ANEJO 4

1. ANTECEDENTES Y OBJETIVO DEL ESTUDIO 2

2. ÁMBITO DEL ESTUDIO 2

3. SÍNTESIS DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA 2

4. CARTOGRAFÍA 4

4.1. Cartografía básica 4

4.2. Obtención de fotografías aéreas 7

4.3. Obras de fábrica 8

5. ESTUDIO HIDRÁULICO UNIDIMENSIONAL 9

5.1. Metodología 9

5.1.1. Datos básicos requeridos por el modelo 10

5.1.1.1. Geometría de las secciones 10

5.1.1.2. Longitudes de tramo 11

5.1.1.3. Coeficientes de pérdida de energía 11

5.1.1.4. Datos relativos al régimen de flujo 12

5.1.1.5. Datos relativos a la modelización de las zonas de inundación 13

5.2. Cartografía e infraestructuras 14

5.2.1. Tratamiento de las obras de paso 14

5.3. Modelos construidos 17

5.3.1. Distribución de perfiles transversales 18

5.3.2. Modelización de puntos singulares: situación actual 18

5.3.3. Caudales de avenida adoptados 18

5.4. Resultados del cálculo 19

6. ESTUDIO HIDRÁULICO BIDIMENSIONAL 20

6.1. TOPOGRAFIA SIMULADA 20

6.2. Caudales a considerar 20

6.3. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO 20

6.3.1. Parámetros básicos 21

6.3.2. Parámetros hidrodinámicos 22

6.3.2.1. Condiciones de contorno 22

6.4. Calibración y simulación 24

7. REPRESENTACIÓN DE LOS NIVELES ALCANZADOS SOBRE ORTOFOTOS 29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo Digital Del Terreno 6
Figura 2. Modelo Digital Final Utilizado En El Modelo Bidimensional 7
Figura 3. Ortofotos Utilizadas En La Presentación De La Inundabilidad **8**
Figura 4. Ejemplo De Perfil Longitudinal Extraído Del Hec-Ras 16
Figura 5. Visualización De La Perspectiva Del Modelo 17
Figura 6. Distribución De Rugosidades Utilizadas En El Modelo 21
Figura 7. Hidrogramas Introducidos En El Modelo 23
Figura 8. Distribución De Puntos De Muestreo De Calados Y Velocidad. **25**
Figura 9. Calados De Agua Una Vez Pasada La Punta Del Hidrograma De 500 Años De Periodo De Retorno **28**

1. ANTECEDENTES Y OBJETIVO DEL ESTUDIO

Los torrentes Gros y el Na Bàrbara están situados al este de la ciudad de Palma. Dado su régimen torrencial estos cursos fluviales son susceptibles de padecer inundaciones de una forma recurrente, que ligado a la proximidad de zonas urbanas se generan situaciones de riesgo en el caso del desbordamiento de estos.

Por esta razón ABAQUA se planteó realizar un estudio genérico relacionado con estos presenten En este anejo se pretende cubrir el objetivo de realizar el estudio hidráulico y poder delimitar las zonas inundables relacionadas con estos torrentes.

2. ÁMBITO DEL ESTUDIO

De una forma general el estudio hidráulico abarca los siguientes tramos.

Torrente Gros:

- Cauce principal: Desde la desembocadura hasta 1000 metros aguas arriba del cruce del Torrente con la carretera de Sóller.
- Torrente Coanegre (Afluente): Desde su confluencia con el cauce principal del torrent Gros, hasta unos 1000 metros aguas arriba del cruce de éste con la carretera PM-204 Palma-Bunyola

Torrente Bàrbara:

- Desde la desembocadura en el Portitxol, hasta unos 1000 metros agua arriba del cruce del Torrente con la carretera de Valldemossa.

3. SÍNTESIS DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA

La base de todo estudio hidráulico es una cartografía con el suficiente detalle como para conseguir el objetivo que se persigue. En este estudio la base cartográfica ha sido un Modelo Digital de Terreno (DTM), un Modelo Digital de Superficie (DSM), ambos de 1m x 1m de tamaño de celda y Ortofoto digital en todo el tramo de estudio. La elaboración de la cartografía ha sido mediante metodología LIDAR.

Los caudales introducidos en los modelos hidráulicos se han recopilado de los resultados del estudio hidrológico incluido en el anejo número 3.

Estos caudales recogidos fueron calculados con el programa HEC-HMS, teniendo en consideración el transporte y la laminación producida en el cauce.

En cuanto a la simulación hidráulica, los torrentes objeto de estudio tienen un comportamiento diferenciado entre la zona norte y zona sur -ver tabla 1-

Tabla 1: Descripción de los dos ámbitos de trabajo.

Torrente Gros	1000 metros aguas arriba del cruce del Torrente con la carretera de Sóller hasta Es pont d'Inca.
Torrente Bàrbara	1000 metros agua arriba del cruce del Torrente con la carretera de Valldemossa hasta el cruce con el carrer de gremis de cirurgians i barbers, conexión con el polígono industrial de Son Rosinyol i son Castelló.
ZONA SUR	
Torrente Gros	Desde Es pont d'Inca a desembocadura al mar
Torrente Bàrbara	Desde la conexión con el polígono industrial de Son Castelló y Son Rosinyol a desembocadura al mar

En la zona norte el flujo se comporta de una forma unidimensional en casi todo el recorrido, ya que el flujo sigue el cauce principal, por lo que el programa empleado para la simulación y representación de los datos ha sido el HEC-RAS del U.S. Army Corps of Engineers (v. 3.1.3) de mayo de 2.005, que es en esencia, una versión evolucionada del conocido HEC-2.

En la zona sur, la existencia de una zona extremadamente llana implica que una vez el agua supere el muro del cauce existente, el avance de la onda de avenida se convierte en claramente bidimensional.

El empleo de una herramienta bidimensional permite estudiar con mucha mayor precisión los niveles y velocidades que alcanza el flujo de agua en las márgenes de inundación. En esta zona, la simplificación que representa emplear un modelo de flujo unidimensional, que considera una única dirección del agua en el cauce, unido a que estos modelos suponen distribuciones homogéneas de la velocidad en la sección, cosa que no sucede en secciones tan amplias, puede producir errores significativos en los cálculos hidráulicos. Estos son más evidentes en el momento en que la inundación entra en una zona urbana o muy antropizada con gran número de obras de drenaje, puentes, viarios de grandes terraplenes, paso de calles y carreteras bajo los mismos, etc

El programa bidimensional con el que se ha construido el modelo es el GUAD-2D, desarrollado por el Departamento de Mecánica de Fluidos del C.P.S. de la Universidad Zaragoza, en colaboración con INCLAM, S.A.

Los datos necesarios para completar el modelo son los siguientes:

- Terreno: se ha calculado con grid obtenido a partir del tratamiento del DSM, el DTM procedentes de la cartografía LIDAR y cartografia 1:500 del IMI.
- Grid de rugosidades, empleando el parámetro de Manning para definir las distintas zonas
- Establecimiento de las condiciones de contorno
- Definición de las condiciones iniciales de simulación
- Introducción de los hidrogramas con los caudales de cálculo
- Establecimiento de los parámetros de cálculo (tiempo de modelización, tiempo de grabación de resultados) y puntos o secciones de donde se obtienen los resultados

Una vez que los parámetros quedaron ajustados se introdujeron los valores de los caudales correspondientes a las avenidas de 50, 100 y 500 años de periodo de retorno modelizándose las 3 avenidas.

Como resultados se ha obtenido la zona inundable para cada una de ellas como una serie de grids de agua con información del calado, cota de agua y velocidad en cada píxel.

4. CARTOGRAFÍA

4.1. CARTOGRAFÍA BÁSICA

La cartografía base para realizar el estudio hidráulico de los torrentes realizadota sido realizada mediante un levantamiento topográfico empleando la metodología LIDAR con altímetro láser aerotransportado (Airborne Laser Survey) se ha obtenido los siguientes modelos digitales de terreno del cauce y sus márgenes:

- Modelo Digital de Terreno (Digital Ground Model).
- Modelo Digital de Elevaciones (Digital Surface or Canopy Model).
- Modelo de Intensidades (Lidar Intensity Image).

La tecnología de altimetría láser permite atravesar la cubierta forestal obteniendo modelos de altimétricos de la superficie del terreno (Modelo Digital de Terreno) y de los objetos (Edificaciones, Vegetación, etc.) que se sitúan sobre ese terreno (Modelo Digital de Elevaciones). No se ha considerado necesaria la corrección de los modelos digitales de terreno a partir de la obtención de

batimétricas mediante metodología clásica al ser un río muy regulado y realizarse el vuelo en época seca.

Los dos modelos generados, el Modelo Digital del Terreno (DTM) y Modelo Digital de Superficie (DSM) que incluye edificaciones, infraestructuras, vegetación…, cuentan con 1m de paso de malla y 15cm de precisión altimétrica.

