



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos

Estudio Hidráulico de Afecciones para la redacción de las
Normas de Explotación de la Presa de la Toba (Cuenca)

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

AUTOR/A: Navarro García, Santiago

Tutor/a: Eguívar Galán, Miguel Ángel

Cotutor/a externo: MARCO SEGURA, JUAN BAUTISTA

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos.

**Estudio Hidráulico de Afecciones para la redacción de las
Normas de Explotación de la Presa de La Toba (Cuenca)**

Trabajo de Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

AUTOR/A: Navarro García, Santiago

Tutor/a: Eguíbar Galán, Miguel Ángel

Cotutor/a externo: Marco Segura, Juan Bautista

CURSO ACADÉMICO:2022-2023



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



MEMORIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Trabajo Final de Máster: Estudio Hidráulico de Afecciones para la redacción de las Normas de Explotación de la Presa de La Toba (Cuenca)



ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO.....	7
2.	CONTEXTO NORMATIVO	9
3.	ÁMBITO DE ESTUDIO	10
4.	METODOLOGÍA.....	12
4.1.	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE	12
4.1.1.	<i>CARACTERÍSTICAS DE LA PRESA Y ESTACIONES DE AFORO..</i>	<i>12</i>
4.1.2.	<i>CARTOGRAFÍA: ELEVACIONES.....</i>	<i>13</i>
4.1.3.	<i>CARTOGRAFÍA: CATASTRO.....</i>	<i>14</i>
4.1.4.	<i>USOS DEL SUELO</i>	<i>14</i>
4.2.	CARACTERIZACIÓN DE OBRAS DE FÁBRICA.....	15
4.3.	CARACTERIZACIÓN DE POSIBLES AFECCIONES.....	17
4.4.	ESTUDIO HIDRÁULICO	20
4.4.1.	<i>OBJETIVO.....</i>	<i>20</i>
4.4.2.	<i>CARACTERÍSTICAS DE LA SIMULACIÓN: IBER.....</i>	<i>21</i>
4.4.3.	<i>AFECCIONES Y CLASIFICACIÓN DE ZONAS DE INUNDACIÓN...22</i>	
4.4.4.	<i>CAUDALES CARACTERÍSTICOS.....</i>	<i>25</i>
4.4.5.	<i>RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN</i>	<i>25</i>
5.	MODELO HIDRÁULICO.....	26
5.1.	CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE A ESTUDIAR Y TRAMIFICACIÓN.....	26
5.2.	PARÁMETROS DE ENTRADA AL MODELO.....	28
5.2.1.	<i>CARTOGRAFÍA.....</i>	<i>28</i>
5.2.2.	<i>CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA.....</i>	<i>30</i>
5.2.3.	<i>CONDICIONES INICIALES</i>	<i>31</i>



5.2.4.	RUGOSIDAD.....	32
5.2.5.	RANGOS DE CAUDALES.....	34
5.2.6.	OBRAS DE FÁBRICA.....	36
5.3.	RESULTADOS DEL MODELO HIDRÁULICO.....	37
6.	AFECCIONES.....	38
6.1.	CAUDALES DE AFECCIÓN EN LAS ESTRUCTURAS INVENTARIADAS ...	38
6.2.	CAUDALES DE AFECCIÓN SOBRE LAS OBRAS DE FÁBRICA.....	41
7.	DEFINICIÓN DE CAUDALES CARACTERÍSTICOS.....	45
7.1.	CAUDAL DE ALERTA.....	46
7.1.1.	TRAMO 01.....	46
7.1.2.	TRAMO 02.....	47
7.2.	CAUDAL DE ALARMA.....	50
7.2.1.	TRAMO 01.....	50
7.2.2.	TRAMO 02.....	51
7.3.	CAUDAL DE EMERGENCIA.....	52
7.3.1.	TRAMO 01.....	52
7.3.2.	TRAMO 02.....	54
8.	CONCLUSIONES.....	57



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Presa de La Toba, punto inicial del estudio.....	10
Figura 2. Delimitación del área de estudio.	11
Figura 3. Planta General de las Obras de Fábrica incluidas en el inventario (Apéndice 01). 16	
Figura 4. Planta General de las Potenciales Afecciones incluidas en el inventario (Apéndice 02)	19
Figura 5: Ejemplo de resultado de velocidades para uno de los caudales simulados con el cálculo bidimensional de IBER.....	21
Figura 6: Evaluación de la gravedad de las afecciones en núcleos de población y en viviendas aisladas. Fuente: Guía Técnica para la redacción de Propuestas de Clasificación de Presas.	23
Figura 7. Azud del Molino de la Torre.	26
Figura 8. Tramos 1 y 2 del estudio hidráulico. En amarillo y azul respectivamente.	27
Figura 9. Detalle de los modelos de elevaciones para los cortados del río Júcar en Villalba de la Sierra.	28
Figura 10. Detalle de los modelos de elevaciones donde se muestra un mejor ajuste del MDT 5x5 (rojo) que el MDT 2x2 (verde)	29
Figura 11. Detalle del modelo digital del terreno de la ARPSI de la ciudad de Cuenca	30
Figura 12. Longitud de acomodación para el tramo 2.	31



Figura 13. Visualización del modelo de IBER con las distintas rugosidades asignadas en el tramo 1.	33
Figura 14. Ejemplo de la consulta de los distintos periodos de retorno consultados para la elección de los caudales a simular.....	34
Figura 15. Detalle de la introducción de los Puentes en el modelo de IBER.	36
Figura 16. Detalle de la afección nº31, en Villalba de la Sierra.	46
Figura 17. Detalle de las afecciones nº43 y nº50.	48
Figura 18. Detalle de la afección nº62 durante la avenida del 13/12/2022	49
Figura 19. Comparación del DPH del SNCZI y el caudal de 100 m ³ /s simulado.....	50
Figura 20. Comparación del DPH del SNCZI y el caudal de 150 m ³ /s simulado.....	51
Figura 21. Detalle la afección 28 "Urbanización de los Perales" para el caudal de emergencia.	52
Figura 22. Detalle de la afección nº28 "Urbanización de los Perales" durante la última crecida del río Júcar.....	53
Figura 23. Detalle de la afección nº97 "Urbanización El Zargatón" para el caudal de emergencia.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos técnicos de la Presa de La Toba. Fuente: iagua.	13
Tabla 2. Listado de obras de paso incluidas en el modelo hidráulico.	17
Tabla 3. Condiciones de Entrada y de Salida.....	30



Tabla 4: Caudales simulados con IBER	35
Tabla 5. Características de los modelos hidráulicos.....	37
Tabla 6. Caudales de afección para las estructuras inventariadas del tramo 1.	39
Tabla 7. Caudales de afección para las estructuras inventariadas del tramo 2.	40
Tabla 8. Elevación de la lámina de agua de los puentes de los tramos 1 y 2.	43
Tabla 9. Velocidades en m/s según caudal para los puentes de los tramos 1 y 2.	44
Tabla 10: Afecciones asociadas al Caudal de Emergencia del tramo 1.	54
Tabla 11: Afecciones registradas para el caudal de emergencia del tramo 2.	56
Tabla 12: Resumen de los caudales característicos para los tramos de estudio.....	57



APÉNDICES

APÉNDICE 01 INVENTARIO DE OBRAS DE FÁBRICA

APÉNDICE 02 INVENTARIO DE POTENCIALES AFECCIONES

APÉNDICE 03 AFECCIONES ASOCIADAS A LOS CAUDALES SIMULADOS

APÉNDICE 04 PLANOS DE ZONAS INUNDABLES ASOCIADAS A CAUDALES DE DAÑOS



1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

El presente trabajo final de máster compone el Estudio Hidráulico de Afecciones aguas abajo de la Presa de La Toba. Esta presa se ubica en la cabecera del Río Júcar, en la provincia de Cuenca, Castilla La-Mancha. Este tipo de documento debe ser incluido dentro de las Normas de Explotación de la Presa de La Toba, ya que es necesario el conocimiento del cauce aguas abajo de este tipo de estructuras para llevar a cabo una correcta explotación de esta.

Es objeto de este trabajo es analizar el cauce del río Júcar aguas abajo de la presa de La Toba con el fin de determinar los caudales significativos que puedan producir afecciones aguas abajo de esta, ya sea debido a las sueltas resultado de accionamiento de los órganos de desagüe o al vertido por aliviadero.

De acuerdo con la legislación vigente, la seguridad de la estructura es el objetivo primordial de las actuaciones de este tipo, por lo que es necesario estudiar el efecto que ello supone en la zona de influencia del cauce aguas abajo de la presa. Las zonas inundables asociadas a las Normas de Explotación tienen por objetivo detectar las afecciones y establecer, a continuación, los avisos a los diversos organismos competentes para minimizar los daños en caso de vertido y preservar la seguridad de la presa en situación de avenida o emergencia por avería.

