintas estaciones entre sí, y se les ha ajustado una función de distribución con la finalidad de determinar sus cuantiles, es decir, su ley de frecuencia.

Para facilitar la consulta de estos mapas, el CEDEX desarrolló una aplicación informática denominada CAUMAX, en la que estableciendo únicamente el punto de cierre de la cuenca hidrográfica a estudiar, determina de forma automática todos los parámetros intermedios necesarios para dar como resultado el caudal asociado al periodo de retorno seleccionado.



Delimitación de la cuenca hidrográfica en CAUMAX para el arroyo La Poveda



Los parámetros generales tanto físicos como hidrológicos, que se obtienen en el CAUMAX estableciendo como punto de cierre de la cuenca el inicio del tramo de estudio y que son independientes del periodo de retorno, son los que siguen:

- Área de la cuenca de aportación: 22,25 km<sup>2</sup>
- Tiempo de concentración = 2,69 h
- Factor corrector del área = 0,91
- Umbral de escorrentía = 23,13 mm
- Factor de torrencialidad = 10,0
- Coeficiente de uniformidad = 1,2

A continuación se incluye una tabla resumen con las precipitaciones, intensidades, coeficientes de escorrentía y caudal resultante, por periodo de retorno.

T (años)	P (mm)	P* (mm)	I (mm/h)	C	Q (m <sup>3</sup> /s)
<b>10</b>	78,99	71,89	16,35	0,28	<b>33</b>
<b>100</b>	122,18	111,21	25,29	0,33	<b>62</b>
<b>500</b>	155,75	171,76	32,23	0,36	<b>85</b>
<b>MCO (4)</b>	-	-	-	-	<b>23</b>

Tal y como advierte el programa CAUMAX, los valores que proporciona la aplicación para la Máxima Crecida Ordinaria constituyen estimaciones basadas en asignar, mediante aproximaciones un valor regional al periodo de retorno correspondiente a dicha crecida, que en este caso se corresponde con un periodo de retorno de 4 años.

Para determinar el cuantil asociado al periodo de retorno de 4 años, se realiza una interpolación entre los valores obtenidos por el método racional para 2, 5, 10, 25, 100 y 500 años de periodo de retorno, hecho por el cual no se tienen los valores de los parámetros intermedios.

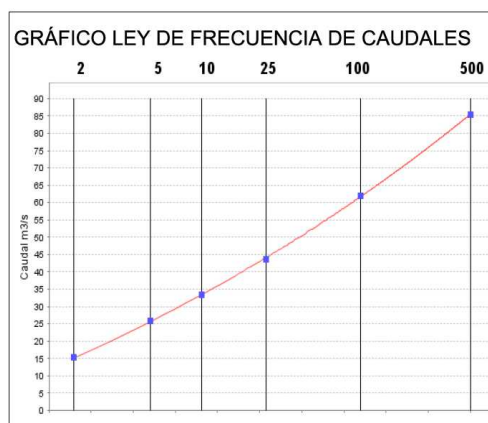


Gráfico de la ley de frecuencia de caudales para el arroyo La Poveda

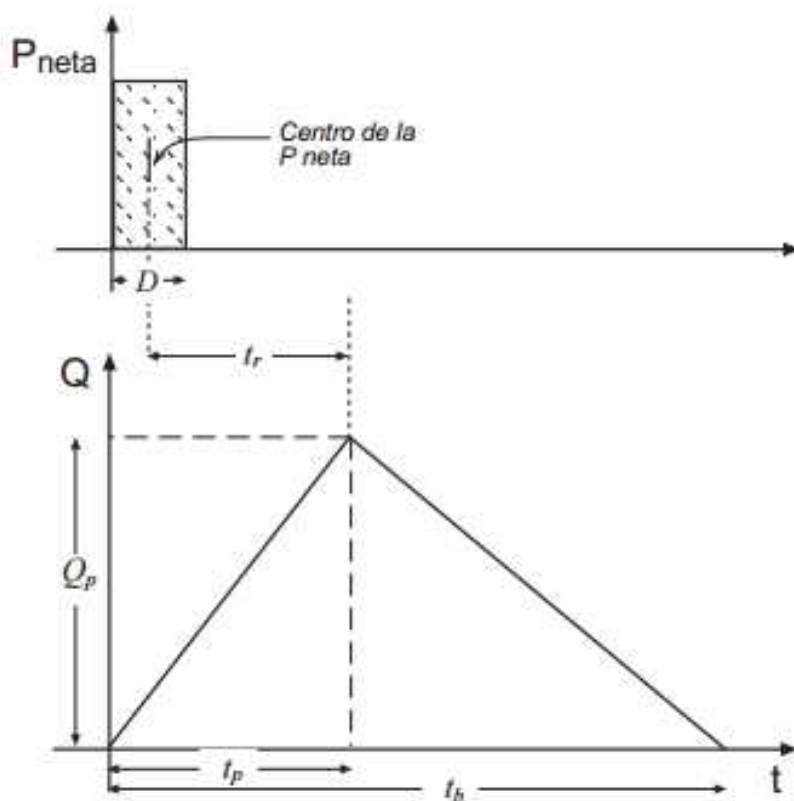
En el Anejo 2 “Fichas CAUMAX” se incluye una ficha para cada periodo de retorno en la que se observan los datos obtenidos en la aplicación.

## 4.2. HIDROGRAMA TRIANGULAR SCS

Una vez obtenidos los caudales punta asociados a las distintas avenidas, para realizar el estudio hidráulico es requisito imprescindible saber cómo se distribuye dicho caudal en el tiempo, para lo cual en el actual apartado, se va a proceder a calcular los hidrogramas sintéticos en cada una de las subcuencas.

El cálculo de dichos hidrogramas se va a realizar utilizando la metodología del hidrograma triangular del Soil Conservation Service (SCS), que partiendo de fórmulas empíricas basadas en las características físicas de las cuencas, como superficie, pendiente, longitud; proporciona una idea bastante aproximada del hidrograma resultante.

La forma del hidrograma se esquematiza como un triángulo, como se muestra en la imagen, lo que a pesar de su excesiva simplicidad, proporciona los parámetros fundamentales del mismo que son: el caudal punta ( $Q_p$ ), el tiempo base ( $t_b$ ), y el tiempo en el que se produce la punta ( $t_p$ ).



Hidrograma triangular del SCS

Para obtener dicho hidrograma, se utilizan las siguientes expresiones, que fueron obtenidas de forma empírica al estudiar los hidrogramas de crecidas provocados por precipitaciones cortas y uniformes en numerosas cuencas.

- Tiempo de punta (h):  $tp = 0,5D + tr$

Dónde:  $D$  = duración de la precipitación neta (h)  $\rightarrow D = 0,1333 * T_c$

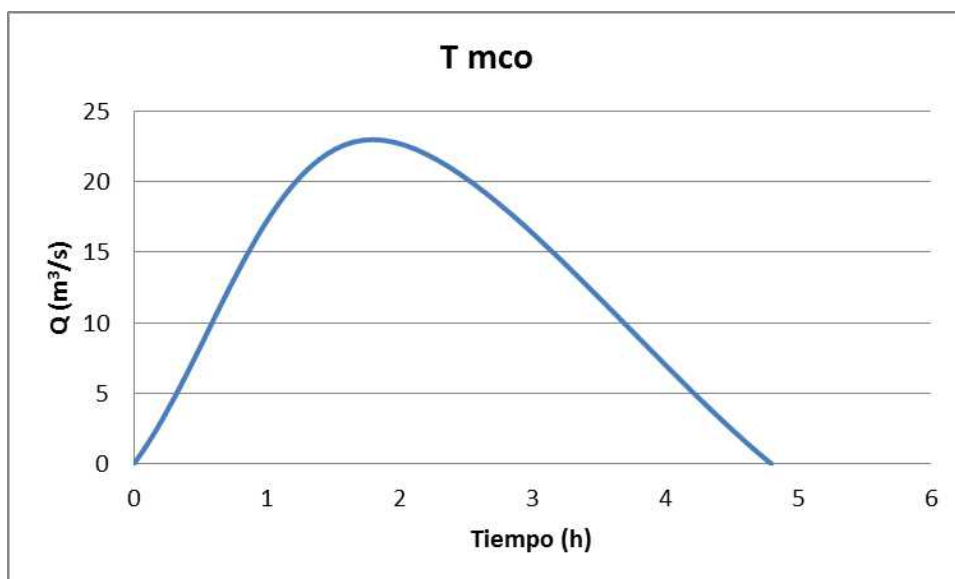
$tr$  = tiempo de retardo (h)  $\rightarrow tr = 0,6 * T_c$