A parte, en algunos tramos. dónde la cartografía base no era suficiente, ha sido completada con cartografía 1:500 procedente del IMI.

Aproximadamente el tramo de cauce y márgenes de inundación de los distintos torrentes asciende a 28 km lineales de cauce..

A continuación se muestra un ejemplo de los modelos utilizados en los que se puede apreciar la elevada calidad de la cartografía utilizada:

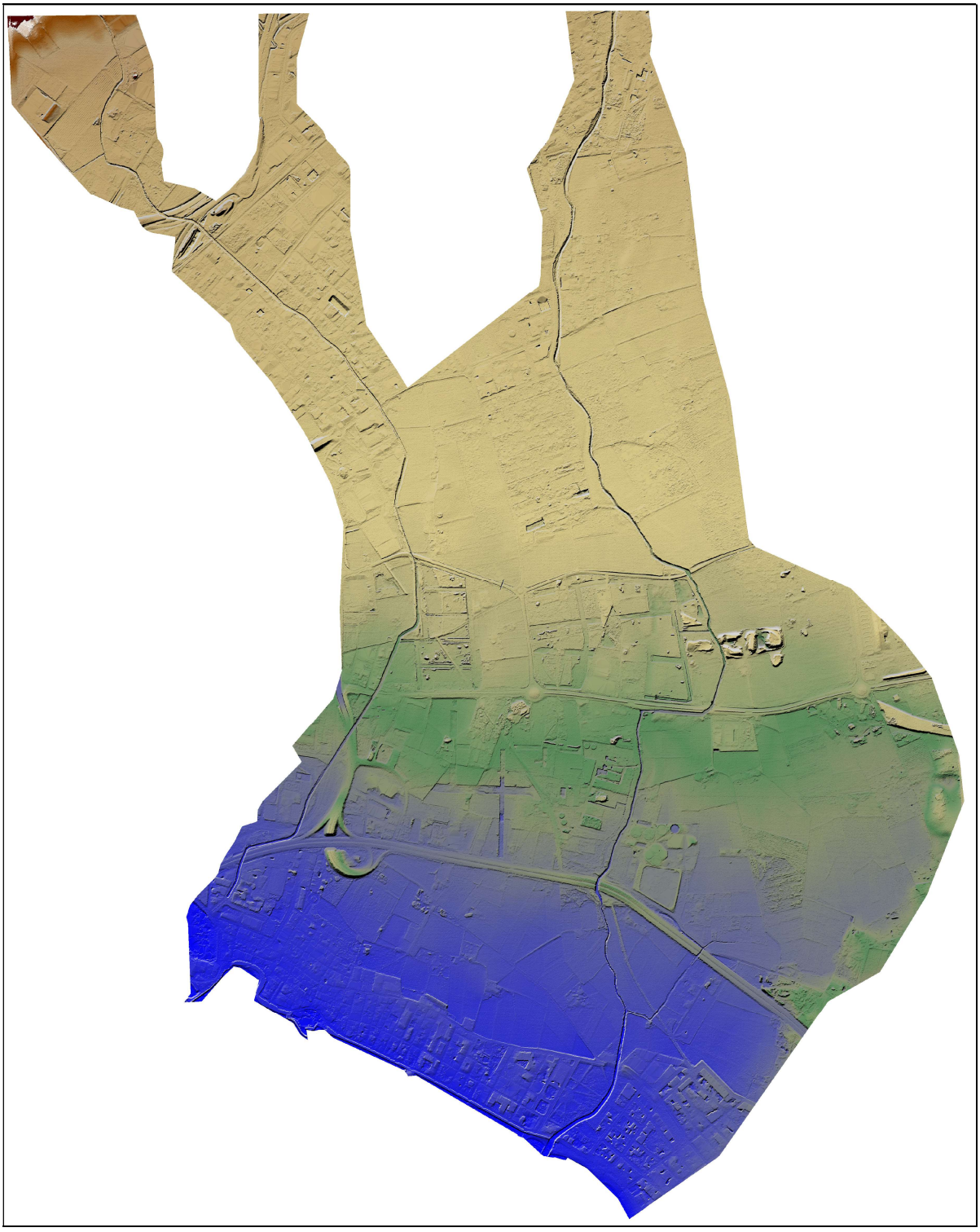


Figura 1: Modelo Digital del Terreno

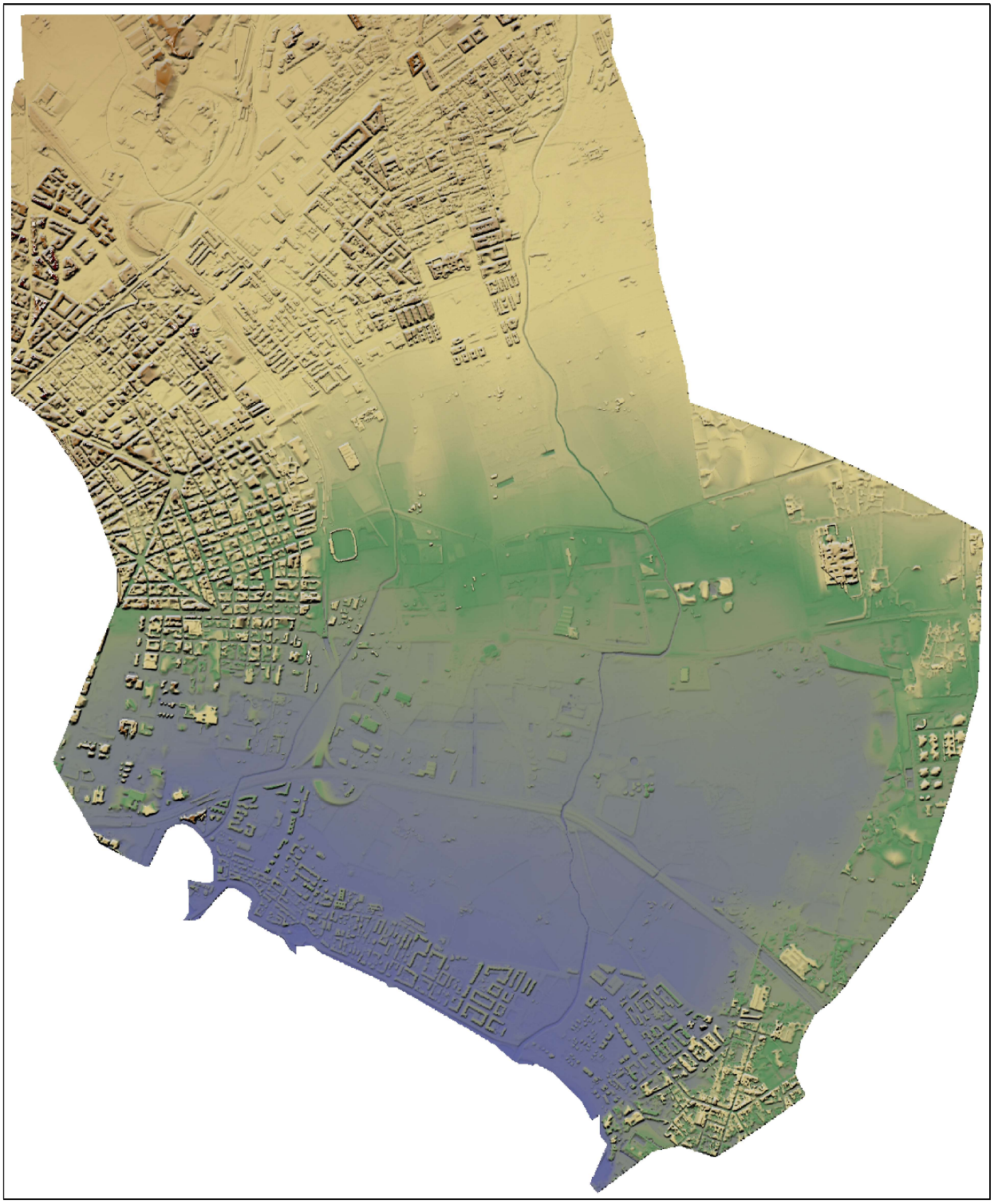


Figura 2: Modelo Digital final utilizado en el modelo bidimensional

4.2. OBTENCIÓN DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS

Para la representación de las zonas inundables obtenidas a partir del cálculo hidráulico se ha utilizado como base ortofotomapas digitales ya existentes de la zona.

Figura 3: Ortofotos utilizadas en la presentación de la inundabilidad

4.3. OBRAS DE FÁBRICA

Se ha realizado un inventario de las obras de fábrica existentes en el tramo, adjuntándose un croquis de cada una con los datos suficientes para su inclusión en el modelo hidráulico.

En el anejo nº 2 –Trabajos topográficos adicionales- se puede consultar dicho inventario.