Para delimitar estas zonas inundables y asociarlas a caudales de suelta desde la presa, se lleva a cabo una modelización hidráulica de rangos de caudales que permitan establecer los **caudales de daños**.

Las Zonas inundables asociadas a las Normas de Explotación de Presas pueden ser de varios tipos, en función de una de las tres hipótesis siguientes:

1. Zonas asociadas a los caudales **Q1, Q2 y Q3** definidos aguas abajo de la presa en toda la longitud estudiada o asociados a tramos en los que se ha dividido la longitud total si ésta es demasiado grande como para considerar un tramo único. Se define como Q1 el **caudal de desbordamiento** del cauce, Q2 el **caudal de daños moderados** (aquel que produce daños en elementos territoriales tales como viviendas aisladas, infraestructuras y servicios no esenciales) y Q3 aquel que produce **daños de consideración en núcleos urbanos e infraestructuras**.



2. Zonas asociadas a los caudales de alerta, alarma y emergencia definidos aguas abajo de la presa en toda la longitud estudiada o asociados a tramos en los que se ha dividido la longitud total si ésta es demasiado grande como para considerar un tramo único. Se define como **Caudal de alerta** el caudal a partir del cual se producen afecciones a aprovechamientos o usos dentro del dominio público hidráulico, **Caudal de alarma** el caudal de desbordamiento del dominio público hidráulico y **Caudal de emergencia** aquel que afecta a núcleos urbanos (más de 5 viviendas) y a infraestructuras importantes.
3. Zonas asociadas a un rango de caudales situado entre 0 y el caudal máximo que puede desaguar la presa, con los correspondientes daños asociados a cada caudal. Esta hipótesis se realiza en aquellos casos en que la definición de los caudales Q1, Q2 y Q3 o Caudal de alerta, alarma y emergencia es demasiado compleja.

Es objeto del presente estudio la definición de los **caudales característicos** y la elaboración de planos a escala de las **zonas inundables** en función de los caudales circulantes y afecciones que se producen aguas abajo de la presa de La Toba. En concreto, para este estudio se obtendrán los caudales de alerta, alarma y emergencia.



2. CONTEXTO NORMATIVO

El 13 de abril de 2021 se publica el Real Decreto 264/2021, por el que se aprueban las normas técnicas de seguridad para las presas y sus embalses, en adelante NTSPE. La disposición derogatoria establece la derogación de las siguientes normas: Orden de 31 de marzo de 1967 por la que se aprueba la «Instrucción para el proyecto, construcción y explotación de grandes presas», Orden de 12 de marzo de 1996 por la que se aprueba el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses, todas las normas de igual o inferior rango que contradigan o se opongan a lo dispuesto en este real decreto, y, los apartados 2 y 3 de la disposición transitoria primera del Real Decreto 9/2008, de 11 de enero por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por Real Decreto 849/1986, de 11 de abril.

Las vigente NTSPE especifican en su artículo nº6: *“Los titulares de grandes presas así como los de las pequeñas presas clasificadas en las categorías A y B están obligados a redactar, implantar y garantizar el cumplimiento de las Normas de Explotación de la presa y el embalse de acuerdo con las prescripciones establecidas en la «Norma Técnica de Seguridad para la explotación, revisiones de seguridad y puesta fuera de servicio de presas» y conforme a lo establecido en el artículo 362.2.d) del Reglamento del Dominio Público Hidráulico.”*

Las instrucciones recogidas en la Guía para la elaboración de Normas de Explotación de Presas y Embalses (*Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2013*), alineada con las NTSPE, indican que en la explotación no deben superarse los caudales máximos que previsiblemente podrían circular aguas abajo sin producir daños.

Para ello -indica explícitamente-, se requiere de la definición de las limitaciones a la explotación en avenidas derivadas de la existencia de afecciones agua abajo y momento en que deben no considerarse para evitar riesgos a la presa incluyendo, en su caso, planos a escala conveniente de las zonas inundables en función de los caudales circulantes y afecciones que se producen.

El presente trabajo responde a este requerimiento de la normativa vigente para la presa de La Toba, ajustándose en forma y contenido a los requisitos establecidos bien en las NTSPE y a la Guía para la elaboración de Normas de Explotación de Presas y Embalses.



3. ÁMBITO DE ESTUDIO

La presa de La Toba se ubica en los términos municipales de Cuenca y de Uña, en la provincia de Cuenca, Castilla La-Mancha. Es titularidad de la empresa *Naturgy Generación S.L.*, la cual se encarga de su aprovechamiento hidroeléctrico. La presa se ubica sobre el Río Júcar, en la cuenca alta de este, siendo así la primera presa que este cauce se encuentra desde su nacimiento. Está clasificada como Categoría A en función del riesgo potencial de su rotura.

El dispositivo de cierre del embalse homónimo es una presa de gravedad de 40 metros de altura desde cimientos y de 180 metros de coronación, que dotan a la presa de una capacidad de embalse de 12 hectómetros cúbicos (a NMN). La presa dispone de un desagüe de fondo, de un aliviadero de labio fijo ubicado en la parte central de la coronación y de una toma para el Canal de La Toba, obra que transporta el agua hasta la central hidroeléctrica de Villalba de la Sierra. La capacidad de desagüe conjunta del desagüe de fondo y de la toma del canal es de unos 35m³/s.



Figura 1. Presa de La Toba, punto inicial del estudio.



La delimitación del estudio hidráulico se establece desde la presa de La Toba hasta la estación depuradora de aguas residuales, en adelante EDAR, de la Ciudad de Cuenca, ubicada unos 55 kilómetros de cauce aguas abajo de la presa. Dadas las dimensiones del cauce de estudio se ha tramificado este en dos tramos de longitudes similares, los cuales se detallan más adelante.

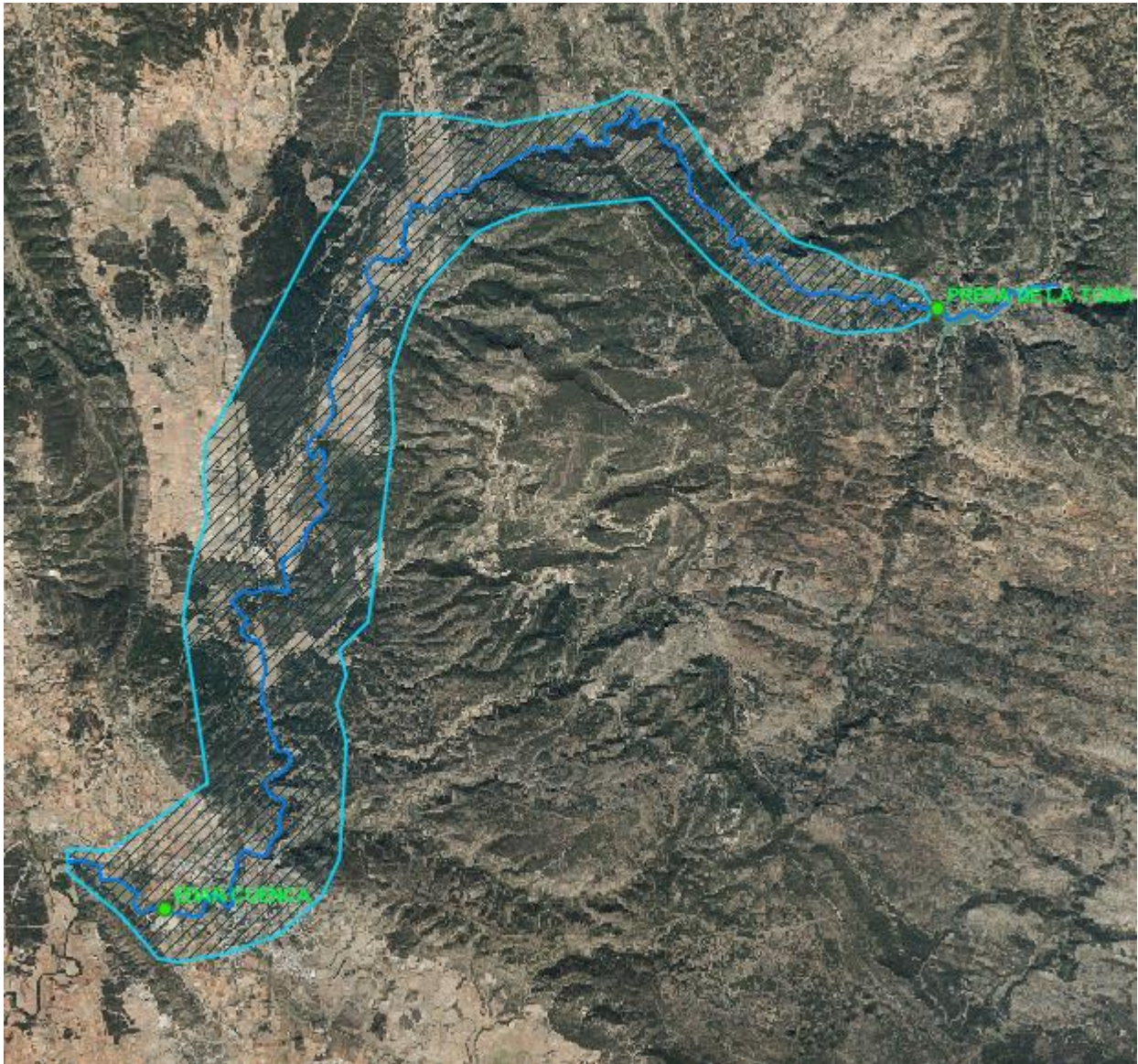


Figura 2. Delimitación del área de estudio.