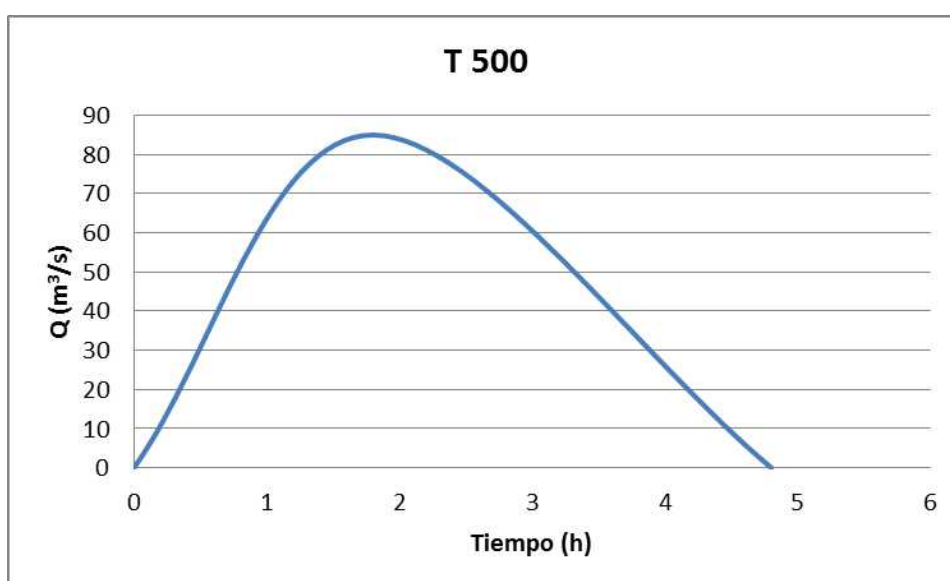
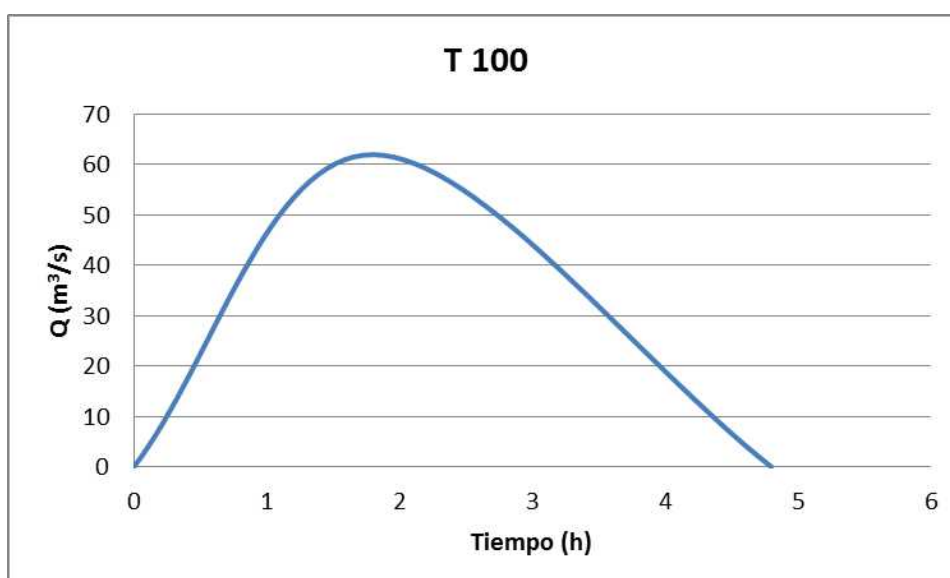
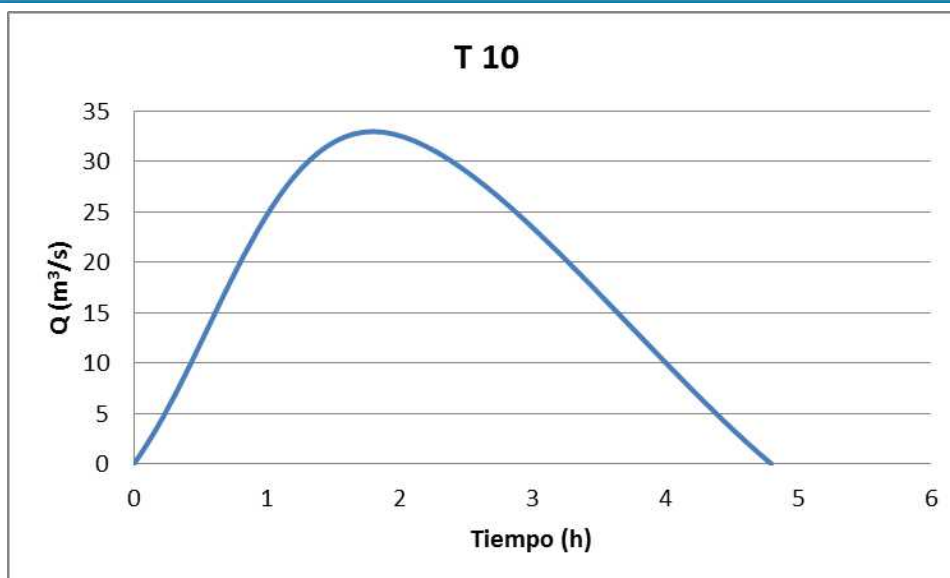
- Tiempo base (h):  $tb = 2,67 * tp$

Particularizando para la cuenca del arroyo de La Poveda, se obtienen los siguientes parámetros:

- |                              |               |
|------------------------------|---------------|
| • $D = 0,1333 * 2,69$        | $D = 0,36$ h  |
| • $tr = 0,6 * 2,69$          | $tr = 1,61$ h |
| • $tp = 0,5 * 0,358 + 1,614$ | $tp = 1,79$ h |
| • $tb = 2,67 * 1,79$         | $tb = 4,79$ h |

De este modo se tiene el tiempo de la base, el de la punta y el caudal punta para construir los hidrogramas de todos los periodos de retorno, quedando como se muestra en los siguiente gráficos:





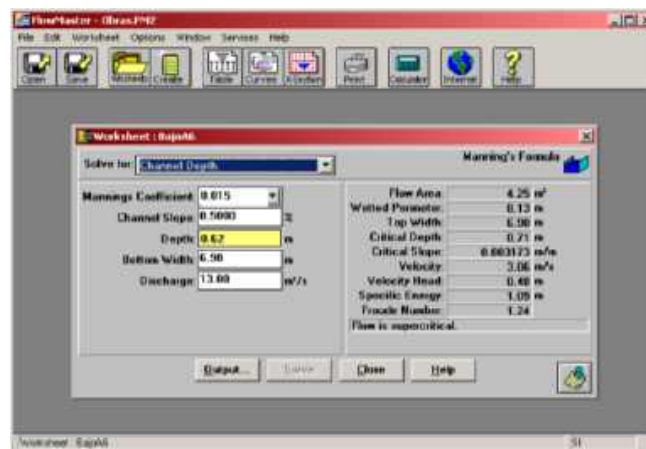
## 5. ANÁLISIS DE LAS OBRAS DE FÁBRICA

Una vez que se han determinado los caudales que circulan por el arroyo para los distintos periodos de retorno, y como paso previo a su modelización hidráulica, se procede a realizar un análisis de la capacidad de las obras de paso que se encuentran en el cauce.

Con este análisis se pretende determinar si estas obras tienen capacidad para recibir el caudal máximo (asociado a la avenida de 500 años) sin entrar en carga, en el caso de llegar todo el caudal por la zona de la obra de fábrica, permitiendo así, tanto la entrada como la salida de la totalidad del caudal, sin provocar retención debida a la estructura.

En el tramo del arroyo la Poveda, existe una única obra de fábrica relevante, que se sitúa al final del tramo de estudio bajo la A-6. Dicha obra es de tipo arco, y está formada por tres vanos de 6 metros de ancho y 3 metros y medio en su parte más alta cada uno.

Para realizar este análisis se va a utilizar el programa **FlowMaster**. FlowMaster es una herramienta de apoyo a la ingeniería civil que se emplea en el diseño hidráulico y análisis de tuberías, acequias, zanjas, canales abiertos, vertederos, etc. Para ello, utiliza fórmulas como Darcy-Weisbach (Colebrook-White), Hazen-Williams, de Kutter y de Manning, en función de las cuales obtiene los caudales, velocidades de agua, calados, y demás resultados capaces de calcular.



La gran ventaja del programa se basa en su flexibilidad, que permite elegir una variable desconocida ya sea anchura de la sección,  $n^o$  de manning, velocidad, calado; y calcula automáticamente la solución después de introducir los parámetros conocidos. Además, permite estudiar diversas alternativas para un mismo parámetro, de forma que se puede elegir de forma sencilla e intuitiva el mejor diseño para una misma variable determinada.