5. ESTUDIO HIDRÁULICO UNIDIMENSIONAL

El estudio hidráulico ha posibilitado el cálculo de los niveles y velocidades alcanzables por las avenidas correspondientes los caudales e hidrogramas obtenidos a partir del modelo hidrológico.

Estos resultado se han conseguido tras la construcción de un modelo hidráulico unidimensional con el programa HEC RAS, dividido en varios tramos y otro bidimensional de las zonas de confluencia de ambos torrentes en la zona sur

En el siguiente apartado se expone de manera general los fundamentos de cálculo del HEC-RAS.

5.1. METODOLOGÍA

El programa HEC-RAS, de aplicación muy extendida en los últimos años en problemas de ingeniería fluvial, se basa en la resolución de la ecuación de la energía, expresada en términos unidimensionales, con las pérdidas de carga por rozamiento en cauce y márgenes valoradas según la ecuación de Manning. Las hipótesis básicas sobre las que se realiza el cálculo son:

- el flujo es permanente; los valores de las variables no dependen del tiempo, que no interviene en los cálculos.
- 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.
- el flujo se considera unidimensional, considerándose en la distribución horizontal de la velocidad las zonas de cauce y llanura de inundación por ambas márgenes. La altura de la energía es igual para todos los puntos de cada sección.
- la pendiente del cauce ha de ser pequeña (menor de un 10%), debido a que la altura de presión se supone equivalente a la cota del agua medida verticalmente.
- se admite cambio de régimen (de lento a rápido y viceversa) en la modalidad de régimen mixto.
- la pendiente de la energía es constante entre dos secciones transversales.
- el lecho del cauce es fijo.

El procedimiento iterativo es conocido habitualmente como Standard Step Method. Las ecuaciones que resuelve el programa para llegar a determinar la elevación de la lámina de agua son:

$$H_2 + \alpha_2 * \frac{V_2^2}{2g} = H_1 + \alpha_1 * \frac{V_1^2}{2g} + h_e \qquad (1)$$

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

donde:

H1, H2 : alturas de la lámina en cada sección

V1, V2 : velocidades medias en cada sección

α1. α2 : coeficientes de velocidad

he : pérdida de carga en el tramo

L : longitud entre secciones

J : pendiente de la línea de energía

C : coeficiente de expansión o contracción

g : aceleración de la gravedad

5.1.1. DATOS BÁSICOS REQUERIDOS POR EL MODELO

5.1.1.1. Geometría de las secciones

La caracterización geométrica del cauce se define mediante perfiles de la superficie del terreno (secciones) y las distancias entre ellos (longitudes de tramo). Las secciones deben extenderse a lo largo de toda la llanura de inundación adyacente. Deben ser, a su vez, sensiblemente perpendiculares al cauce, paralelas a las estructuras que cortan el cauce. Ocasionalmente es necesario extender la sección por medio de diferentes alineaciones, para cumplir los anteriores requisitos.

Las secciones transversales son necesarias en todos los puntos donde se produzcan cambios representativos de la geometría del cauce: confluencias, cambios de inclinación, de rugosidad o de forma, donde comiencen o terminen los diques o encauzamientos, y en puentes o estructuras de control como azudes.

Cada sección transversal en los archivos del HEC-RAS se identifica por un número (o punto kilométrico en este caso, teniendo como origen del tramo el punto de aguas abajo del mismo) y el tramo del río en el que se encuentra la sección. La sección transversal se describe introduciendo los datos de distancia y cota de izquierda a derecha, mirando respecto a la dirección aguas abajo de la corriente.

A todo punto de la sección transversal se le da un número de estación (coordenada x relativa a esa sección) correspondiente a la distancia horizontal desde un punto inicial a la izquierda. Se pueden emplear hasta 500 puntos para describir cada sección transversal. Las distancias deben

ser introducidas de izquierda a derecha en orden creciente. Sin embargo, más de un punto puede tener el mismo valor de distancia (muros verticales).

Los puntos que definen el cauce principal del río en ambas márgenes se deben especificar en el editor de datos de la sección transversal. Los puntos extremos de la sección transversal que resulten demasiado bajos (por debajo de la cota de la lámina de agua calculada) se prolongarían automáticamente en vertical con una nota de advertencia.

Otros datos necesarios para cada sección transversal son: longitud del tramo comprendido entre la sección en cuestión y la que se encuentra inmediatamente aguas abajo, coeficiente de rugosidad y coeficientes de contracción y expansión.

5.1.1.2. Longitudes de tramo

Las longitudes de tramo entre secciones transversales se han de definir en el editor de datos de la sección transversal para la margen izquierda, la margen derecha y el cauce. La distancia correspondiente al cauce es normalmente la medida a lo largo del lecho del río. En cambio, las distancias en las márgenes se corresponden con la trayectoria teórica seguida por el centro de masas de la porción de la sección mojada en cada margen.

5.1.1.3. Coeficientes de pérdida de energía

Para evaluar la pérdida de energía el programa utiliza varios tipos de coeficientes de pérdidas:

- Valores “n” de Manning para pérdidas de rozamiento
- Coeficientes de contracción y expansión para evaluar las pérdidas de transición
- Coeficientes de puentes y diques, para evaluar las pérdidas debidas al eventual vertido por coronación, a las pilas, condiciones de entrada y salida, etc.

5.1.1.3.1. *Coeficiente “n” de Manning*

La elección de un valor apropiado del coeficiente n de Manning influye de manera significativa en la precisión del cálculo. El valor del coeficiente n de Manning es altamente variable y depende de un buen número de factores, como: rugosidad de la superficie, vegetación, irregularidades del cauce, alineación del cauce, erosión y sedimentación, obstrucciones, tamaño y forma del cauce, sólidos en suspensión, etc.

Hay varias referencias que se pueden consultar que proporcionan valores n de Manning para varios tipos de cauces. Una extensa recopilación de valores de la n de Manning para corrientes y llanuras de inundación puede encontrarse en el libro de Ven te Chow “Hidráulica de cauces abiertos” (1959) y en el de Juan P. Martín Vide., “Ingeniería fluvial”, ambos empleados en este estudio. De una forma genérica se ha utilizado un valor de 0.03 para el cauce y 0.05 para las llanuras de inundación.

5.1.1.3.2. *Coeficientes de contracción y expansión*

La contracción o expansión de la corriente debido a cambios en la sección transversal produce una pérdida de energía que se evalúa mediante la aplicación de coeficientes que deben ser especificados en el editor de datos de la sección transversal. Los coeficientes se aplican entre dos secciones transversales y se introducen como parte de los datos de la sección de aguas arriba. Los coeficientes se multiplican por el valor absoluto de la diferencia de velocidades entre dos secciones transversales, la cual da la pérdida de energía debida a la transición.

Los valores de estos coeficientes de pérdidas localizadas recomendados en el manual del usuario del HEC-RAS son los expuestos en la tabla siguiente:

Tabla 2: Coeficientes de perdida recomendados por el Hec-Ras

	CONTRACCIÓN	EXPANSIÓN
Transiciones graduales	0,1	0,3
Secciones de puentes	0,3	0,5
Transiciones abruptas	0,6	0,8

5.1.1.4. Datos relativos al régimen de flujo

Los datos necesarios para reproducir el régimen permanente consisten en: régimen de flujo, condiciones de contorno, e información sobre la punta de descarga.

5.1.1.4.1. *Régimen de flujo*

El cálculo de los perfiles comienza en una sección transversal, con condiciones iniciales conocidas o supuestas, y avanza hacia aguas arriba en el caso de régimen lento (subcrítico) o hacia aguas abajo en régimen rápido (supercrítico). El régimen de flujo (lento, rápido o régimen de flujo mixto) se especifica en la ventana de usuario de análisis de régimen permanente (steady flow analysis).

Los perfiles calculados por el programa tienen como límite la profundidad crítica: en el caso de régimen lento se trata de un límite inferior, mientras que en régimen rápido se trata de un límite superior. En los casos en los que sea previsible un cambio de régimen en el tramo, el programa debe ser ejecutado en modo de régimen mixto.

5.1.1.4.2. *Condiciones de contorno*

El HEC-RAS requiere la definición de una condición de contorno representada por la cota de lámina en una sección determinada.

Si el cálculo se realiza en régimen lento, la condición de contorno viene dada por el calado en la sección de más aguas abajo, mientras que si el régimen es rápido será el calado de la sección de más aguas arriba el que deba definirse. Si el cálculo pretende hacerse en régimen mixto se deberán fijar los calados en los dos extremos del tramo.