4. METODOLOGÍA

4.1. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

4.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA PRESA Y ESTACIONES DE AFORO

A falta del acceso a documentos privados de la presa como el documento XYZT, las Normas de Explotación vigentes, el Estudio Hidráulico previo o el Plan de Emergencia, se ha utilizado toda la información pública disponible en páginas web del estado o en documentos históricos para recopilar información sobre la presa. De este modo se ha conseguido información sobre las características de la presa y de las crecidas históricas que han sucedido desde la instalación de las estaciones de aforos de la cuenca.

El aforo que registra la entrada del agua a la presa se denomina “Aforo Venta de Juan Romero”, es la estación foronómica 8126 y registra información desde el año 1967. Se destaca la crecida del año 1971, donde se registró un caudal máximo instantáneo de 224.8 m³/s.

También se ha consultado el aforo ubicado en el centro de la ciudad de Cuenca. Es la estación foronómica 8032 y lleva en servicio desde el año 1911. Ha registrado muchas crecidas históricas de la ciudad, destacando como máxima los 585 m³/s de caudal máximo instantáneo en el año 1966, y como más reciente los 231 m³/s de caudal medio diario del pasado 14 de diciembre de 2022.

Además, se realizó una visita de campo para comprobar el estado y funcionamiento actual de la Presa de La Toba, donde se pudo contrastar con el equipo de explotación información no confidencial, que básicamente perseguía lo siguiente:

- Obtener y/o comentar datos de los vertidos, o de avenidas históricas, que hayan podido causar daños aguas abajo, para orientar y comparar información con los resultados del estudio.
- Conocer las afecciones detectadas en el cauce aguas abajo cuando se han dado eventos de avenida y sobrevertido.
- Conocer el caudal de descarga en el momento de la visita al cauce, así como el del caudal ecológico, para un mejor entendimiento del comportamiento del cauce.



A continuación, se recogen en una tabla los principales datos técnicos de la presa como:

DATOS TÉCNICOS DE LA PRESA DE LA TOBA	
Superficie de la cuenca hidrográfica (km ²)	365
Aportación media anual (hm ³)	169
Precipitación media anual (mm)	349
Caudal punta de avenida de proyecto (m ³ /s)	391
Cota coronación (m)	1156
Altura desde cimientos (m)	40
Longitud de coronación (m)	180
Cota cimentación (m)	1116
Cota del cauce en la presa (m)	1136
Volumen del cuerpo presa (1000m ³)	100
Superficie del embalse a NMN (ha)	158
Capacidad a NMN (hm ³)	12
Cota del NMN (m)	1156
Número total de aliviaderos	1
Regulación de aliviaderos	No, labio fijo
Número total de desagües en la presa	1, dos tubos de fondo
Capacidad de desagüe	35

Tabla 1. Datos técnicos de la Presa de La Toba. Fuente: iagua.

4.1.2. CARTOGRAFÍA: ELEVACIONES

La cartografía utilizada para el desarrollo del proyecto ha sido consultada y descargada del Centro Nacional de Información Geográfica.

En concreto, se ha consultado y descargado la siguiente información:

- LIDAR Primera Cobertura, 2010.
- LIDAR Segunda Cobertura, 2017/2019.
- Modelo Digital del Terreno de 02 metros de tamaño de celda, 2017/2019
- Modelo Digital del Terreno de 05 metros de tamaño de celda, 2009.
- Modelo Digital del Terreno de las Áreas de Alto Riesgo de Inundación fluvial, 2014.



La selección de que cartografía utilizar en cada parte del estudio ha dependido de la actualidad y de la resolución de esta, utilizando el resto de los productos disponibles para verificar y corregir en caso de ser necesario. Más adelante, en el punto correspondiente a la cartografía introducida en el modelo, se detalla que producto se utilizó en cada zona y el motivo de su utilización.

4.1.3. CARTOGRAFÍA: CATASTRO

Se han consultado los municipios por donde discurre el cauce dentro de la zona de estudio desde la Sede de Catastro. Se ha descargado la información cartográfica que delimita las parcelas y las clasifica en función de un uso agrario, industrial o urbano. Con el objeto de identificar el tipo de parcela en el que se producen las afecciones.

En concreto se han descargado capas catastrales de los municipios conqueses de Uña, Villalba de la Sierra, Mariana y Cuenca.

La fecha de actualización de la cartografía consultada es 22/07/2022.

4.1.4. USOS DEL SUELO

La definición de los usos del suelo ha sido obtenida a través del Instituto geográfico Nacional (IGN), los cuales influyen en el estudio debido a la rugosidad (coeficiente de Manning) que se le ha asignado a cada uso del suelo identificado.

Concretamente se han consultado para el análisis de la rugosidad del suelo los siguientes productos:

- Las capas vectoriales del Corine Land Cover (CLC). Se trata del mapa de ocupación del suelo en España correspondiente al proyecto europeo CORINE Land Cover (CLC) con una nomenclatura de 44 clases, versión del año de referencia 2018.
- Las capas vectoriales del Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España (SIOSE). Las más actuales son las capas de Alta resolución, SIOSE-AR, del año 2017, sin embargo, no se encuentran disponibles para todo el territorio
- La ortofoto de máxima actualidad del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea. Con fecha de octubre del 2021



4.2. CARACTERIZACIÓN DE OBRAS DE FÁBRICA

Para un correcto funcionamiento del modelo hidráulico se deben introducir en este todas las infraestructuras construidas en el cauce, o en las inmediaciones de este y que puedan influir en el comportamiento del flujo en el escenario de una crecida.

Por tanto, se deben acotar o caracterizar todas aquellas infraestructuras construidas sobre el lecho o cualquier estrechamiento bien sea natural o artificial, que afecte al flujo del agua, esto es:

- Obras de fábrica existentes.
- Estrechamiento naturales o artificiales.
- Encauzamientos y canalizaciones del cauce.
- Edificaciones próximas al cauce y otros elementos de interés.

(Las obras de fábrica existentes se han acotado de forma que queden totalmente definidas, definiendo su posición geográfica y el ángulo que forman respecto al eje del río).

La caracterización se ha llevado a cabo de la siguiente manera:

- Análisis del cauce y de sus inmediaciones, centrándose principalmente en la zona de policía de cauces y dominio público hidráulico, mediante el uso de la ortofoto de máxima actualidad (PNOA).
- Análisis del Modelo Digital del Terreno y el propio cauce mediante procesamiento GIS, con el fin de detectar anomalías en el cauce natural.
- Se realiza un inventario donde se incluyen todos los puntos con obras detectadas (puentes, azudes, antiguos molinos...) o anomalías detectadas en el cauce. Las obras inventariadas son georreferenciadas e incluidas en una base de datos.
- Se lleva a cabo una visita de campo donde se recorre toda la longitud del cauce estudiado, para verificar todos los puntos del inventario. Los puentes se fotografían y se croquizan, debido a su posterior influencia en el modelo hidráulico, donde son introducidos.



Como resultado se ha obtenido un inventario con 39 obras de paso, de las cuales 7 son azudes, 31 son puentes o conducciones sobre el cauce y una es la estación de aforos de la ciudad de Cuenca.