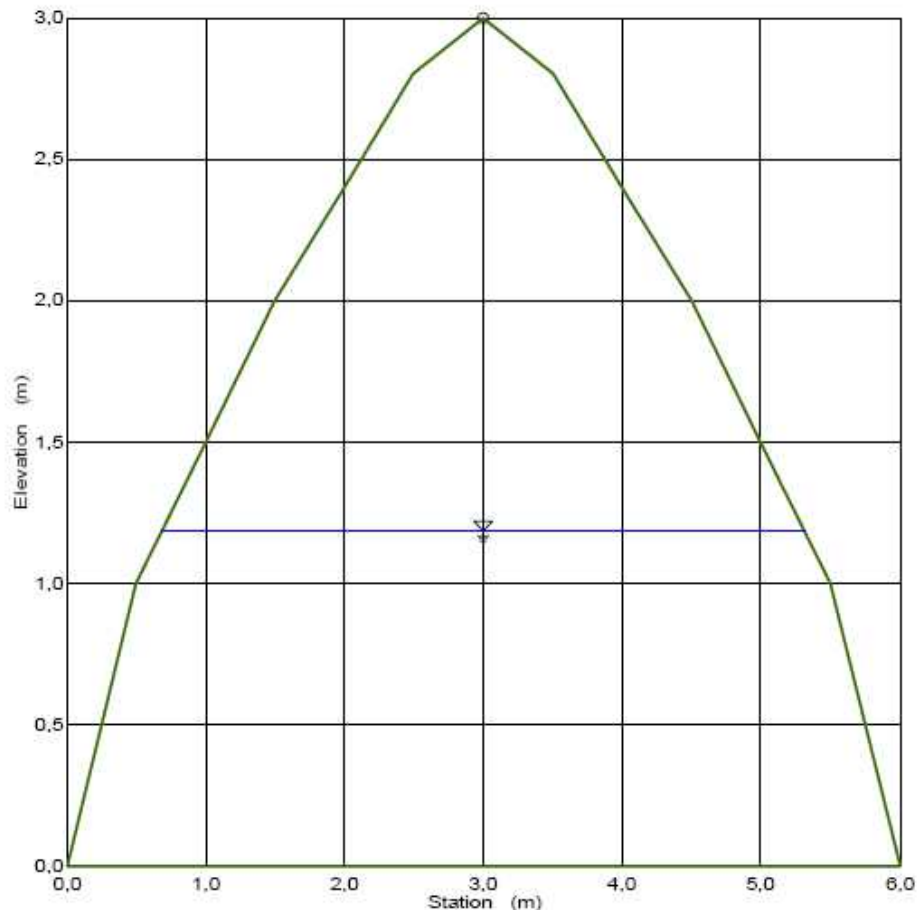
En este caso, el análisis se ha realizado empleando la fórmula de Manning y exclusivamente para la avenida de 500 años, ya que al ser la más restrictiva, si la obra de fábrica soporta sin entrar en carga ese caudal, asumirá los de las avenidas menores.

Para realizar el cálculo es necesario determinar la pendiente de la obra. Analizando con el modelo digital del terreno la cota a la entrada y la salida, se obtiene una pendiente media de entorno a un 0,66 %.

Como se trata de una obra formada por 3 arcos iguales, se va a dividir el caudal de 500 años de periodo de retorno que es de  $85 \text{ m}^3/\text{s}$  entre 3 y se va a realizar el cálculo para un único arco.

Con un número de Manning de 0,015 para el hormigón y la pendiente calculada de 0,66 % el agua alcanzará un calado de **1,18 m** cuando circulen los  $28 \text{ m}^3/\text{s}$ . En base a esto se puede afirmar que la obra tiene capacidad más que suficiente para que todo el caudal pase y entre en el modelo, tal y como se muestra en la sección resultante del FlowMaster que se adjunta.

Section Data	
Wtd. Mannings Coefficient	0,015
Channel Slope	0,006600 m/m
Water Surface Elevation	1,18 m
Discharge	28,00 $\text{m}^3/\text{s}$



## 6. ESTUDIO HIDRÁULICO

La modelización hidráulica se puede realizar utilizando modelos unidimensionales como el HEC-RAS, o bidimensionales como: Mike 21, InfoWorks, River2D o IBER, entre otros, que son más exigentes en información, y más precisos en sus resultados, especialmente en zonas llanas o en confluencias. Para el presente estudio, se ha utilizado el Modelo

Bidimensional IBER, que reproduce la hidráulica fluvial a través de una malla de cálculo generada a partir de un modelo digital de elevación.

En los siguientes apartados se va a proceder a realizar tanto una explicación del modelo, como de los parámetros de entrada necesarios, el proceso realizado para la determinación de las llanuras de inundación y los resultados obtenidos en la misma.

## **6.1. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA IBER**

IBER es un modelo matemático bidimensional para la simulación de flujos en ríos y estuarios desarrollado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, en el marco de un Convenio de Colaboración suscrito entre el CEDEX y la Dirección General del Agua, y en colaboración con el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA) de la Universidad de A Coruña, el Grupo Flumen, de la Universidad Politécnica de Cataluña, y de la Universidad de Barcelona y el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), vinculado a la Universidad Politécnica de Cataluña.

Es un modelo numérico bidimensional de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen variable, que incorpora como esquema numérico el método de alta resolución de Volúmenes Finitos. Este modelo consiste en la integración de los modelos CARPA (Universidad Politécnica de Cataluña) y TURBILLON (Universidad de Coruña). Dentro de su rango de aplicación se encuentran la hidrodinámica fluvial, la simulación de rotura de presas, la evaluación de zonas inundables, el cálculo de transporte de sedimentos y el flujo de marea en estuarios.

Consta de 3 módulos de cálculo principales: un módulo hidrodinámico, uno de turbulencia y otro de transporte de sedimentos. Todos trabajan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares o cuadriláteros. En el módulo hidrodinámico, el cual constituye la base de IBER, se resuelven las ecuaciones de aguas someras bidimensionales promediadas en profundidad, o ecuaciones de Saint Venant.

En el esquema de los volúmenes finitos en dos dimensiones, el dominio físico se descompone en polígonos (elementos triangulares o cuadriláteros), que se denominan volúmenes de control o finitos. Cada volumen tiene una superficie formada por los lados del polígono y este viene definido por sus vértices. La distribución de los vértices puede ser irregular y formar una malla no estructurada, o regular y formar una malla estructurada. Para un análisis en dos dimensiones los volúmenes finitos no forman un volumen sino un área y sus superficies son curvas cerradas. El uso de volúmenes finitos, permite considerar soluciones discontinuas de manera inmediata, además de conseguir que la discretización espacial se adapte mejor a dominios con formas arbitrarias (FLUMEN).

De esta manera, IBER se configura como un modelo numérico desarrollado directamente desde la Administración Pública Española, fácilmente adaptable a las necesidades específicas de cada momento, especialmente en los requerimientos derivados de la Directiva Marco del Agua, la Instrucción de Planificación Hidrológica, la Directiva de Inundaciones o el Plan Nacional de Calidad de las Aguas.

## **6.2. INFORMACIÓN DE PARTIDA**

Como información de partida para la modelación del flujo bidimensional se requiere la topografía del terreno con muy buena precisión, además de los parámetros de rugosidad que dependen de los usos del suelo, y los caudales de avenida para los diferentes periodos de retorno y sus hidrogramas asociados, ya que estos caudales pueden ingresarse como valores constantes (régimen permanente) o distribuidos a través del tiempo en hidrogramas de crecida (régimen transitorio).

### **6.2.1. Modelo Digital del Terreno (MDT)**

El modelo digital del terreno, en adelante MDT, es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno. Para las modelaciones hidráulicas es necesario disponer de una cartografía de precisión que represente fielmente la realidad del terreno en el tramo de estudio, por ello, la precisión del MDT es de gran importancia, debido a que cuanto mayor sea esa precisión mejores resultados se podrán obtener.

Para el presente estudio, se ha empleado un modelo digital del terreno generado mediante la tecnología LiDAR (Laser Imaging Detection and Ranging), el cual ha sido tratado para eliminar los valores correspondientes a elementos diferenciados del terreno: vegetación, puentes, etc.

Se ha utilizado el vuelo LIDAR proporcionado por el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). El trabajo se ha realizado en ETRS89 (huso 30). En todo el ámbito se ha dispuesto de una resolución cartográfica homogénea y alta (con una densidad media un punto referenciado por cada dos metros cuadrados), pudiéndose estimar la precisión en cota en 15 cm.