Normalmente el calado se define sin dificultad cuando se da alguna de las circunstancias siguientes:

- calado conocido en alguna sección, impuesto por ejemplo por la existencia de un embalse
- disponibilidad de datos fiables de niveles y caudales en la zona de estudio
- régimen crítico en algún punto

El editor de condiciones de contorno contiene una tabla para cada tramo. Hay 4 tipos de condiciones de contorno disponibles para el usuario:

- *Cota de agua conocida*: para esta condición de contorno el usuario debe introducir directamente la cota de la superficie del agua en el punto seleccionado.
- *Profundidad crítica*: Cuando se selecciona este tipo de condición de contorno, el usuario no necesita introducir ninguna información más. El programa calculará la profundidad crítica y la usa como condición de contorno.
- *Régimen uniforme*: para este tipo de condición de contorno se supone que se produce en el punto seleccionado el calado correspondiente a régimen uniforme. El cálculo se lleva a acabo mediante la fórmula de Manning y el usuario debe definir la pendiente de la línea de energía en el punto. En general, esta pendiente energética podrá asimilarse a la pendiente media de la superficie del agua en las proximidades de la sección transversal.
- *Curva de gasto*: en este caso el usuario debe introducir los datos de la curva calado-caudal en el punto seleccionado.

Siempre que desconozcamos la cota del agua en el punto extremo del tramo en estudio, será necesario realizar una estimación de esa cota o suponer en ese punto se produce régimen permanente o crítico. Esta estimación inicial acarrea un error que se transmite de sección en sección a lo largo del tramo, hasta que la lámina se estabiliza. Si queremos minimizar ese error se debería prolongar el tramo a estudiar, añadiendo secciones en el sentido de aguas abajo si el régimen es lento, o hacia aguas arriba si el régimen es rápido, hasta un punto en el que las oscilaciones de cotas iniciales no afectasen al tramo que pretendemos estudiar.

5.1.1.5. Datos relativos a la modelización de las zonas de inundación

En cada sección transversal se define el cauce habitual, y las llanuras de inundación, que llevaran asociados sus longitudes y rugosidades. Las motas pueden quedar reflejadas y con ellas las vías principales del flujo.

Para aquellas zonas urbanas, los taludes de las infraestructuras y aquellas que se inunden pero que no aporten caudal al flujo, se establecen las llamadas áreas inefectivas.

5.2. CARTOGRAFÍA E INFRAESTRUCTURAS

Los perfiles transversales y la planta del cauce georreferenciados han sido obtenidos del DTM elaborado en el presente estudio e introducidos en el modelo HEC RAS gracias a un programa de preproceso de datos.

Las obras de paso han sido caracterizadas en el inventario que se incluyen en el Anejo nº 2 con datos suficientes para su introducción en el modelo

El programa HEC-RAS ofrece varios procedimientos para el cálculo de flujo a través de puentes. La diferencia entre ellos radica en la manera de computar las pérdidas de carga que se producen en el paso por la estructura. La elección de uno u otro depende del tipo de estructura, existencia de pilas intermedias, funcionamiento hidráulico previsible en avenidas (desagüe en lámina libre, en presión, como vertedero, etc.).

5.2.1. TRATAMIENTO DE LAS OBRAS DE PASO

Los procedimientos de cálculo de puentes empleados en este estudio son: el método de la energía (Standard step) y el de los momentos para caudales bajos (eligiendo automáticamente el que de la máxima energía como respuesta). Para caudales altos el método de presión y vertedero.

En cualquier caso la geometría del puente en cuestión debe ser introducida en el modelo: cotas de tablero, ancho y ubicación de pilas, coeficientes de funcionamiento hidráulico del puente, etc. Para todo ello existen ventanas específicas a las que se puede acceder a través de la interfaz.

La definición correcta del funcionamiento hidráulico de la corriente en las inmediaciones del puente exige la introducción en el modelo de cuatro secciones transversales: dos inmediatamente aguas arriba y abajo de la estructura y otras dos a una cierta distancia a cada lado del puente, en puntos no afectados por la contracción o expansión del flujo, según nos encontremos aguas arriba o aguas abajo, respectivamente.

Para emplear el método de los momentos se requiere introducir un coeficiente para las pilas. Este depende de la forma hidrodinámica. Se ha empleado la tabla ofrecida en el manual del HECRAS 3.1.2. que se presenta en función de la forma. Como media, estos coeficientes son:

Tabla 3: Coeficiente a aplicar en caso de la existencia de pilas

SECCIÓN DE LA PILA	COEFICIENTE
Cuadrada	2.0
Tajamar	1.5
Circular	1.2

5.2.2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

Iterando la ecuación 1 se sigue el procedimiento que a continuación se expone para poder calcular el nivel de la lámina entre dos secciones de cálculo.

El procedimiento de cálculo :

- Se supone una altura de agua en la sección aguas abajo (o aguas arriba si el régimen es rápido).
- Basados en esta altura de lámina, y con el dato del caudal de cálculo, se determina la energía de velocidad en esta sección.
- Con los valores del paso 2, se calcula la pendiente de la línea de energía. y se resuelve la ecuación en he.
- Con los valores de los pasos 2 y 3 se resuelve la primera ecuación para H2.
- Se compara el valor así calculado con el supuesto en el paso 1 y se itera el procedimiento hasta conseguir una diferencia menor que la tolerancia establecida.

Una vez que ha finalizado la iteración se comprueba que el calado encontrado está del lado "favorable" respecto del calado crítico. Pueden especificarse con todo detalle las pérdidas por contracción y por expansión así como las pérdidas en puentes, como más adelante se detalla.

En resumen, el modelo matemático resuelve de forma iterativa la ecuación de la 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 una horizontal o verticalmente, como para calcular el valor medio en cada tramo (media aritmética, geométrica, armónica ...).

A continuación se adjunta unas ventanas con salidas gráfica del programa informático utilizado en el presente Estudio.