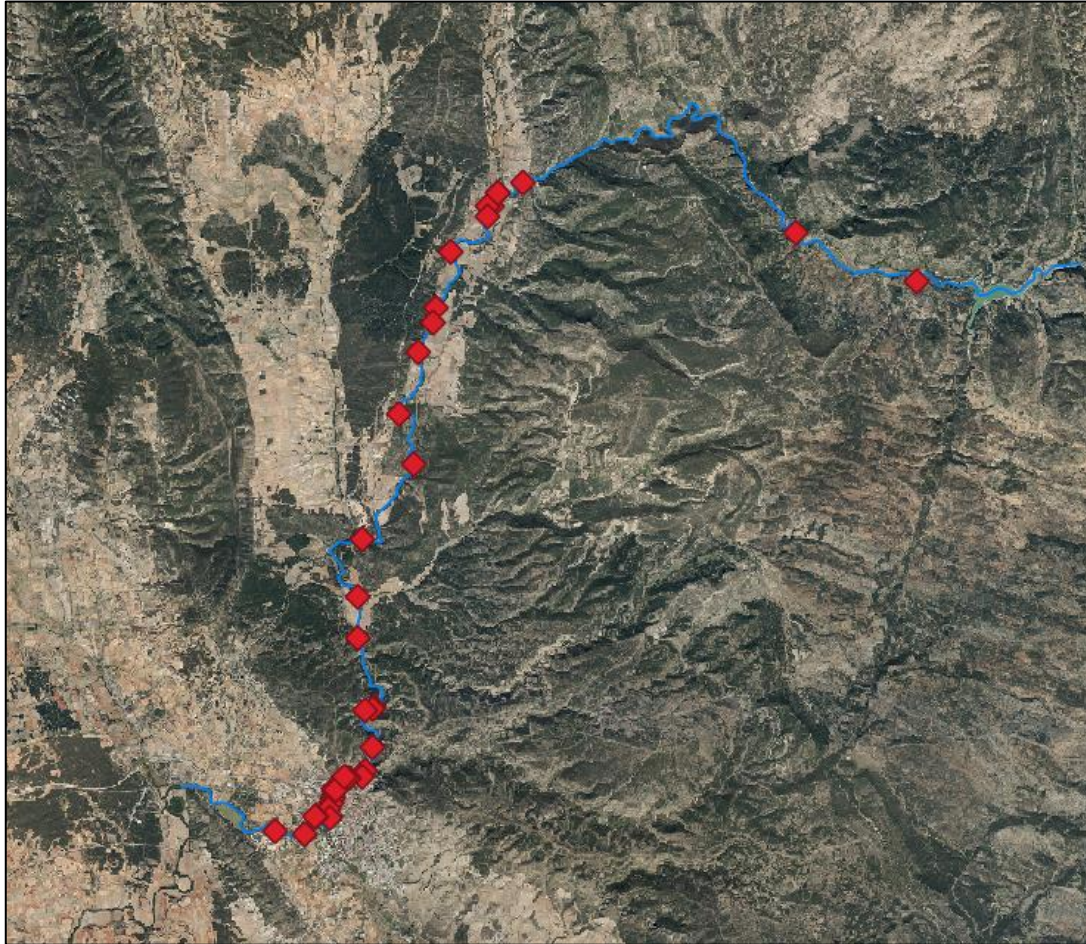


Figura 3. Planta General de las Obras de Fábrica incluidas en el inventario (Apéndice 01)

Los 31 puentes han sido croquizados con ayuda de un metro láser, georreferenciados e introducidos en el modelo hidráulico. Para esto previamente se ha tratado el modelo digital de elevaciones empleado con el objetivo de que los puentes no aparezcan en él, puesto que de aparecer se comportarían como una presa, impidiendo el flujo del agua bajo ellos.

Además, se identificó una zona en la que el cauce se estrecha de manera natural formando unos cortados muy profundos, justo antes de llegar al pueblo de Villalba de la Sierra. Esta zona se tuvo que estudiar en detalle para conseguir un correcto funcionamiento del modelo hidráulico, como se explica en apartados posteriores.



A continuación, se muestra un listado con todos los puentes caracterizados e introducidos en el modelo, ordenados de aguas arriba hacia aguas abajo. Incluidos en el apéndice 1.

ID	NOMBRE	X	Y	Z TABLERO
1	Puente Buenache	590281	4451728	1135.30
2	Puente CM-2105 Uña	586694	4453114	1130.60
3	Puente Salto de Villalba	578549	4454501	978.00
4	Puente CM-2105 Hoya del Serval	577844	4454185	972.00
5	Puente con conducción en Villalba de la Sierra	577828	4454190	970.50
6	Puente Viejo Villalba de la Sierra	577649	4453812	968.60
7	Puente CM-2105 Villalba de la Sierra	577535	4453794	968.00
8	Puente caseta de los pescadores	576462	4452428	961.00
9	Puente Camping la Moraleja	575946	4450318	953.20
10	Puente Vega de Don Sancho	575497	4449460	951.50
11	Puente de Mariana	574943	4447631	948.30
12	Puente Romano del Chantre	573905	4443913	936.40
13	Puente con conducción Camping Caravaning	573790	4442175	928.50
14	Puente Valdecabras	573817	4440956	937.60
15	Puente de Las Grajas	574294	4438926	926.00
16	Puente central hidroeléctrica Las Grajas	574027	4438840	922.10
17	Puente Recreo Peral	574033	4437044	916.80
18	Puente Los Bolos	573983	4436849	914.25
19	Puente San Antón	573567	4436799	921.50
20	Pasarela peatonal paseo fluvial	573453	4436845	908.00
21	Puente del Sargal	573161	4436551	908.15
22	Pasarela peatonal de Cuenca	573152	4436491	927.00
23	Puente isla del Sargal	573172	4436476	907.50
24	Puente A-40	573084	4436194	921.60
25	Puente Ferrocarril Madrid-Cuenca	573048	4436073	915.00
26	Puente C.Alameda del Júcar	572980	4435883	906.00
27	Puente C.Escultor Jamete	573012	4435621	906.15
28	Puente Ronda Oeste-Oeste	572576	4435675	906.50
29	Puente Ronda Oeste-Este	572600	4435651	906.50
30	Puente con conducción al Terminillo	572258	4435162	902.40
31	Puente con conducción a EDAR	571405	4435203	901.40

Tabla 2. Listado de obras de paso incluidas en el modelo hidráulico.

4.3. CARACTERIZACIÓN DE POSIBLES AFECCIONES

Se realiza un inventario y caracterización de todas aquellas construcciones y servicios que puedan resultar potencialmente afectados por encontrarse en zonas inundables. El objetivo de



este inventario es caracterizar aquellas obras más susceptibles de ser afectadas por una avenida, aumentando la calidad de la categorización del territorio que se llevará a cabo basado en los datos del catastro.

Previo a la ejecución del inventario se delimita el Dominio público Hidráulico y la zona de Policía de Cauces, ya que se entiende que en el conjunto de ambas áreas es aquel con más riesgo potencial de forma generalizada.

Actualmente el Dominio Público Hidráulico no se encuentra deslindado en todo el territorio español. En área de estudio se encuentra definido el tramo de río que cruza la ciudad de Cuenca y el municipio de Villalba de la Sierra. En aquellas zonas en las que no se dispone de esta información, se ha consultado en capas catastrales que terrenos o parcelas se consideran terreno fluvial, y estas se han tomado como Dominio Público Hidráulico. Para obtener la zona de Policía de Cauces se trazan líneas paralelas de 100 metros a cada lado del área considerada como cauce (igual al Dominio Público Hidráulico), de acuerdo con la definición de esta.

Delimitadas estas zonas, se lleva a cabo la caracterización de las posibles afecciones de la siguiente manera:

- Se lleva a cabo un análisis del cauce y sus inmediaciones con herramientas GIS, centrándose principalmente en la zona de policía de cauces y dominio público hidráulico, mediante ortofoto de máxima actualidad.
- Se consulta la cartografía de catastro, con una doble finalidad. La primera es verificar los usos de las construcciones inventariadas, y la segunda es ubicar construcciones que pudieran no haberse detectado mediante el análisis de la ortofoto.
- Se incluyen en el inventario todos los puntos con posibles afecciones.
- Se lleva a cabo una visita de campo para verificar todos los puntos del inventario. Se ubican, verifican y fotografían estas potenciales afecciones para completar el inventario.
- Una vez elaborado el modelo hidráulico, se verifican las afecciones de los caudales analizados, y se comprueba el caso de que se produzcan afecciones sobre áreas que no fueron analizadas en el inventario preliminar.



Para el inventario preliminar han sido seleccionadas aquellas infraestructuras incluidas en la zona de policía de cauces con un desnivel inferior a 7 metros respecto el cauce. Tras realización del modelo hidráulico se añadieron afecciones que encontrándose fuera de la zona de policía sufrirían daños para alguno de los caudales simulados. En total el inventario cuenta con 98 potenciales afecciones.

En el análisis de afecciones, se muestran los calados y velocidades en cada uno de estos puntos. La siguiente imagen muestra la distribución en planta de las afecciones incluidas en detalle en el Apéndice 02 al presente documento.