Una vez descargado el MDT, se ha procedido a realizar una revisión del mismo, para comprobar la inclusión o no de los elementos significativos, detectados durante la visita de campo.

El primer elemento significativo detectado, es la obra de paso situada bajo la A-6, que se muestra en la siguiente imagen en color amarillo. Se ha comprobado que no se encuentra incluida en el MDT, por lo que se ha tratado el mismo para incluirla y permitir de esta forma el paso del agua.

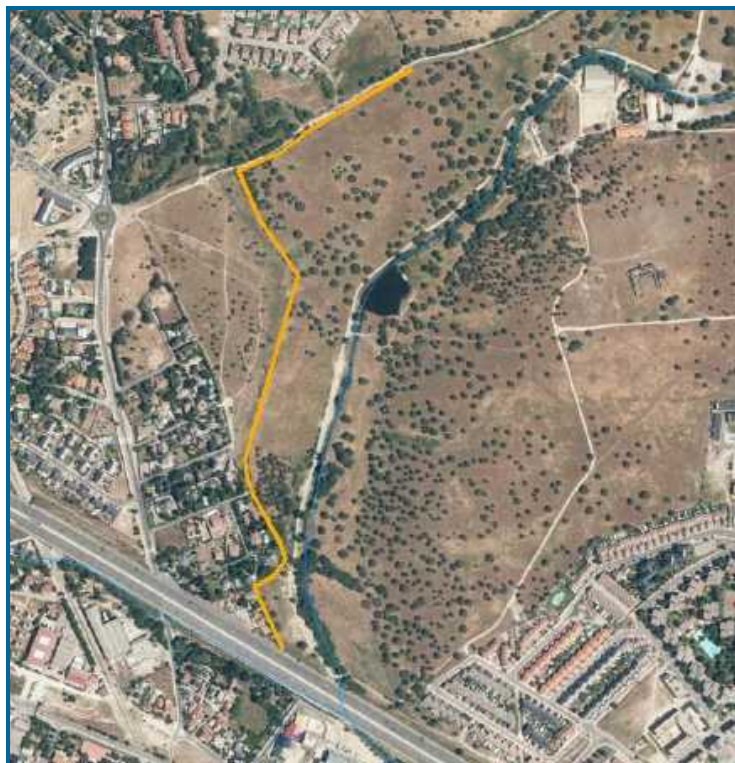




Imagen de las obras de paso

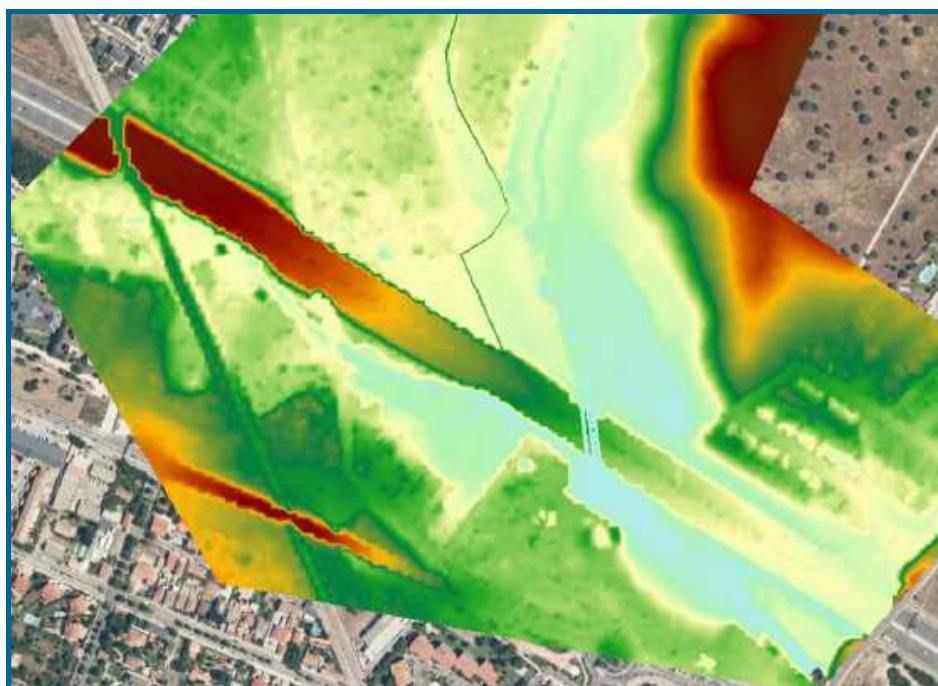
En la imagen marcada con un círculo en rojo, se observa una losa que está situada sobre el cauce para dar continuidad a un camino. Durante la visita de campo se tomaron las dimensiones de la losa resultando ser de 20 cm. Analizando el MDT, se observa como ésta se encuentra incluida en el mismo, generando una obstrucción e impidiendo la circulación del agua. Debido a las dimensiones de la misma, se ha considerado que es necesario quitarla del modelo, para que los resultados se adapten más a lo que ocurre en la realidad.

El último elemento que se ha tenido en cuenta, es un muro perimetral detectado en la visita, de 1,5 m de altura. Al comprobar que dicho muro no estaba considerado en el MDT, se ha modificado el mismo para incluirlo, ya que es muy probable que esta estructura no permita que el flujo del agua hacia la zona urbanizada.



Muro perimetral de la zona de estudio

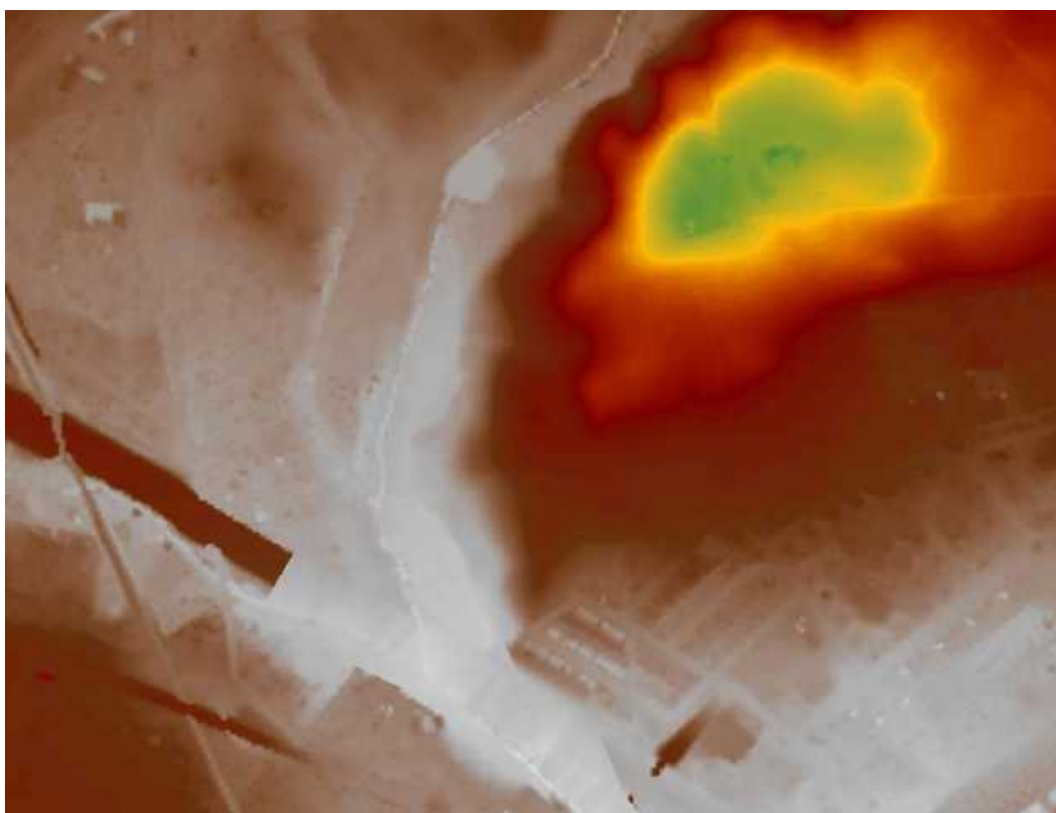
Una vez que se ha modificado el MDT real, posteriormente ha sido transformado a formato ASCII o TXT, formato utilizado en la simulación del IBER, para generar la geometría del terreno y posteriormente la malla de cálculo.



MDT real resultante de la zona de estudio

Para la delimitación del DPH, las modelizaciones hidráulicas de la Máxima Crecida Ordinaria (MCO) se deben hacer sobre el terreno en estado natural, sin tener en cuenta las acciones antrópicas que la hayan modificado, como las edificaciones, puentes, canales, etc.