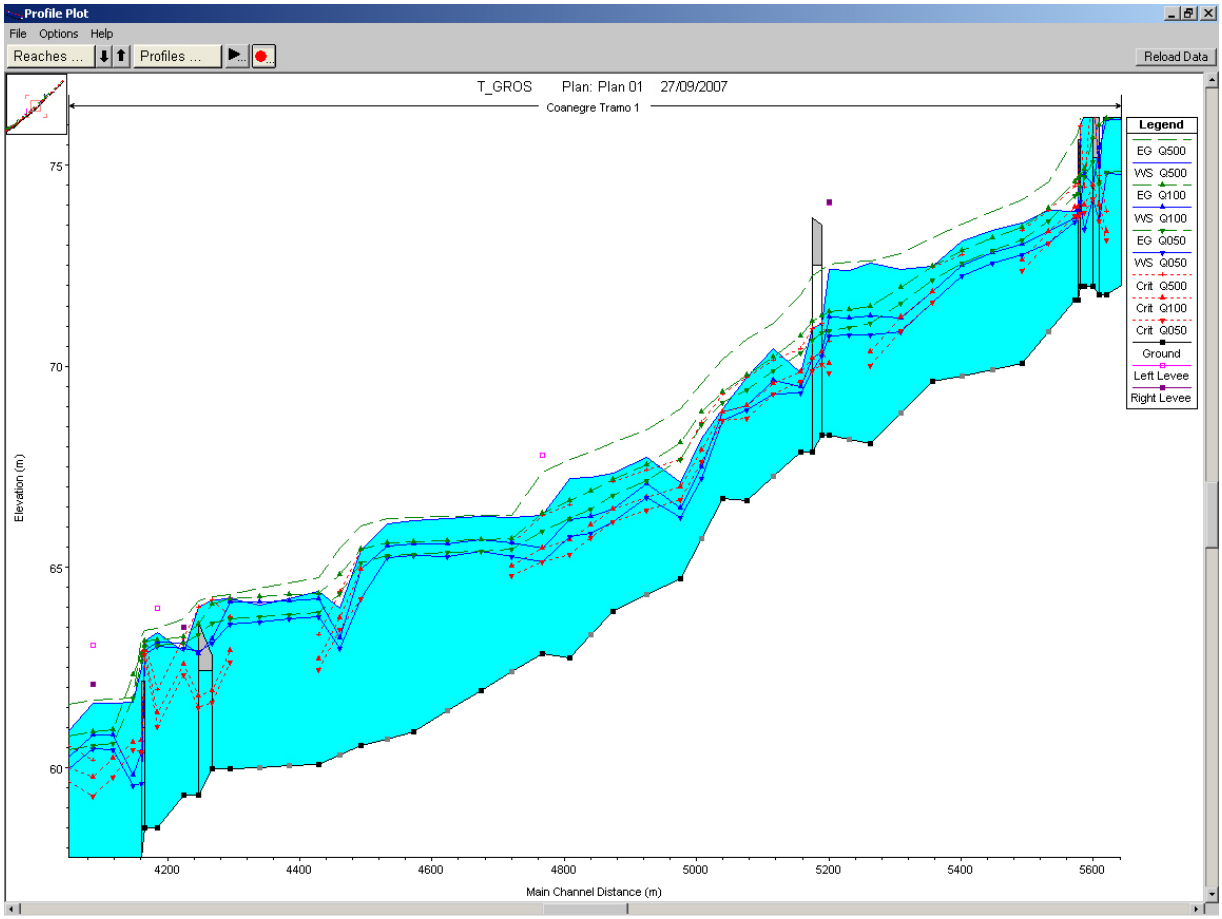


Figura 4: Ejemplo de perfil longitudinal extraído del Hec-Ras

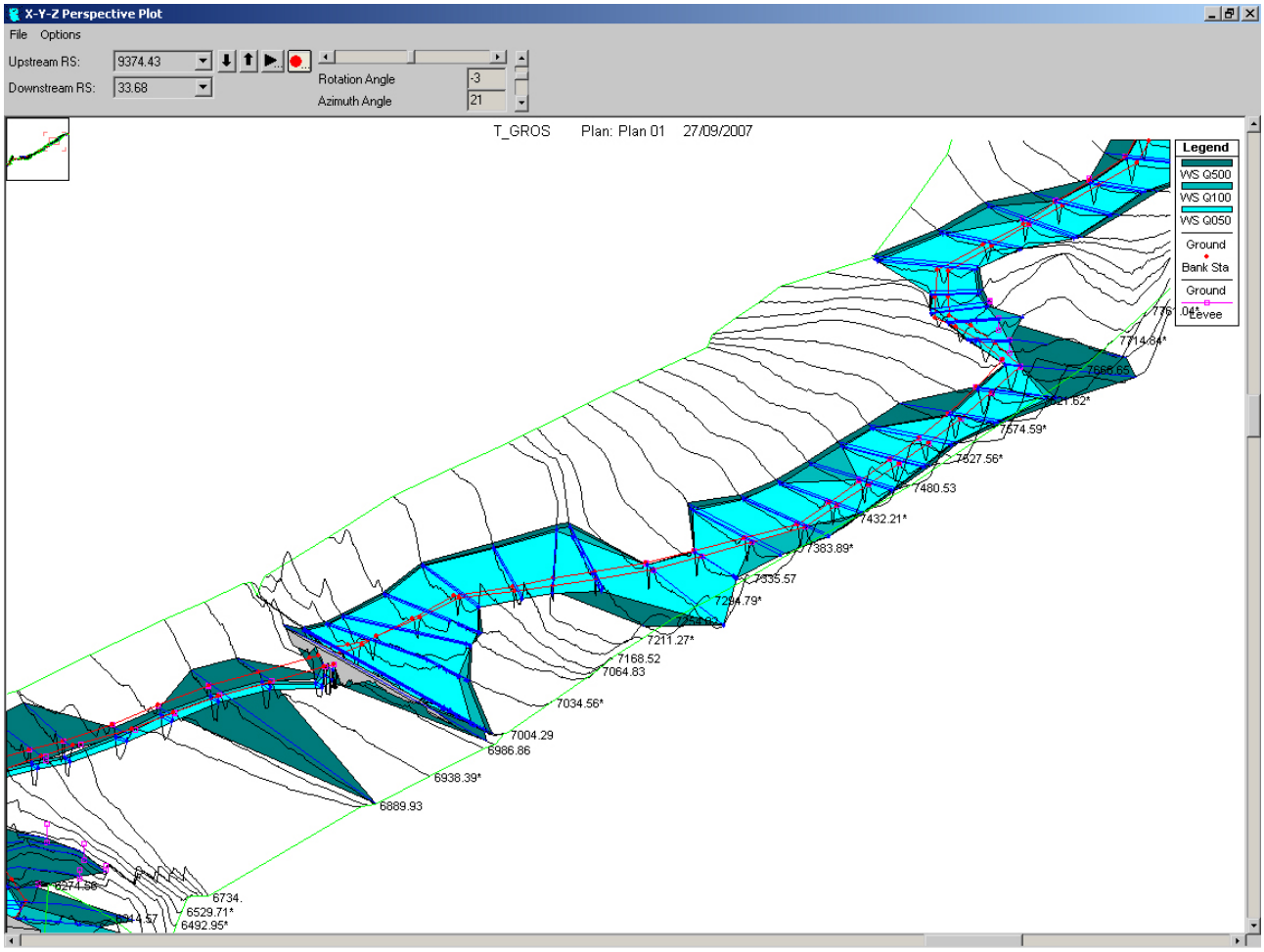


Figura 5: Visualización de la perspectiva del modelo

5.3. MODELOS CONSTRUIDOS

Para realizar una correcta simulación de todos los torrentes ha sido necesario construir los siguientes modelos: (modelos hasta desembocadura)

T_Gros:

- Tramo 1: Desde 1000 metros aguas arriba del cruce del torrente con la carretera de Sóller hasta la confluencia con el Torrent Coanegre.
- Tramo 2: Desde la confluencia con el Coanegre a desembocadura al mar (la mayor parte de este modelo se ha construido para observar el comportamiento de las diferentes estructuras, yaa que la simulaciones representadas en los distintos planos se han construido a partir del modelo bidimensional)

- Coanegre: Desde 1000 metros aguas arriba con el cruce con la carretera PM-204 a la confluencia con el torrente Gros.

T_Bàrbara:

- Tramo 1: Desde 1000 metros aguas arriba del cruce del torrente con la carretera de Valdemossa hasta desembocadura. (la parte final del tramo del carrer gremis de cirurgians i barbers hasta el portinyol se ha construido para simular el comportamiento de las diferentes estructuras que la cruzan ya que las distintas simulaciones representadas en los planos se han construido mediante el modelo bidimensional)

5.3.1. DISTRIBUCIÓN DE PERFILES TRANSVERSALES

Los perfiles transversales se definen perpendiculares al flujo, de margen izquierda a margen derecha y de aguas abajo hacia aguas arriba, representando cada una de las particularidades de los cauces a lo largo de los tramos en estudio. El criterio para la distribución de los perfiles consiste en tratar de reflejar los cambios de forma del cauce a lo largo de todo el tramo, tanto de anchura como de trazado en planta, ubicándose éstos a distancias variables unos de otros.

El inicio y fin de cada uno de estos perfiles transversales lo marca el ancho de banda de la cartografía. La cota de los extremos de los perfiles es superior en cualquier caso a la cota de inundación de la mayor avenida.

5.3.2. MODELIZACIÓN DE PUNTOS SINGULARES: SITUACIÓN ACTUAL

Una vez introducidos todos y cada uno de los datos que definen los perfiles transversales tomados a lo largo del tramo en estudio, se procede a la simulación de aquellos obstáculos que afectarán al flujo en caso de avenida. Estos elementos alteran significativamente la circulación de caudales en los cauces

Se relacionan en este epígrafe los puntos singulares presentes en los tramos de estudio, tales como puentes, azudes, vados, etc.

La siguiente tabla muestra las obras que cruzan los cauces estudiados:

5.3.3. CAUDALES DE AVENIDA ADOPTADOS

Los valores considerados de caudal en m^3/s en cada uno de los tramos modelados, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4: Caudales aplicados en cada tramo

RIO	TRAMO	PUNTO KILOMÉTRICO DEL CAUCE	Q500	Q100	Q050
Coanegre	Tramo 1	9374.43	103	61	46
Torrente Gros	Tramo 1	15377.67	131.3	76.2	57.1
Torrente Gros	Tramo 1	14711.01	253.9	150.9	114.9
Torrente Gros	Tramo 1	6716.65	482.3	289.2	222.1
Torrente Gros	Tramo 2	5627.72	559.7	333.3	255.1

RIO	TRAMO	PUNTO KILOMÉTRICO DEL CAUCE	Q500	Q100	Q050
Torrente Bàrbara	Tramo 1	10269.71	77.6	52.2	42.8
Torrente Bàrbara	Tramo 1	4293.85	88.9	61.9	51.5

5.4. RESULTADOS DEL CÁLCULO

Se han calculado las cotas que alcanzaría la lámina de agua en los cauces analizados para la situación actual.

En apéndice nº 2 del presente Estudio se presentan los resultados obtenidos para las distintas simulaciones realizadas (Listados y secciones transversales) y en la colección de planos se representan las zonas inundables para los distintos modelos.

Para la determinación de las zonas inundables se ha empleado como ayuda un programa de post proceso que transforma los resultados obtenidos en las distintas pasadas de HEC RAS en un modelo digital con la cota de la lámina de agua. A partir de estos GRID de agua se ha representado a escala 1:10.000 la zona inundable estudiando las cotas del terreno y la cota alcanzada por cada sección.

6. ESTUDIO HIDRÁULICO BIDIMENSIONAL

El tramo estudiado con el modelo bidimensional GUAD-2D contempla la simultaneidad de los dos torrentes, comienza aguas abajo del núcleo de Es Pont D'Inca llegando has la desembocadura al mar.. Se han calculado los caudales correspondientes a 50, 100 y 500 años de periodo de retorno. En los puntos siguientes se detallen las entradas necesarias para la construcción del modelo.