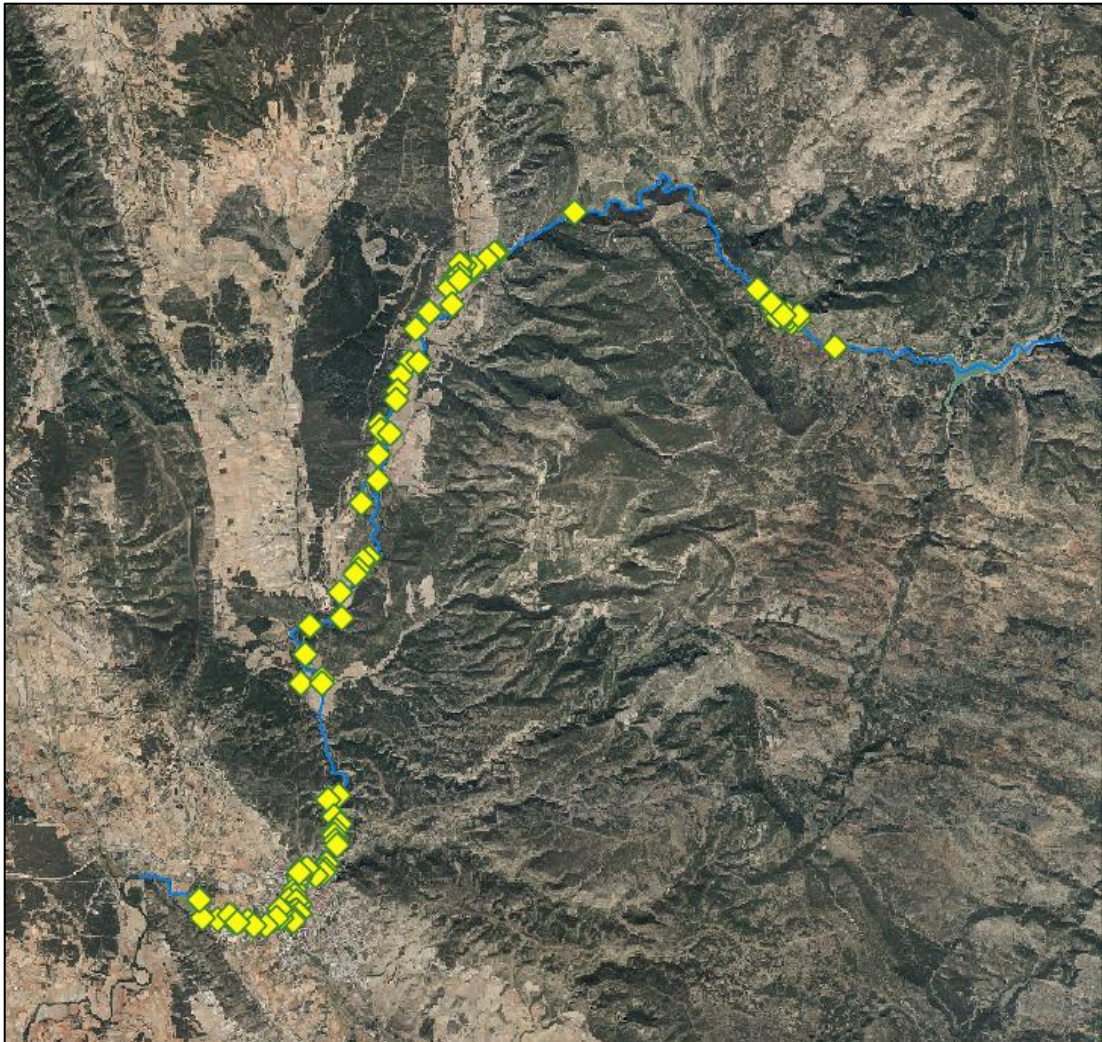


Figura 4. Planta General de las Potenciales Afecciones incluidas en el inventario (Apéndice 02)



El primer tramo del estudio comprende desde la presa de La Toba hasta el Azud de la Torre y este presenta afecciones bastantes dispersas unas de otras, que consisten en varias viviendas aisladas ubicadas principalmente en parcelas de uso agrario, naves de ganado, casetas y molinos abandonados. En este tramo el cauce atraviesa los núcleos poblacionales de Uña y Villalba de la Sierra, pero el centro urbano de ambos se encuentra bastante elevado sobre el cauce y solo se registran como posibles afecciones edificios aislados o casetas cercanas al río. La pedanía o urbanización de los Perales, perteneciente a Villalba, se considera una de las afecciones con mayor riesgo por ser una urbanización con unas 30 viviendas construida en su mayor parte dentro de la zona de policía del cauce.

El segundo tramo de estudio presenta la mayoría de las posibles afecciones en el entorno de la ciudad de Cuenca. El cauce divide la ciudad en dos y hay varios paseos fluviales en ambas márgenes del río, además de numerosas edificaciones con usos varios. Inmediatamente pasada la ciudad de Cuenca también se registran varias urbanizaciones que han sido construidas dentro de la zona de policía, y que a la fecha de la redacción se encuentran sobre parcelas de uso agrario.

En la definición de los caudales característicos se estudian en profundidad aquellas afecciones que pueden presentar un mayor interés.

El Apéndice 02 del presente estudio incluye el inventario de las Potenciales Afecciones.

4.4. ESTUDIO HIDRÁULICO

4.4.1. OBJETIVO

El objeto del estudio hidráulico es el de simular el comportamiento del cauce para diversos caudales, analizando los calados y velocidades que se van produciendo para cada una de las potenciales afecciones identificadas, y de esta manera poder definir lo siguiente:

- I. Determinar los caudales característicos de la presa.
- II. Definir extensión de las zonas inundables asociadas junto con los calados y velocidades para cada uno de estos caudales.
- III. Definir las afecciones asociadas a los caudales característicos, clasificando estas como graves o leves.

4.4.2. CARACTERÍSTICAS DE LA SIMULACIÓN: IBER

Para la realización del estudio hidráulico se ha utilizado la versión 3.1 del software informático **IBER**. Los modelos para el cálculo hidráulico que este programa utiliza son bidimensionales. Los modelos **bidimensionales (2D)** permiten superar muchas limitaciones de los modelos unidimensionales (1D) dado que se obtiene como resultado un valor de cota de agua y de velocidad en cada elemento de la malla, y además la velocidad se obtiene en las dos componentes ortogonales del espacio (x,y). Esto hace que los modelos bidimensionales sean más adecuados que los 1D en aquellos casos en los que no existe un cauce preferencial y donde las llanuras de inundación son más extensas y con pendientes bajas (y por ello con un mayor predominio de las dimensiones horizontales sobre la vertical), más propensas a generar un flujo difuso por todas las direcciones del espacio.

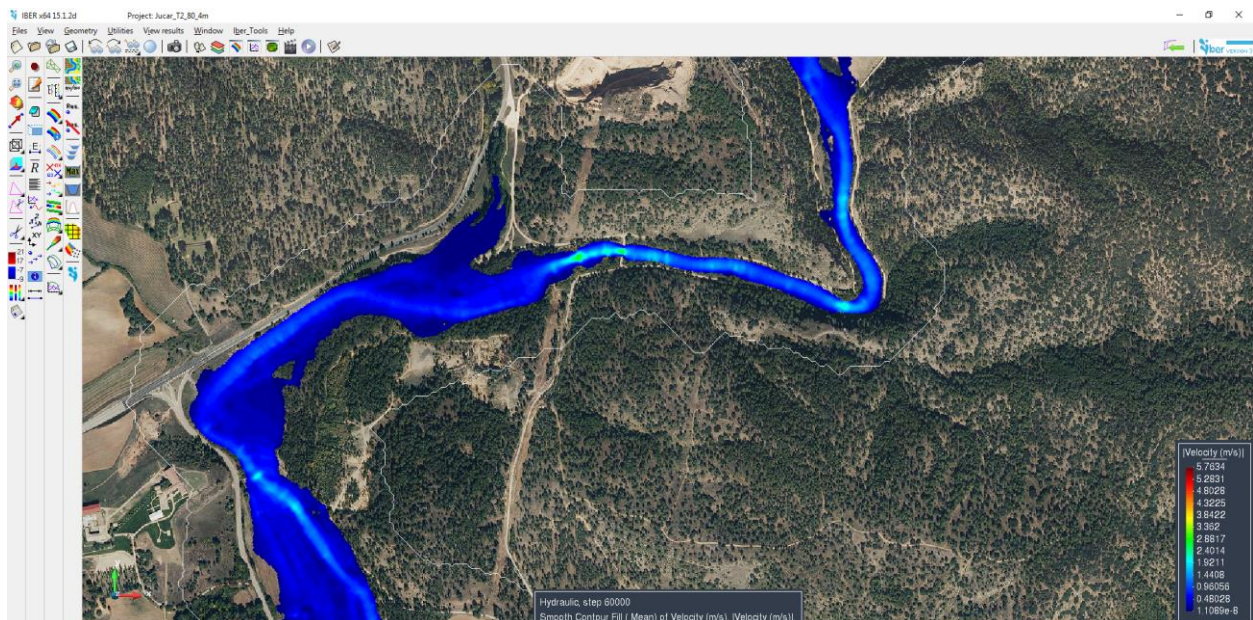


Figura 5: Ejemplo de resultado de velocidades para uno de los caudales simulados con el cálculo bidimensional de IBER.