En el caso que nos ocupa, partiendo del MDT descargado del CNIG, y analizando las ortofotos históricas de la zona, se han determinado todos los elementos antrópicos de la zona a eliminar, como son la autopista A-6, la obra de paso ubicada sobre el arroyo anteriormente señalada y el camino que discurre paralelo a la autopista, quedando el MDT natural tal y como se muestra en la siguiente imagen:



MDT natural resultante de la zona de estudio

### 6.2.2. Usos del Suelo

Con el fin de determinar las pérdidas de carga, tanto en el cauce, como en la llanura de inundación, se define la rugosidad, parámetro que depende fundamentalmente de los usos del suelo presentes en la zona, que será el segundo dato de partida del presente proyecto.

La Guía Metodológica para el Desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, editada por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, recomienda utilizar como información de partida para la definición de los usos del suelo, el mapa del proyecto europeo Corine Land Cover (CLC), los datos del Sistema de Información

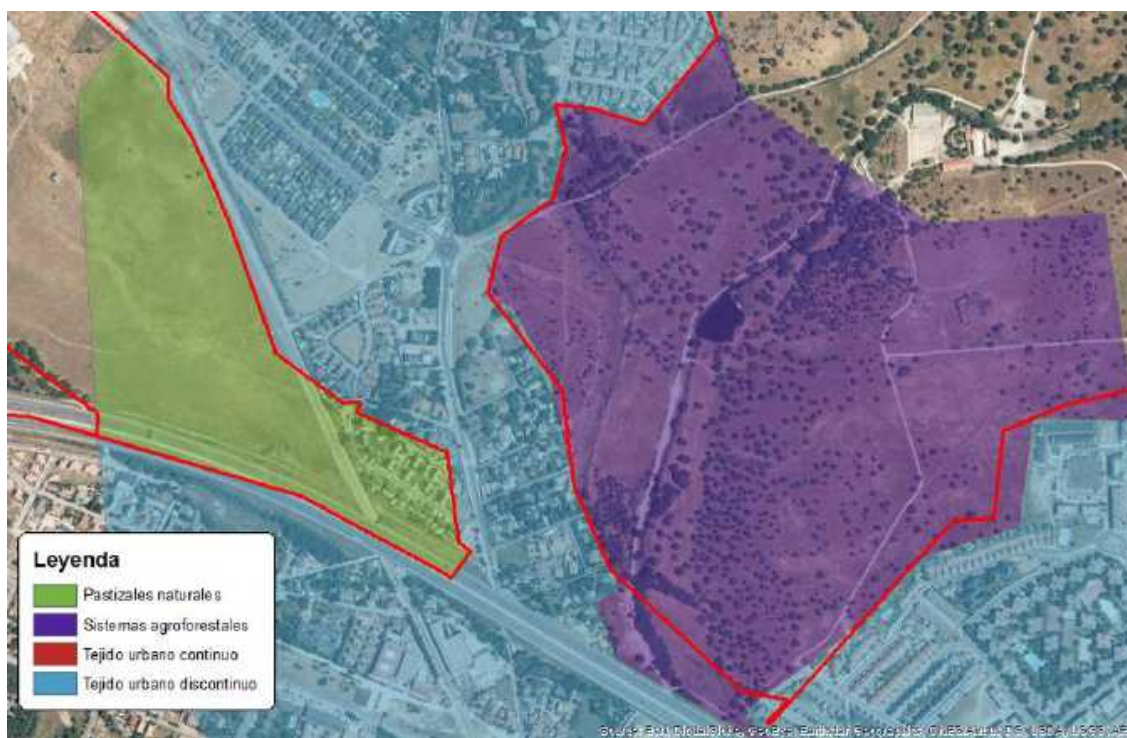


de Ocupación del Suelo en España (SIOSE) y de las ortofotos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA).

En este estudio, se han empleado las capas de información del CLC, que posteriormente se han contrastado con las ortofotos más actualizadas del PNOA, y con lo observado durante la visita de campo, para así realizar una definición muy precisa de los usos del suelo presentes en la zona, quedando definidos los siguientes usos del suelo en la zona, a la que se le asignan los números de Manning que se observan en la tabla:

USOS DEL SUELO	Nº MANING
Tejido urbano continuo	0,100
Tejido urbano discontinuo	0,090
Sistemas agroforestales	0,050
Pastizales naturales	0,035

En la siguiente imagen se muestran en rojo los usos originales del Corine, y en colores los modificados en función de las ortofotos y de la visita de campo realizada:



Comparativa entre usos del suelo del CLC y los definitivos

En el caso del modelo para la delimitación del DPH, como ya se ha comentado hay que eliminar todos los elementos antrópicos de la zona, por lo que los usos del suelo serán distintos.

Para establecer los usos del DPH se acude a la Ortofoto del año 1946, que se muestra a continuación, en la que se puede observar cómo era el cauce y la zona de estudio antes de la urbanización de la misma.



Ortofotografía del año 1946 de la zona de estudio

En ella se observa como el uso del suelo en la totalidad de la zona se trata de pastizales naturales, por lo que le corresponderá un número de Manning de 0,035.

### 6.2.3. Caudales

Para poder realizar el cálculo hidráulico el estudio hidrológico es fundamental, ya que a partir de él se conocen los caudales de avenida que se presentan en los diferentes periodos de recurrencia. En la siguiente tabla se muestran los caudales punta obtenidos del CAUMAX asociados a los distintos periodos de retorno, que van a ser objeto del estudio hidráulico:

T (años)	Q (m³/s)
<b>MCO (4 años)</b>	<b>23</b>
<b>10</b>	<b>33</b>
<b>100</b>	<b>62</b>
<b>500</b>	<b>85</b>

Resaltar que se han realizado los modelos hidráulicos en régimen variable, es decir, empleando los hidrogramas calculados en apartados anteriores.

## 6.3. PROCESO DE DATOS

Para poder poner en marcha el modelo hidráulico en IBER, es necesario introducir la siguiente información de partida:

- **Modelo digital de elevación** en formato ASCII o TXT
- **Caudales** ya sea en valor constante (punta de avenida) o distribuido en el tiempo mediante un hidrograma
- **Rugosidad** en formato ASCII o TXT y CSV.

El proceso para introducir todos los datos de partida, se describe con detalle, en los apartados que siguen:

### 6.3.1. Geometría del terreno

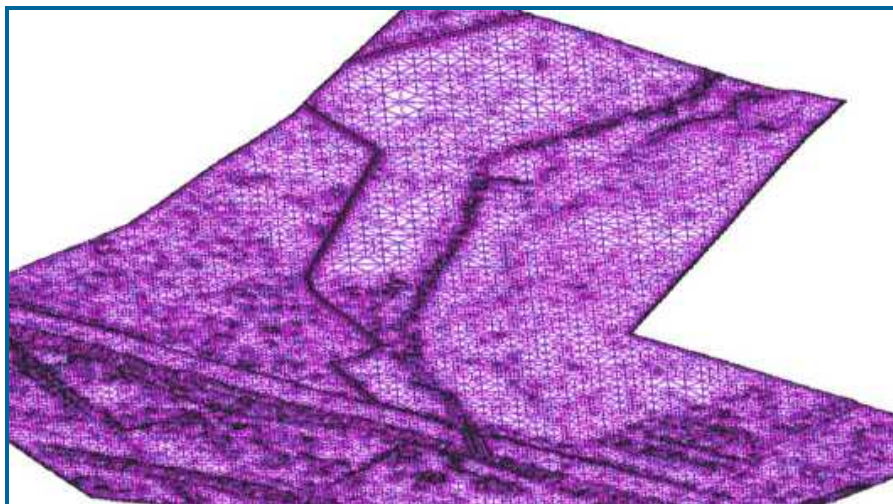
Para dibujar la geometría del terreno en el IBER, se puede realizar de dos formas: generándola o importándola.

En el caso del presente estudio, tras generar los dos MDTs de la zona, uno natural y otro real, estos se convirtieron a formato ASCII en el GIS para así poder importarlos al programa IBER. La importación se realizó por el método RTIN (red irregular de triángulos rectángulos), que genera geometrías muy aproximadas a la topografía real, con un número optimizado de elementos, ya que mediante este método se define:

- **Tolerancia:** definida como la máxima diferencia entre el terreno y la superficie de triángulo correspondiente.
- **Lado máximo:** lado máximo del triángulo.
- **Lado mínimo:** lado mínimo del triángulo.