6.1. TOPOGRAFIA SIMULADA

Básicamente, la cartografía utilizada procede del vuelo LIDAR realizada para este estudio, acoplándole una serie de zonas laterales necesarias para hacer homogénea la malla de cálculo, en la figura 2 se puede apreciar el modelo digital del terreno utilizado para la simulación.

6.2. CAUDALES A CONSIDERAR

Los caudales considerados han sido los correspondientes a 50, 100 y 500 años de periodo de retorno obtenidos en el "Estudio hidrológico". En el apartado 6.3.2.1 se muestran los hidrogamas de entrada al modelo.

6.3. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

La incorporación de la información anterior al modelo hidráulico bidimensional, de forma que este resulte operativo, es lo que se entiende por construcción del modelo.

El modelo bidimensional seleccionado ha sido el GUAD-2D, como ya se ha comentado. Este modelo incorpora:

- La modelización numérica de flujo variable en dos dimensiones horizontales en la hipótesis de flujo verticalmente homogéneo.
- Adaptabilidad de la malla a la morfología de la zona a simular mediante un modelo numérico.
- Posibilidades de modelizar procesos de secado e inundación en zonas de la malla no predefinidas.
- Cálculo por volúmenes finitos.

El modelo hidráulico se ha construido apoyándose en la versión del GUAD-2D que utiliza malla cuadrangular.

Las fases seguidas en la construcción del modelo son las siguientes:

6.3.1. PARÁMETROS BÁSICOS

La entrada básica del programa es la caracterización del terreno. Esta se realiza mediante el modelo digital de terreno y la fricción.

A partir del grid de paso de celda de 4 m preparado para la simulación, el programa genera 2 archivos de extensiones “SYS” y “SDB” donde guardan toda la información base introducida. Con el terreno como base es necesario crear los archivos de datos de mallado: nodos, conectividades y celdas (con valor de la cota en ella)

La fricción se introduce a través de un grid donde se ha definido previamente las regiones que comparten una rugosidad semejante. En el ámbito de este estudio se han considerado 2 rugosidades distintas, según se muestra en la figura siguiente. En azul claro la correspondiente al cauce principal al que se ha asignado un coeficiente de Manning igual a 0,03. En azul oscuro se muestran las márgenes de inundación caracterizadas mediante un número de Manning igual a 0,05. Para la determinación de ambos valores se ha tomado como referencias los indicados en las siguientes publicaciones: “Hidráulica de cauces abiertos” (1959) de Ven te Chow e “Ingeniería fluvial” de Juan P. Martín Vide.

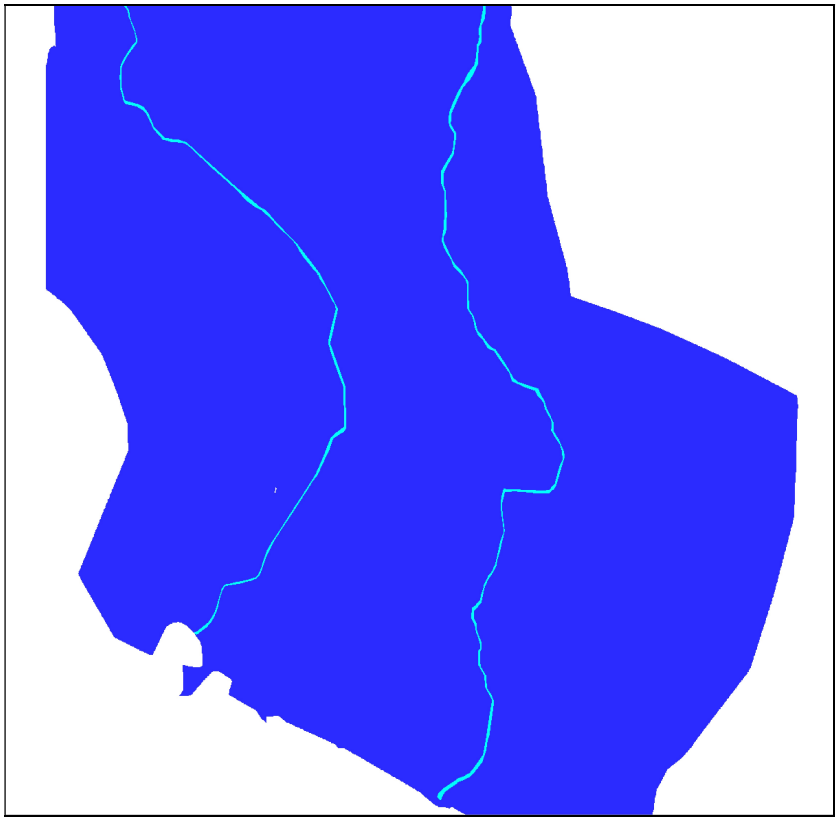


Figura 6: Distribución de rugosidades utilizadas en el modelo

En este punto también se introduce en el programa el calado mínimo para que flujo entre en movimiento. El calado mínimo considerado ha sido igual a 0.05m.

Por último se definen las secciones y los puntos de control de la simulación, donde se registrarán de forma particular los resultados para un seguimiento más eficaz de la evolución del modelo.

6.3.2. PARÁMETROS HIDRODINÁMICOS

Los parámetros hidrodinámicos necesarios para el funcionamiento se agrupan en las condiciones de contorno y las iniciales. El éxito de una simulación depende en gran medida de una correcta elección de ambas condiciones.

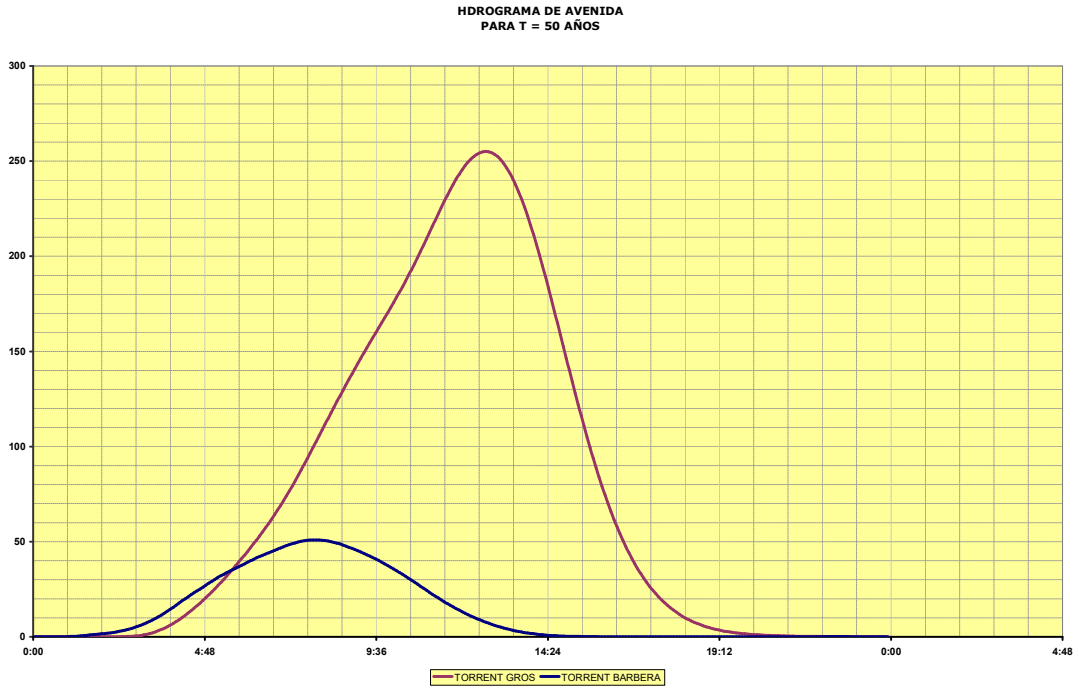
6.3.2.1. Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno utilizadas a lo largo de todo el período de simulación, y para cada una de las celdas definidas como de contorno en los parámetros básicos han sido las siguientes:

- Condición de contorno aguas arriba: Hidrograma de caudales. Se debe definir el caudal y la velocidad con su dirección en cada celda en cada incremento de tiempo.
- Condición de contorno aguas abajo: nivel constante del mar, considerando este a 1,5 msnm.

La condición de contorno aguas arriba del modelo ha sido el hidrograma (Curva Q(t)). El tiempo simulado ha sido igual a 24h (86.400 sg). La dirección de flujo considerada fue vertical (dirección Sur).