En los modelos 1D la definición de la geometría está condicionada por el número de secciones consideradas y su trazado, por ello los resultados dependen en buena medida de la interpretación que el usuario hace de la topografía del terreno a la hora de construir el modelo. En un modelo 2D, sin embargo, la geometría se define directamente en 3D a partir de archivos MDT (disponibles en el Instituto Geográfico Nacional), que pueden ser editados a partir de mediciones efectuadas en campo si es necesario, pero la discretización a la hora de realizar el mallado está



menos condicionada por la interpretación de usuario, siendo más realista en la mayoría de los casos.

4.4.3. AFECCIONES Y CLASIFICACIÓN DE ZONAS DE INUNDACIÓN

Sobre los elementos que componen el inventario de Potenciales Afecciones, se determinará, una vez obtenidos los calados y velocidades de los rangos de caudales, la existencia o no de afecciones sobre estos elementos.

Para definir la afección, se emplearán los criterios definidos por la Guía Técnica para la redacción de Propuestas de Clasificación de Presas, redactada por la Dirección General De Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas **en su nueva edición del año 2021**, por los cuales se establece que los daños potenciales se establecerán en función de la combinación del calado y la velocidad de circulación del flujo.

Esta Guía propone un análisis en dos etapas:

- En la primera etapa se analizará si existe afección o no. Se considera un elemento afectado si se produce afección grave sobre el mismo.
- En la segunda etapa se analizarán los elementos en los que se ha determinado que se produce afección, con el fin de catalogarlos.

Estas dos etapas, acorde a la guía y con el fin de clasificar la presa, se reiteran con cuatro tipos de elementos diferenciados:

- Núcleos de población o viviendas aisladas;
- Servicios esenciales;
- Daños materiales;
- Aspectos ambientales, histórico-artísticos o culturales.

El estudio de afecciones para Normas de Explotación se centrará en los núcleos de población, viviendas aisladas y servicios esenciales:

1. Núcleos y viviendas afectadas:

Las siguientes gráficas muestran los umbrales para la clasificación de afecciones graves. Se considerará núcleo de población cuando las edificaciones superen a 10 o el número de habitantes a 50, acorde con la definición del Instituto Nacional de Estadística (INE). Se incluyen en el núcleo aquellas edificaciones que, estando aisladas, distan menos de 200 m de los límites exteriores del conjunto.

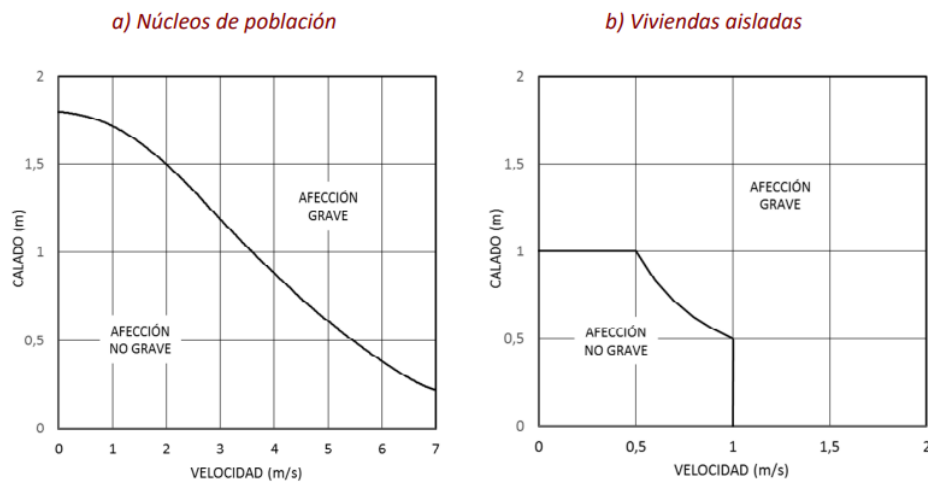


Figura 6: Evaluación de la gravedad de las afecciones en núcleos de población y en viviendas aisladas. Fuente: Guía Técnica para la redacción de Propuestas de Clasificación de Presas.

El umbral representado en la figura para viviendas aisladas se corresponde al indicado en el Art. 9.2 del RDPH, que dice:

Se considerará que pueden producirse graves daños sobre las personas y los bienes cuando las condiciones hidráulicas durante la avenida satisfagan uno o más de los siguientes criterios:

a) que el calado sea superior a 1 m,

b) que la velocidad sea superior a 1 m/s, o

c) que el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m²/s



Este mismo criterio marcará el umbral para servicios esenciales, daños materiales y aspectos ambientales, histórico-artísticos o culturales.

2. Servicios esenciales:

Se entenderán como tales aquéllos que son indispensables para el desarrollo de las actividades humanas y económicas de conjuntos de población mayores de 10.000 habitantes, y siempre que el servicio que brinden no pueda restablecerse de manera inmediata ni prestarse de forma alternativa. Entre los posibles servicios esenciales se incluyen, al menos, los siguientes:

- I. Abastecimiento y saneamiento,
- II. Suministro de energía,
- III. Sistema sanitario,
- IV. Sistemas de comunicaciones,
- V. Infraestructuras de transporte.

3. Daños materiales:

Los daños materiales se evaluarán en función de los siguientes grupos:

- A. Daños a industrias y polígonos industriales.
- B. Daños a propiedades rústicas.
- C. Daños a cultivos.
- D. Daños a infraestructuras.

4. Aspectos medioambientales, histórico-artísticos y culturales

Se entenderán como daños medioambientales o al patrimonio histórico-artístico o cultural, las afecciones “graves” sobre los elementos o territorios que gocen de alguna figura legal de protección a nivel estatal (Red Natura 2000, Parques Nacionales, Bienes de Interés Cultural u otros) o autonómico (Parques Naturales, Parques Regionales u otros).



4.4.4. CAUDALES CARACTERÍSTICOS

En el apartado de introducción se ha realizado una descripción de los posibles rangos de caudales a obtener compatibles con los requerimientos de las Normas Técnicas. Para este estudio, se definirán para cada uno de los tramos los siguientes caudales:

1. **Caudal de alerta:** Caudal a partir del cual se producen afecciones a aprovechamientos o usos dentro del dominio público hidráulico.
2. **Caudal de alarma:** Caudal de desbordamiento del dominio público hidráulico.
3. **Caudal de emergencia:** Caudal que afecta a núcleos urbanos (más de 5 viviendas) o a infraestructuras relevantes.

4.4.5. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Los resultados de la simulación hidráulica se reflejarán en Planos de Zonas Inundables asociados a cada uno de los caudales característicos. Los planos obtenidos muestran los distintos caudales característicos obtenidos en una escala adecuada al tamaño del tramo de estudio. Además, se incluye en el documento el listado de elementos afectados, junto con el calado y velocidad en cada punto.

Estos planos se incluyen en el Apéndice nº4 al presente documento.



5. MODELO HIDRÁULICO

5.1. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE A ESTUDIAR Y TRAMIFICACIÓN

El tramo de cauce estudiado parte de la presa de La Toba y finaliza un par de kilómetros aguas abajo de la EDAR de la ciudad de Cuenca. Esta longitud, aproximadamente de unos 55 kilómetros, obliga a la subdivisión del cauce en dos tramos de estudio. Ya que la creación de un solo modelo con el nivel de detalle de mallado requerido para obtener unos buenos resultados resulta en un tamaño informático demasiado grande para trabajar con los medios disponibles.

Además, a mitad del recorrido del cauce estudiado se encuentra el azud de “El Molino de la Torre”, que supone una interrupción a tener en cuenta en la simulación hidráulica. Y apenas un kilómetro aguas abajo de este se halla la confluencia del río Júcar con el río Mariana, afluente que aporta una cantidad considerable de agua y por tanto justifica también hidrológicamente la tramificación del estudio en dos.

Tramo 1: Desde la Presa de La Toba hasta el azud del Molino de la Torre: El azud o la presa de la Torre supone una interrupción en el cauce natural del río Júcar mediante una presa de gravedad de planta prácticamente recta de 50 metros de longitud, 5 metros de alto y de labio grueso de unos 5 metros de ancho en total. La obra deriva agua mediante un canal a la central hidroeléctrica de la Torre, que a pesar de encontrarse bastante deteriorada, a fecha de la redacción sigue en funcionamiento.



Figura 7. Azud del Molino de la Torre.



Por tanto, el tramo 1 tiene una longitud de 31,5 kilómetros. Parte de la presa La Toba, discurre por los municipios de Uña, Villalba de la Sierra y Mariana, y finaliza en el azud del Molino de la Torre.

Tramo 2: Desde el Azud del Molino de la Torre hasta el la EDAR de Cuenca: Este segundo tramo cuenta con longitud de unos 23,5 kilómetros. El cauce atraviesa los términos municipales de Mariana y de Cuenca, destacando su paso por el centro de esta última ciudad. Si bien el alcance inicial finalizaba en la EDAR de Cuenca, se identificaron varias urbanizaciones inmediatamente aguas abajo de la EDAR, por lo que se prolongó ligeramente el alcance del trabajo.