En el caso del presente estudio, se han tomado los siguientes valores de tolerancia, lado máximo y mínimo para cada uno de los modelos:

PARÁMETROS	T10, T100 y T500	DPH
<b>Tolerancia</b>	0,1 m	0,1 m
<b>Lado máximo</b>	100,0 m	20,0 m
<b>Lado mínimo</b>	1,0 m	1,0 m



Geometría del modelo real

### **6.3.2. Hidrodinámica**

En el IBER existen tres tipos de condiciones que nos ayudan a definir la hidrodinámica de la zona de estudio. Estas condiciones se enumeran a continuación, y se explican con detalle en los apartados que siguen.

1. Condiciones de contorno
2. Condiciones iniciales
3. Condiciones internas

#### **6.3.2.1. Condiciones de contorno**

Existen dos tipos de condiciones de contorno, las de entradas y las de salida. En las condiciones de contorno de entrada, se establecen las entradas de caudal que se van a simular en el modelo. En las condiciones de salida, se establece cómo se va a desaguar en el modelo.

Para el caso concreto de este estudio, se va a establecer la entrada de caudal al inicio del modelo. Dicho inicio se ha establecido lo suficientemente aguas arriba del tramo concreto de estudio como para que no se produzcan interferencias en el modelo, estableciendo así una zona de acomodamiento para el modelo hidráulico.

Las condiciones de contorno de salida, se ha considerado como flujo subcrítico, lo que permite la salida libre de todo el caudal que llega, asignada en la parte final del cauce, para que el agua no se acumule provocando remansos.

#### **6.3.2.2. Condiciones iniciales**

Las condiciones iniciales hacen referencia al estado en el que se encuentra el terreno al inicio de la simulación, en el presente estudio se considera que todo está seco; por ello, se



le asigna a todo la geometría un calado inicial de cero, como suele ser habitual en este tipo de estudios.

#### **6.3.2.3. Condiciones internas**

Las condiciones internas, permiten introducir condiciones de flujo puntuales y distintas en el modelo, como por ejemplo para simular los efectos que genera un puente.

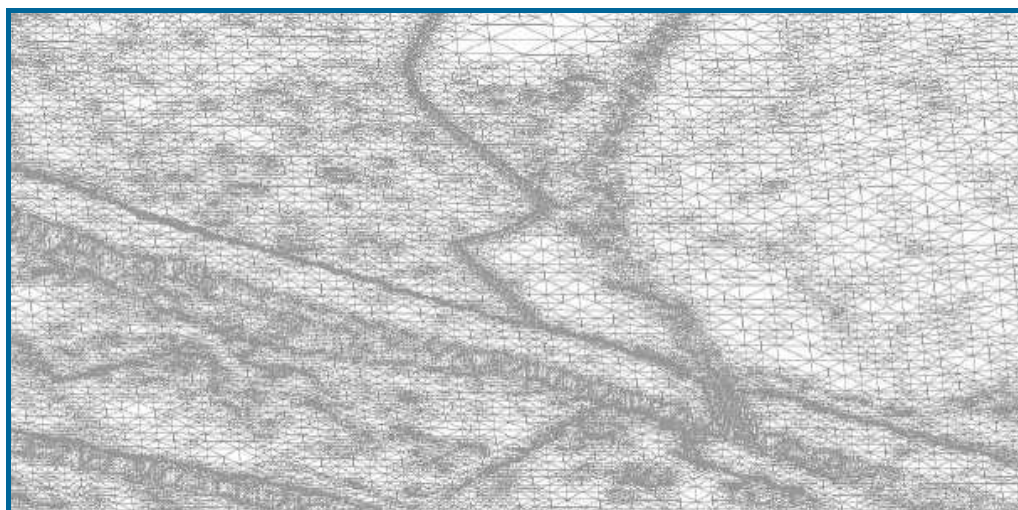
Existen cuatro tipos de condiciones internas: compuerta, vertedero, pérdida local y vertedero-compuerta. Las diferencias entre ellas se basan en el tipo de régimen al que el flujo estará sometido, bajo compuerta, vertedero o ambos. La condición interna de pérdida de carga, permite introducir en el modelo una pérdida local en una zona en concreto.

En el caso de los modelos generados para el estudio, no ha sido necesario introducir ninguna condición interna.

#### **6.3.3. Mallado**

Con la geometría creada, y las características hidrodinámicas definidas, se crea la malla. En el caso que se estudia para ambos modelos, real y natural, se trabajó con un tipo de mallado no estructural, con elementos triangulares y con un número de divisiones de superficie de 1.

Al generar la malla se identifica el número de triángulos y nodos generados, datos a tener en cuenta, ya que cuanto mayores sean estos números, mayor será el tiempo de simulación.



Malla del modelo real

#### **6.3.4. Rugosidad**

Una vez generada la malla, la rugosidad se introduce en el modelo a través del coeficiente de rugosidad de Manning.



Para ello se genera un raster con los usos del suelo, que posteriormente se pasa a ASCII y se introduce en el IBER, mediante la asignación automática en función de la ubicación.

### 6.3.5. Datos del problema

El último paso, previo al inicio del cálculo del programa, es definir los parámetros de cálculo, mediante la determinación del tiempo máximo de simulación, el incremento de tiempo máximo de cálculo, y el intervalo de presentación de resultados. El tiempo máximo de simulación, ha de ser suficientemente largo para que el hidrograma entre en el modelo, salga del mismo y en caso de régimen permanente para que se establezca la entrada de caudal.

En la siguiente tabla, se muestran los valores que se han establecido para cada modelo creado:

MODELO	T <sub>máx</sub> simulac. (s)	$\Delta$ T <sub>máx</sub> (s)	T <sub>resultados</sub> (s)
T10, T100 y T500	21.000	1	300
MCO	18.000	1	300

## 7. DETERMINACIÓN DPH

### 7.1. INTRODUCCIÓN

La determinación del Dominio Público Hidráulico, se va a realizar según lo estipulado en el Reglamento aprobado por Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril.

En él se define el Dominio Público Hidráulico como:

- *Álveo o cauce natural de una corriente continua o discontinua es el terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias (artículo 4 del texto refundido de la Ley de Aguas). La determinación de ese terreno se realizará atendiendo a sus características geomorfológicas, ecológicas y teniendo en cuenta las informaciones hidrológicas, hidráulicas, fotográficas y cartográficas que existan, así como las referencias históricas disponibles.*
- *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*

### 7.2. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA – Máxima Crecida Ordinaria

Para la determinación de la Máxima Crecida Ordinaria (MCO), se ha empleado el CAUMAX, donde se establece que para el arroyo la Poveda, la MCO se corresponde con la avenida de periodo de retorno de 4 años, cuyas aportaciones son de 23,0 m<sup>3</sup>/s.

Introduciendo este caudal en el modelo hidráulico realizado con el MDT natural, se obtiene la inundación correspondiente a la máxima crecida ordinaria, que se puede observar en la siguiente imagen:



Llanura de inundación para el Dominio Público Hidráulico (DPH)

Sin embargo, tal y como se expone en el Reglamento, para la delimitación del DPH no basta con realizar el modelo hidráulico, sino que hay que realizar una revisión de las características geomorfológicas del tramo de estudio. Por esto, se considera de vital importancia comprobar la evolución geomorfología, no solo natural sino también antrópica, producida en un cauce del río a la hora de realizar una propuesta de delimitación de Dominio Público Hidráulico.

### 7.3. DINÁMICA FLUVIAL

En el presente apartado, se realiza el estudio evolutivo del medio fluvial del arroyo La Poveda dentro del ámbito de estudio; observando las fotografías aéreas disponibles en el visor cartográfico de la página web del Sistema de Información Territorial y Cartografía de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid: <http://www.madrid.org/cartografia/visorCartografia/html/visor.htm>.

Se han consultado las fotografías aéreas de los siguientes años: 1946, 1956, 1975, 1999, 2007 y 2014.

El año de referencia es el más antiguo, es decir 1946 y el más reciente el año 2014, por lo cual se ha trabajado en un rango de 68 años, que es un periodo lo suficientemente amplio como para permitir encontrar algunas explicaciones al comportamiento hidráulico del tramo.

La comparación de la posición del cauce en diferentes fechas, persigue identificar las ampliaciones del cauce posteriores a la imagen de referencia, además de ayudar a entender la dinámica evolutiva del cauce.

Algunas veces, en las fotografías se identifican evidencias de crecidas, pudiendo ser efímeras que desaparecen a corto plazo, o son camufladas por la vegetación (depósitos flotantes, sedimentos expuestos); o topográficas, en las que se altera la superficie del terreno, pero su morfología perdura en la superficie durante décadas (formas ligadas a procesos).

A continuación se muestra la evolución del tramo de estudio en los diferentes años analizados.

### Imagen referencia – Año 1946





## Año 1956 (Vuelo americano)



## Año 1975



## Año 1999



## Año 2007





## Año 2014



Revisando con detalle estas fotografías aéreas de todo el tramo se pueden establecer 2 etapas, la primera de ellas sería desde la imagen de referencia (1946) hasta el año 1975 y la segunda etapa sería desde el año 1975 hasta la actualidad.