El cuadro siguiente incluye las condiciones de contorno introducidas en el modelo para cada hipótesis de cálculo:



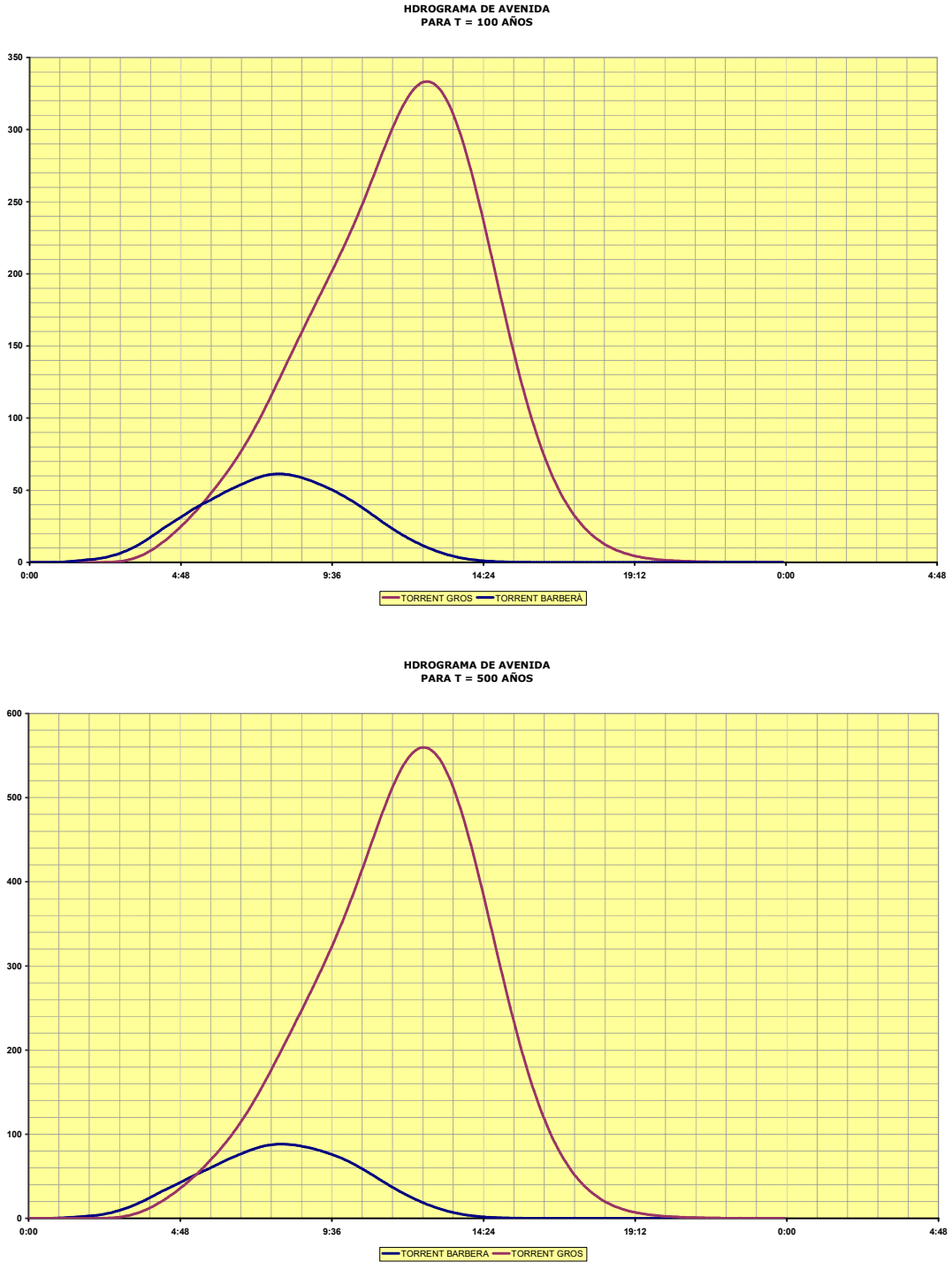


Figura 7: Hidrogramas introducidos en el modelo

Por último, en la zona de desembocadura, se ha considerado un nivel constante del mar de 1,5 msnm para todas las hipótesis de cálculo.

En cualquier modelo hidrodinámico un parámetro esencial para comenzar el cálculo es definir el nivel del agua en todo el ámbito del modelo para el instante inicial. Para la introducción de este dato se puede cargar una zona inundable calculada previamente, de la que se parte para que el

programa pueda iniciar el cálculo, o bien se puede comenzar en seco. En este segundo caso es recomendable considerar un pequeño caudal existente en la entrada.

Esta segunda opción es la que se ha dispuesto en el cálculo de cada hipótesis en este estudio hidráulico.

6.4. CALIBRACIÓN Y SIMULACIÓN

Dada la inexistencia de datos de avenidas históricas en los que hubiera sido posible contratar los datos de caudal con niveles inundados es difícil realizar una calibración adecuada del modelo, por este motivo esta se ha basado en la coherencia de los resultados y en la experiencia previa.

Una vez que se ha validado el modelo se procede a simular el paso de las avenidas correspondientes a los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años.

Como resultado se han obtenido una serie de planos donde se representan las distintas láminas de agua.

Estos planos de zonas inundables denominados se muestran los resultados sobre la base del ortofotomapa a escala 1:10.000 para la simulación correspondiente a la avenida de 50, 100 y 500 años de periodo de retorno. La representación corresponde con la envolvente de las zonas inundables, es decir, máxima inundación alcanzada dentro del ámbito de estudio.

Los resultados obtenidos no se limitan a los calados en cada celda inundada sino que el modelo ofrece también la velocidad que adquiere el flujo. A continuación se muestra una tabla con los calados y velocidades de varios puntos significativos, elegidos por su vulnerabilidad actual (zona urbana). En la figura siguiente, se puede apreciar la ubicación de los puntos de control:

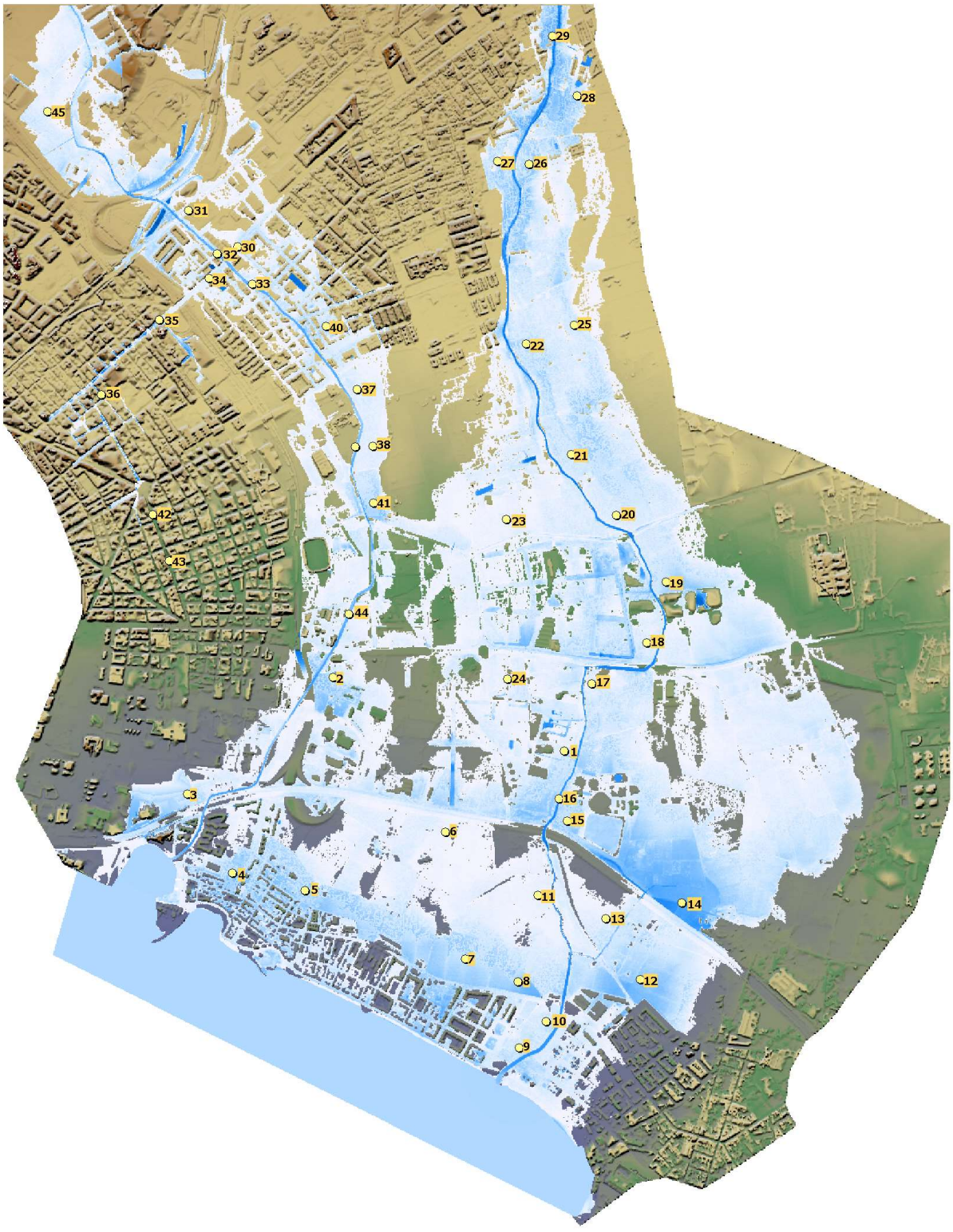


Figura 8: Distribución de puntos de muestreo de calados y velocidad.