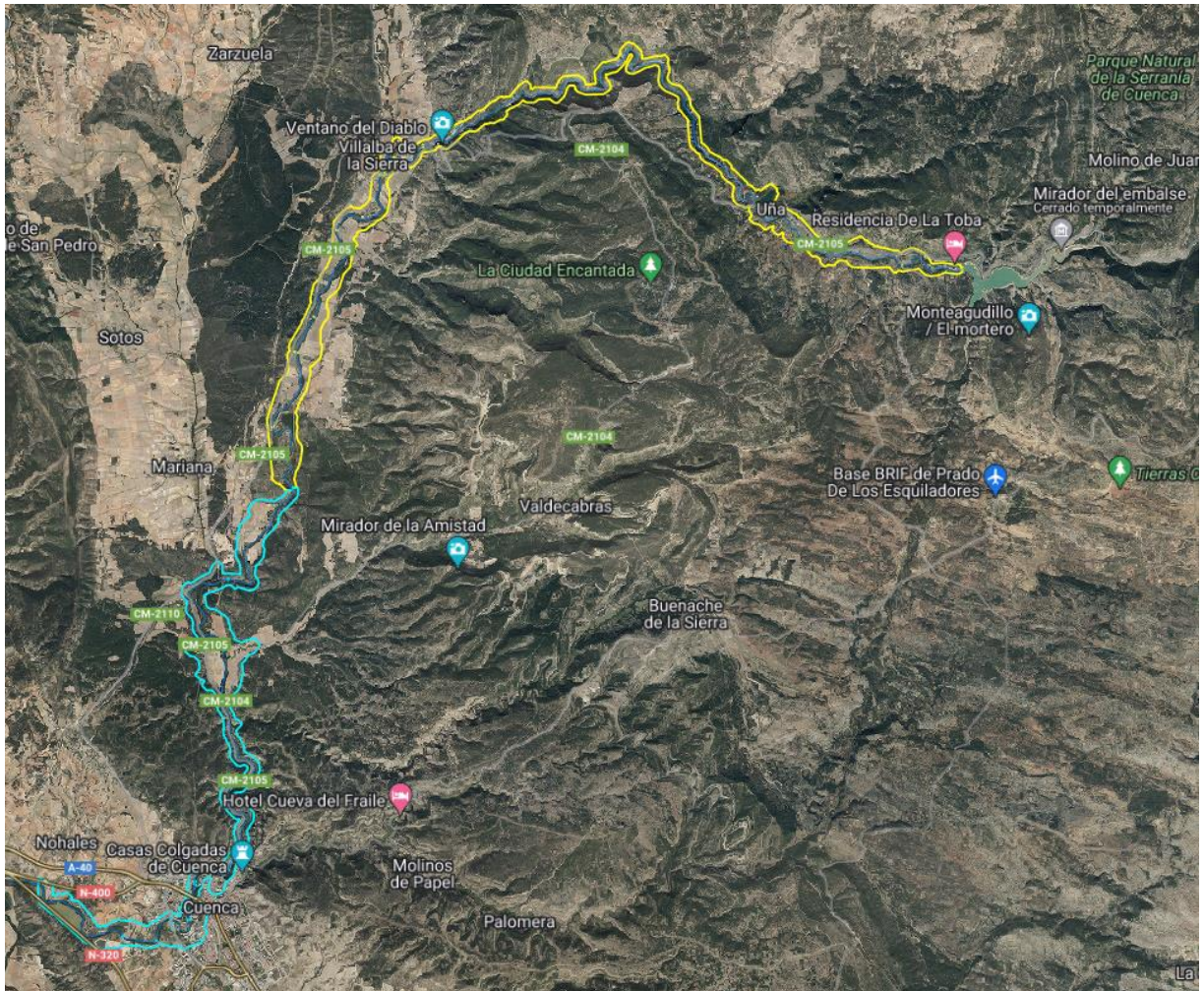


Figura 8. Tramos 1 y 2 del estudio hidráulico. En amarillo y azul respectivamente.



5.2. PARÁMETROS DE ENTRADA AL MODELO

5.2.1. CARTOGRAFÍA

Como se ha mencionado en el apartado de metodología, en IBER se importan Modelos Digitales del Terreno (MDT) para conseguir un comportamiento bidimensional del flujo. Para la simulación hidráulica se han empleado varios modelos digitales del terreno, en función de la zona del cauce y de la cartografía disponible:

Modelo digital del Terreno de 2x2 metros: En los primeros modelos se empleó en la totalidad del estudio, no obstante, se identificaron zonas donde el procesado del modelo digital del terreno no se había realizado correctamente y no representaba correctamente la realidad, puesto que determinaba que la cota del cauce se encontraba por encima que la de las márgenes. Por tanto, este MDT se utilizó solamente en zonas donde el MDT de 5x5 no tenía una precisión suficiente. Estas zonas se corresponden con el área natural de los cortados de Villalba, donde el río Júcar forma unos cañones hasta 30 metros de profundidad y un par de metros de ancho y por tanto el MDT 5x5 no es capaz de representar bien el terreno, a diferencia del de 2x2. En la siguiente imagen se muestra un perfil longitudinal de los dos modelos de elevaciones comentados, en rojo se observa como el modelo de 5x5 metros no capta los cañones que forma el río Júcar, a diferencia del modelo de 2x2, en color verde.



Figura 9. Detalle de los modelos de elevaciones para los cortados del río Júcar en Villalba de la Sierra.

Modelo Digital del Terreno de 5x5 metros: Se ha empleado en la mayoría del estudio por presentar una mejor representación del cauce que el MDT de 2x2, a pesar de ser este más antiguo. No obstante, la precisión que ofrece es más que suficiente ya que el río presenta en la mayoría del recorrido una anchura de unos 10 metros, exceptuando el caso mencionado anteriormente.

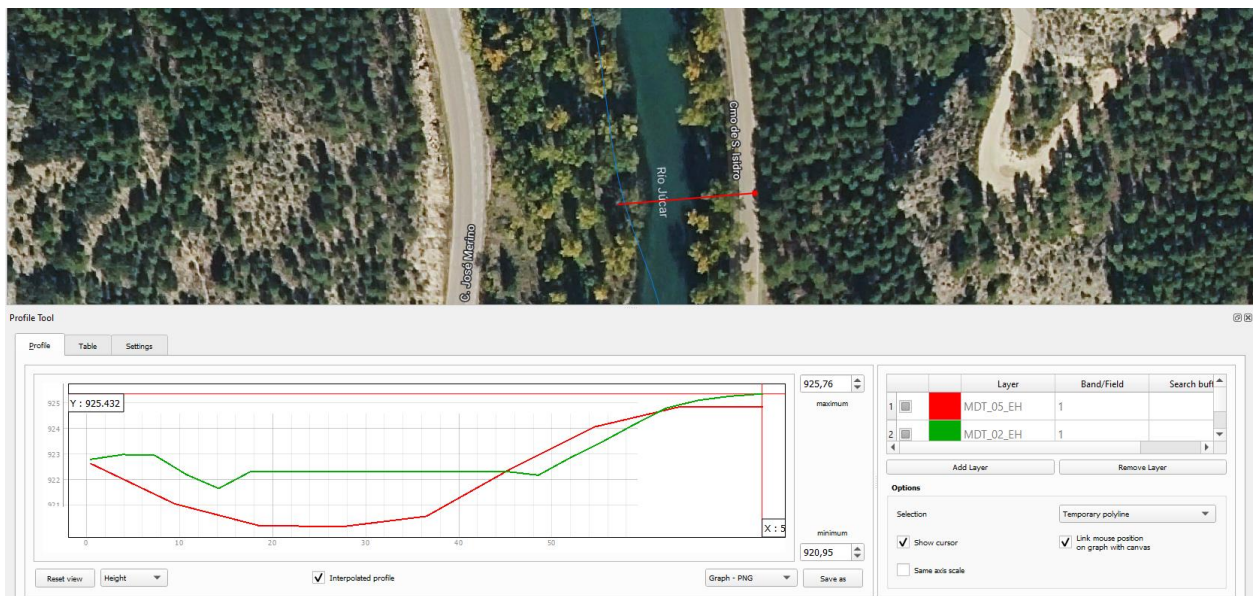


Figura 10. Detalle de los modelos de elevaciones donde se muestra un mejor ajuste del MDT 5x5 (rojo) que el MDT 2x2 (verde)

Modelo Digital del Terreno 2x2 de las Áreas de Alto Riesgo de Inundación Fluvial: Dado que la ciudad de Cuenca es considerada un Área de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI), se encuentra disponible en Instituto Geográfico Nacional (IGN) un modelo digital del terreno con precisión de 2x2 metros desarrollado especialmente para realizar modelos de inundación de la ciudad. Por tanto, este MDT se ha utilizado con prioridad sobre los otros dos disponibles, aunque solo abarca una pequeña, pero importante, área del estudio.