En esta segunda etapa se puede comprobar como apenas ha sufrido modificaciones, tanto naturales debidas a inundaciones o crecidas como antropológicas.

Sin embargo, en la primera etapa, se observa perfectamente, especialmente en las imágenes de 1946 y 1956, como el cauce era claramente trezado en su parte final justo aguas arriba de la confluencia del arroyo de los Linos, ocupando algunos de sus brazos lo que en la actualidad es la margen izquierda del arroyo de la Poveda.

Este tipo de ríos trezados, o también conocidos como anastomosados, tienen gran capacidad de transporte y sedimentación, y menor energía que las corrientes rectilíneas, por lo que tienden a modificar su trayectoria, al encontrarse con obstáculos, adecuándose al relieve y a los sedimentos en el fondo del cauce.

En las siguientes imágenes se muestra el detalle de esta zona para los mismos horizontes que en las anteriores:





## Año 1975



## Año 1999





## Año 2007



## Año 2014



Tal y como se observa en las siguientes tres imágenes se corrobora que efectivamente el área inundada en la margen izquierda por la MCO debería ser considerada DPH, no solo hidráulicamente, sino también históricamente y geomorfológicamente, al haber sido anteriormente cauce propio del río y no serlo en la actualidad debido a la gran presión antrópica realizada con la construcción de la autovía A6 así como como de otras construcciones realizadas posteriormente.

**Año 1946**



**Año 1956**



**Año 1975**



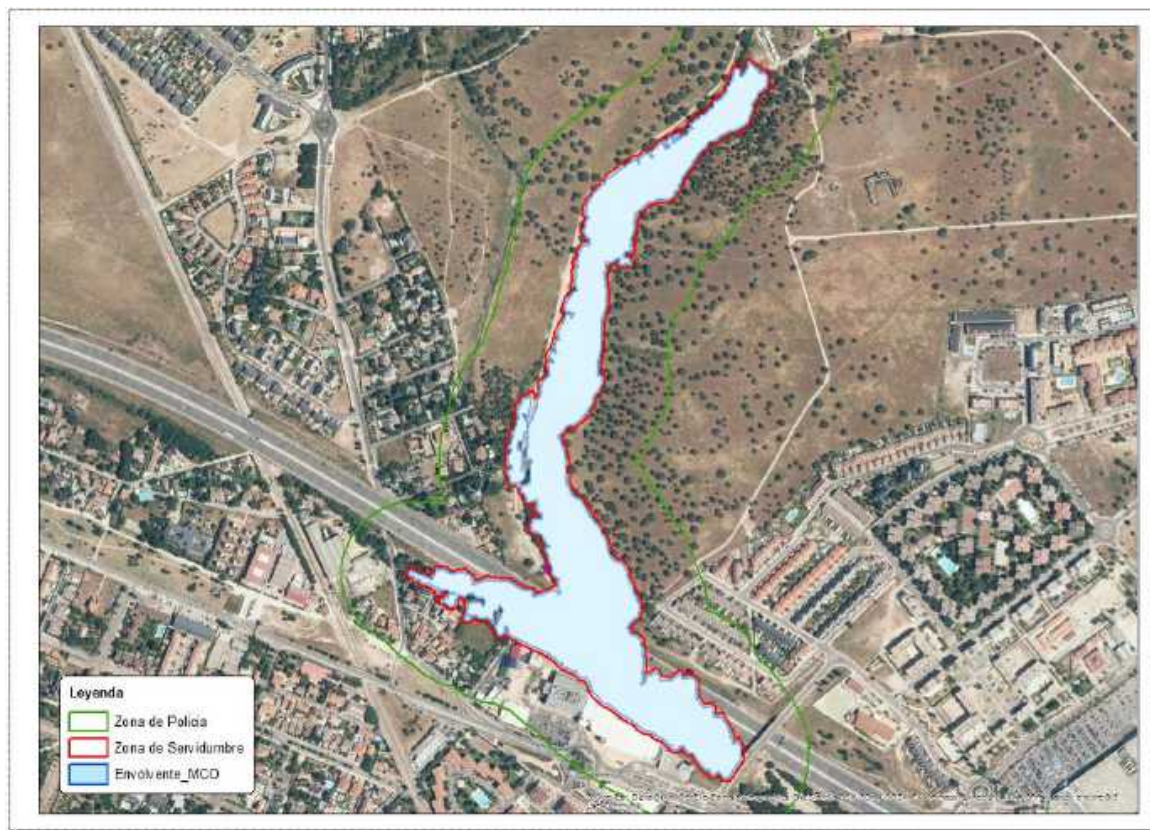
Sin embargo, y respecto al objetivo principal del presente estudio se observa que el río en ninguno de estos años circuló por lo que actualmente es la margen derecha del arroyo, zona donde está prevista la ubicación del aliviadero incluido en el “Proyecto de Construcción Actuaciones Sistema El Endrinal. Tramo B-5 en los TT.MM. de Alpedrete y Collado Villalba.” Por lo que el DPH se debería circunscribir a los resultados obtenidos con la modelización hidráulica de la Máxima Crecida Ordinaria.

También se puede extraer otra conclusión en base a este estudio de dinámica fluvial y es que, tal y como se constata en los últimos 40 años (1975-2015), la movilidad está muy limitada debido a la consolidación de la Autovía A6 que confiere una gran rigidez al cauce y por tanto no cabe esperar en años futuros que haya modificaciones en cuanto al trazado del cauce.



## 7.4. PROPUESTA DELIMITACIÓN DPH Y ZONAS ASOCIADAS

A continuación se incluye una imagen de la propuesta de Dominio Público Hidráulico del arroyo de la Poveda, con la delimitación de la Zona de Servidumbre y la Zona de Policía.



Propuesta de DPH y Zona de Policía y Servidumbre

Por último destacar que la ubicación del aliviadero se encuentra fuera de la propuesta de delimitación de DPH y su Zona de Servidumbre asociada.



Detalle de la futura ubicación del aliviadero con la propuesta de DPH y Zona de Servidumbre

## 8. DETERMINACIÓN ZI

Para llevar a cabo la determinación de las **Zona Inundables**, se deben realizar los modelos hidráulicos para establecer el área inundada por cada una de las avenidas a estudiar, que en este caso son las de **10, 100 y 500 años** de periodo de retorno.

A continuación en los siguientes mapas, se muestran los resultados de calados obtenidos para cada uno de los periodos de retorno. Al final del documento se incluyen los planos con las envolventes de las zonas inundables.



Llanura de inundación para el periodo de retorno de 10 años





Llanura de inundación para el periodo de retorno de 100 años



Llanura de inundación para el periodo de retorno de 500 años

Analizando los resultados obtenidos, se observa cómo debido a la morfología de la zona, se producen los mayores desbordamientos por la margen izquierda ya que en según se



corroboró en la visita de campo, la cota es menor en esta margen que en la derecha. La explicación a esto es lo mencionado anteriormente en el estudio de la dinámica fluvial.

En la margen derecha, se observa como en ninguno de los periodos de retorno estudiados, se supera el muro perimetral introducido en el MDT, este hecho hace que el agua no llegue a la zona urbanizada, tal y como se puede observar en la siguiente imagen:



Detalle de la llanura de inundación para el periodo de retorno de 500 años

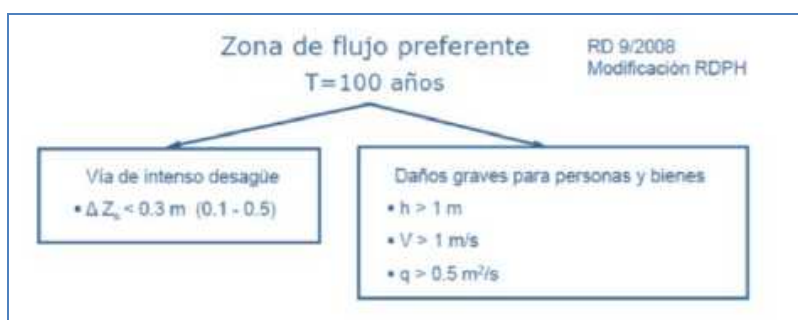
Por último indicar que la zona en la que se ubicará el aliviadero, se ve afectada por todas las inundaciones analizadas en el presente estudio tal y como se podía esperar debido a su proximidad al cauce del río y a la magnitud de las avenidas estudiadas.

## 9. DETERMINACIÓN ZONA DE FLUJO PREFERENTE (ZFP)

El RD 9/2008 establece que “la zona de policía podrá ampliarse, si ello fuese necesario, para incluir la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo, con objeto de proteger el régimen de corrientes en avenidas, y reducir el riesgo de producción de daños en personas y bienes”.