Tabla 5: Resultados puntuales del modelo bidimensional

PUNTO	y 50 m	VEL 50 m/s	y 100 m	VEL 100 m/s	y 500 m	VEL 500 m/s
1	0.46	0.29	0.48	0.34	1.09	0.54
2	0.58	0.07	0.62	0.10	0.83	0.15
3	0.73	0.30	0.48	0.33	0.84	0.38
4	0.90	0.39	0.53	0.42	1.32	0.51
5	0.88	0.32	0.81	0.34	1.46	0.35
6	0.08	0.44	0.10	0.50	0.31	0.85
7	0.53	0.24	0.61	0.28	1.49	0.33
8	0.80	0.31	0.88	0.39	1.75	0.45
9	0.50	0.75	0.61	0.87	0.99	1.08
10	0.31	0.66	0.38	0.74	0.98	0.93
11	0.12	0.36	0.13	0.38	0.26	0.54
12	1.00	0.49	1.10	0.57	1.80	0.68
13	0.16	0.17	0.28	0.28	0.64	0.51
14	1.49	0.38	1.57	0.46	2.12	0.61
15	0.90	0.54	0.54	0.44	1.21	0.65
16	2.13	0.68	2.16	0.58	2.73	0.82
17	0.19	0.48	0.34	1.29	1.22	2.37
18	0.25	0.39	0.38	0.53	0.62	0.51
19	0.62	0.40	0.66	0.45	1.28	0.52
20	0.30	0.97	0.36	1.10	0.54	1.38
21	0.41	0.97	0.45	1.09	1.08	1.36
22	0.44	1.41	0.51	1.47	0.98	1.50
23	0.12	0.50	0.13	0.52	0.20	0.66
24	0.03	0.25	0.08	0.33	0.28	0.56
25	0.33	1.26	0.41	1.49	0.90	1.88
26	1.01	1.54	1.13	1.65	1.45	2.05
27	0.37	0.75	0.45	0.78	1.28	1.00
28	0.40	0.41	0.50	0.61	1.37	0.94
29	1.10	1.43	1.33	1.63	2.13	2.08
30	0.50	0.57	0.57	0.59	0.70	0.61
31	0.14	0.00	0.27	0.01	0.34	0.02
32	1.45	0.96	1.49	1.03	2.97	1.21
33	1.38	0.66	1.49	0.66	2.73	0.74
34	0.19	0.29	0.21	0.28	0.40	0.30
35	1.11	0.21	1.16	0.20	1.54	0.17
36	0.97	0.01	0.98	0.01	1.09	0.02
37	0.20	1.06	0.21	1.13	0.50	1.28
38	0.24	0.79	0.28	0.87	0.41	1.05
39	0.74	0.38	0.78	0.39	0.98	0.99
40	0.60	0.33	0.67	0.42	1.03	0.60
41	0.58	0.51	0.61	0.55	1.26	0.58
42			0.00	0.00	1.43	0.34
43			3.03	0.01	3.14	0.03
44	1.35	1.05	1.39	1.08	2.41	1.11
45	0.19	0.89	0.22	0.97	0.46	1.11

En el apéndice nº 2:”Evolución de la Avenida de Periodo de Retorno igual a 500 años”, se aprecia como avanza los distintos frentes de onda y como secuencialmente se van inundando los terrenos de las márgenes y de la zona urbana. Para cada figura se adjunta el momento en la que se registró ese resultado.

La figura que se muestra a continuación muestra el estado del entorno de los torrentes una vez pasada la punta del hidrograma.

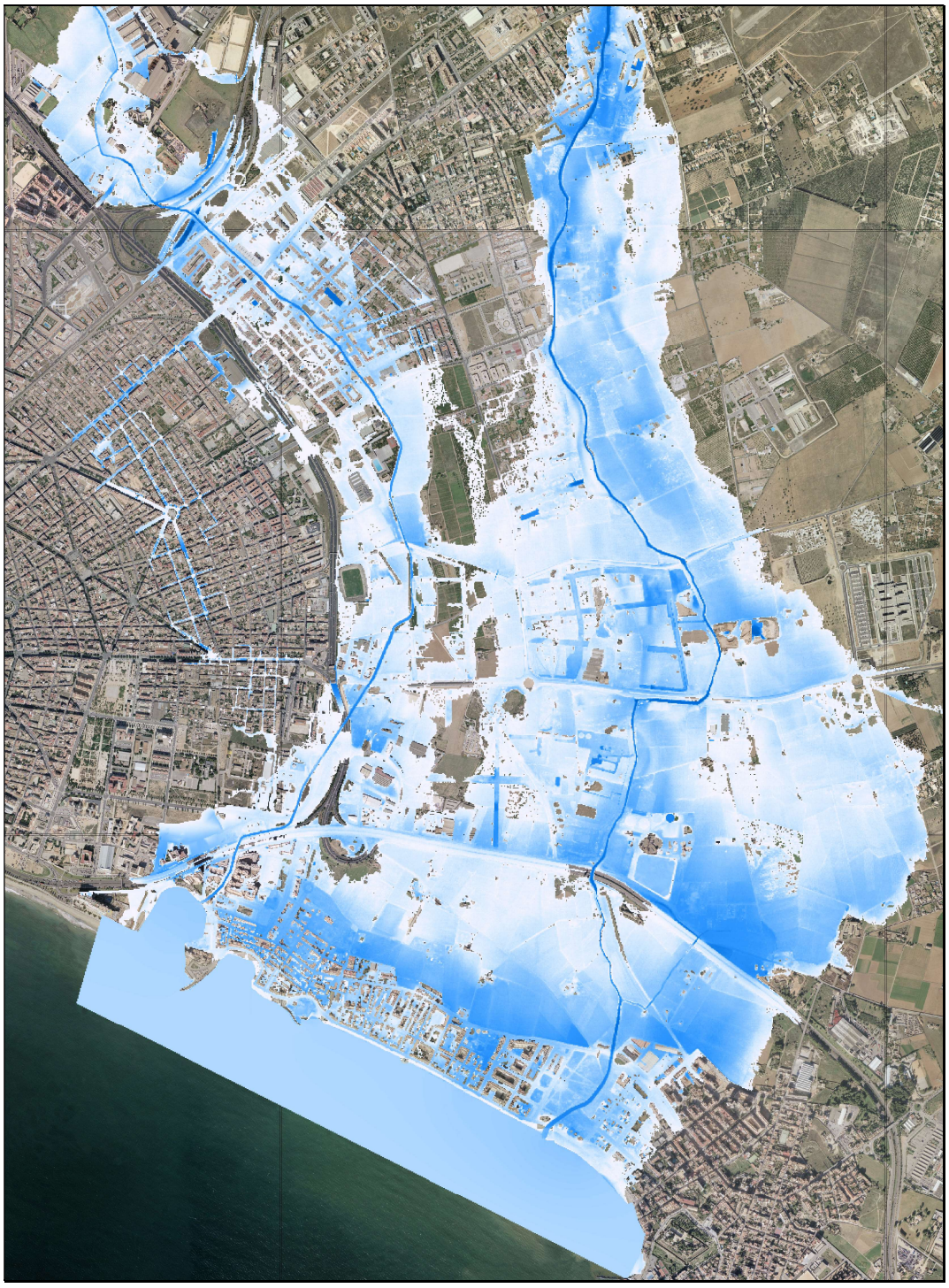


Figura 9: Calados de agua una vez pasada la punta del hidrograma de 500 años de periodo de retorno

7. REPRESENTACIÓN DE LOS NIVELES ALCANZADOS SOBRE ORTOFOTOS

Una vez obtenida la lámina de agua correspondiente las distintas avenidas incluida la ordinaria, se han representado las superficies ocupadas por dichas láminas sobre las ortofotos, a escala 1:10.000. En los planos se han representado las distintas simulaciones realizadas:

- Caudales: 50, 100 y 500 años de periodo de retorno

Se han representado conjuntamente las láminas obtenidas del modelo unidimensional y del bidimensional. Intentando que la divergencia entre ambos resultados sea lo mínima posible, cosa difícil de conseguir ya que el flujo, en todos los escenarios presenta un elevado componente bidimensional.

/

/

APÉNDICE Nº 1

RESULTADOS DEL HECRAS

APÉNDICE Nº 2

EVOLUCIÓN DE LA AVENIDA

DE PERIODO DE RETORNO IGUAL A 500 AÑOS