En estas zonas o vías de flujo preferente (en adelante ZFP) sólo podrán ser autorizadas, por el organismo de cuenca, aquellas actividades no vulnerables frente a las avenidas y que no supongan una reducción significativa de la capacidad de desagüe de dicha vía.

Según el RD 9/2008, la zona de flujo preferente es aquella zona constituida por la unión de la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo durante las avenidas, o vía de intenso desagüe (VID), y de la zona donde, para la avenida de 100 años de periodo de retorno, se puedan producir graves daños sobre las personas y los bienes, denominada zona de inundación peligrosa (ZIP), quedando delimitado su límite exterior mediante la envolvente de ambas zonas.



### 9.1. ZONA DE INUNDACIÓN PELIGROSA (ZIP)

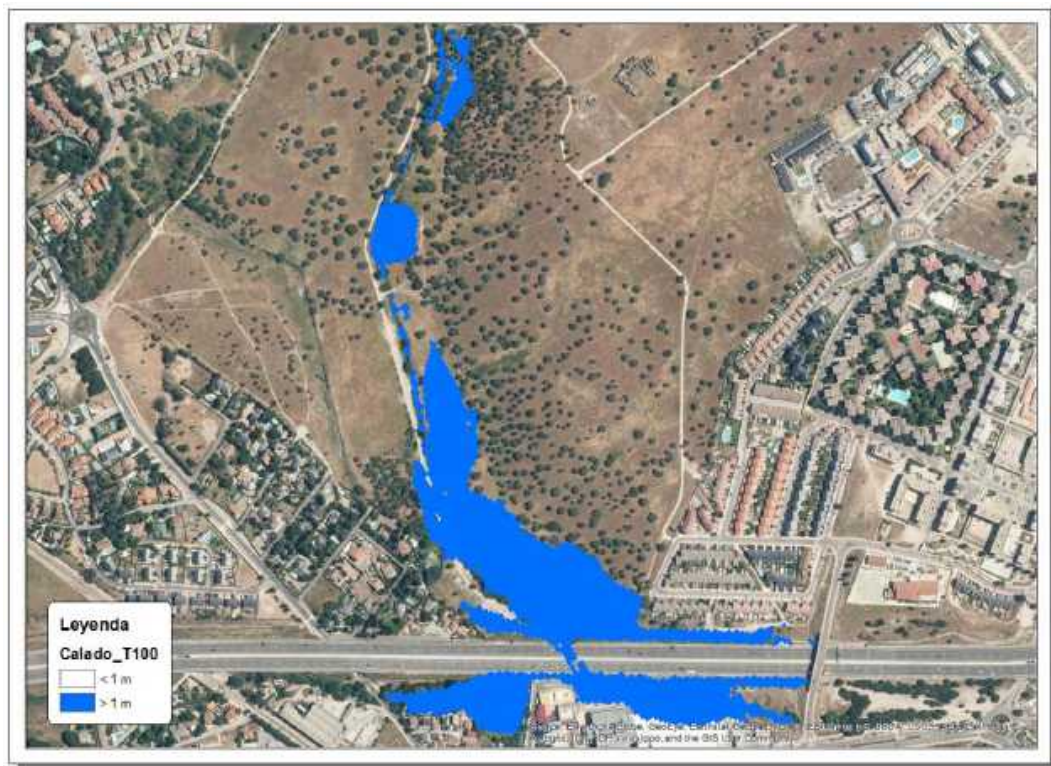
Según el RD 9/2008, en su quinta modificación, concretamente la del artículo 9 del RD 849/1986, define que pueden producirse graves daños sobre las personas y los bienes cuando las condiciones hidráulicas durante la avenida satisfaga uno, o más, de los siguientes supuestos:

- Calados superiores a 1 metro
- Velocidades superiores a 1 m/s
- Que el producto de las anteriores sea superior a 0,5 m²/s

Por tanto, a partir de la simulación de la avenida de 100 años de periodo de retorno, se han obtenidos tres mapas correspondientes a los tres supuestos anteriores.

#### ➤ Calado superior a 1 metro





➤ **Velocidad superior a 1 m/s**





➤ Producto de ambos superior a 0,5 m<sup>2</sup>/s



Como la Zona de Graves Daños o de Inundación Peligrosa es la que cumple como mínimo uno de los tres criterios anteriores, se realiza la envolvente de las tres llanuras, quedando como la ZIP para T100, la que se muestra a continuación:



ZIP del arroyo la Poveda



## 9.2. VÍA DE INTENSO DESAGÜE (VID)

Según el RD 9/2.008, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, en su Artículo 9.2: *“Se entiende por vía de intenso desagüe la zona por la que pasaría la avenida de 100 años de periodo de retorno sin producir una sobreelevación mayor de 0,3 metros, respecto a la cota de la lámina de agua que se produciría con esa misma avenida considerando toda la llanura de inundación existente. La sobreelevación anterior podrá, a criterio del organismo de cuenca, reducirse hasta 0,1 metros cuando el incremento de la inundación pueda producir graves perjuicios o aumentarse hasta 0,5 metros en zonas rurales o cuando el incremento de la inundación produzca daños reducidos”*.

La simulación de la VID se ha realizado mediante IBER en todo el tramo de estudio, para la avenida de 100 años de periodo de retorno. Para ello se ha definido un polígono, coincidente con la Zona de Graves Daños, para el cual se ha realizado el cálculo hidráulico.

Haciendo la diferencia entre el calado obtenido dentro del polígono delimitado y el calado máximo normal obtenido en el modelo de T=100 años, se comprueba que la sobreelevación en prácticamente todo el polígono es siempre inferior a los 30-40 cm.

En base a las diferencias obtenidas, se desprende que el polígono que delimitaría la VID, sería menor al polígono empleado de la ZIP, por lo que no es necesario realizar más modelizaciones para seguir ajustando la VID, ya que estará contenida dentro de la ZIP.

## 9.3. ZONA DE FLUJO PREFERENTE (ZFP)

Finalmente, la Zona de Flujo Preferente se obtiene mediante la envolvente de la Vía de Intenso Desagüe (VID) y la Zona de Inundación Peligrosa (ZIP) para la avenida de 100 años.

Debido a que en este caso la VID queda incluida dentro de la Zona de Inundación Peligrosa, la Zona de Flujo Preferente coincidirá con la Zona de Inundación Peligrosa en todo el polígono.

En la siguiente imagen se muestra la envolvente la ZFP, y en el documento Planos se recoge el resultado de la zona de flujo preferente.



ZFP del arroyo la Poveda

Una vez definida la ZFP, se puede observar en la siguiente imagen de detalle, como la ubicación del futuro aliviadero se encuentra fuera de la misma.



Detalle futura ubicación del aliviadero dentro de la ZFP

## 10. UBICACIÓN ALIVIADERO

Tal y como se comentó al principio del estudio, también se comprueba a continuación que el aliviadero no se encuentre ubicado en la zona del DPH correspondiente al arroyo de Los Linos, como se muestra en la siguiente imagen.



Detalle ubicación del aliviadero respecto a DPH y zonas asociadas del Arroyo de Los Linos

Tal y como se puede ver el aliviadero se encuentra fuera del DPH y servidumbre del arroyo de Los Linos, encontrándose ubicado en su zona de Policía.

Estas zonas se obtienen de la capa “DPH Estimado” del visor WMS del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Además en la siguiente imagen se muestra como la ubicación del aliviadero también se encuentra fuera de la mancha de inundación producida por la avenida de periodo de retorno de 10 años del arroyo de los Linos.





Detalle ubicación del aliviadero respecto avenida T10 del arroyo de Los Linos

Sin embargo y como es de esperar, si se encuentra ubicado en la mancha de inundación producida por la avenida de periodo retorno de 100 años, tal y como se puede ver en la siguiente imagen.



Detalle ubicación del aliviadero respecto avenida T100 del arroyo de Los Linos



## 11. CONCLUSIONES

La conclusión principal que se extrae del presente estudio, es que se puede afirmar que la situación determinada para la ubicación del aliviadero **NO SE ENCUENTRA INCLUIDA en la propuesta de delimitación del Dominio Público Hidráulico del arroyo de La Poveda ni en su Zona de Servidumbre asociada ni en la Zona de Flujo Preferente.**



## **ANEJOS**

## PLANOS

---

## ÍNDICE

1. Dominio Público Hidráulico (DPH)
2. Zona Flujo Preferente (ZFP)
3. Zona Inundable T = 10 años
4. Zona Inundable T = 100 años
5. Zona Inundable T = 500 años