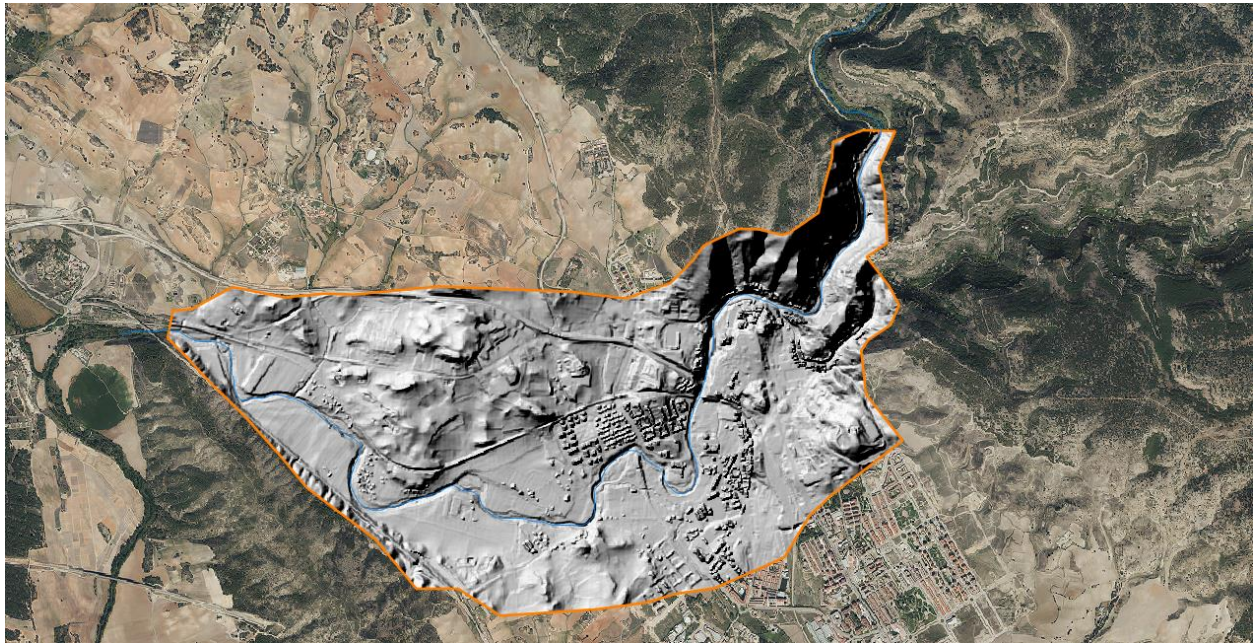


Figura 11. Detalle del modelo digital del terreno de la ARPSI de la ciudad de Cuenca

5.2.2. CONDICIONES DE ENTRADA Y SALIDA

A la hora de introducir los caudales en el modelo, se debe indicar una condición de entrada y de salida del flujo, para cada uno de los caudales las condiciones han sido las siguientes:

TRAMO	ENTRADA	SALIDA
TRAMO 1	CAUDAL CONSTANTE	CALADO CRÍTICO
TRAMO 2	CAUDAL CONSTANTE	CALADO CRÍTICO

Tabla 3. Condiciones de Entrada y de Salida

Antes de alcanzar el calado crítico en la parte final del cauce, la lámina de agua forma una curva de remanso que hace que el calado varíe hasta alcanzar el calado crítico en el punto final del modelo. Para no captar esta variación y representar correctamente los calados en la parte final del estudio, se alarga el tramo de estudio una longitud determinada para que, en la última afección inventariada, no se haya iniciado todavía la curva de remanso.



Esta longitud se denomina longitud de acomodación, y se ha calculado acorde a las recomendaciones de la *Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables*.

El tramo 2 presenta una pendiente media de 0.16%, por tanto, se ha dejado una longitud de acomodación de 2,2 kilómetros. Esta distancia ha sido añadida al modelo a partir de la última afección inventariada, que se corresponde con la afección nº98, "Urbanización paraje del Royo".

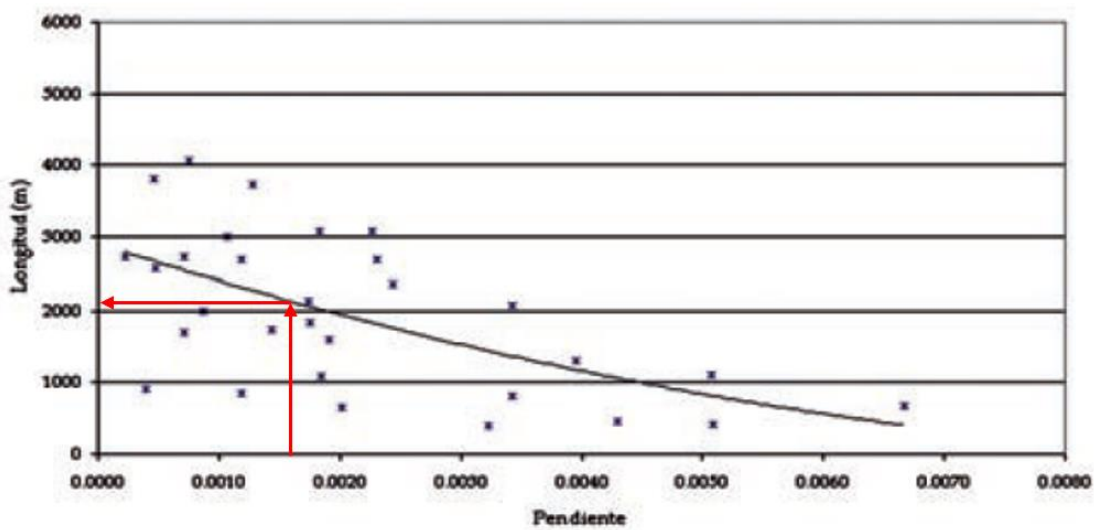


Figura 12. Longitud de acomodación para el tramo 2.

Cabe destacar que para el tramo 1 no se calcula una longitud de acomodación porque la existencia del Azud de la Torre supone un cambio de régimen de lento a rápido, por lo que la condición de contorno de calado crítico en la salida del tramo 1 se considera una buena representación de la realidad.

5.2.3. CONDICIONES INICIALES

El modelo parte del estado seco, el tiempo de cálculo se ajusta para que el caudal pueda estabilizarse, es decir, que el caudal saliente sea igual al entrante. Una vez el caudal esta estabilizado se pueden exportar como resultado las envolventes de calados y velocidades.



5.2.4. RUGOSIDAD

En el presente apartado se justifican los valores n de Manning utilizados para representar la rugosidad del cauce y de la llanura de inundación:

Rugosidad en la llanura de inundación

La rugosidad se ha calculado a partir de los usos del suelo Corine Land Cover (CLC), del año 2018. La selección de esta fuente frente a SIOSE se debe a que es la de mayor actualidad disponible en la zona. CLC clasifica el terreno según 4 tipologías:

- Zonas artificiales
- Zonas agrícolas
- Bosques y áreas seminaturales
- Zonas húmedas y superficies de agua

Además, la *Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables* recomienda su empleo, previa verificación mediante ortofoto de máxima actualidad. En los casos en que se han presentado discrepancias con la ortofoto, estos polígonos han sido modificados manualmente. Una vez confirmados, siguiendo la Guía del SNCZI se asignan los siguientes valores de n de Manning:

- *Zonas Urbanas:* $n = 0.1$
- *Zonas Agrícolas:* $n = 0.04$
- *Zonas Boscosas:* $n = 0.07$
- *Humedales:* $n = 0.025$

Rugosidad en el cauce

Los valores de los coeficientes de fricción en el cauce vienen dados por la resistencia al flujo ejercida por los sedimentos que conforman el lecho y las márgenes del río y por la vegetación.



Puesto que no se dispone de una caracterización del lecho del cauce adecuada para emplear un método más preciso, se recurre a la bibliografía existente de cauces calibrados, *Verification of Roughness Coefficients for Selected Natural and Constructed Stream Channels in Arizona, USGS 1998*, para una estimación del coeficiente de Manning del cauce.

Desde el punto de vista geológico, la cerrada y el vaso se localizan en el dominio del Sistema Ibérico, en el corazón de la Serranía de Cuenca. Afloran terrenos calizos con conglomerados, areniscas y lutitas, bajo el dominio de cadenas alpinas de la era del Mesozoico. Esta geología se repite aguas abajo de la presa hasta que el cauce atraviesa la zona montañosa de los cortados de Villalba de la Sierra. A partir de este punto el cauce discurre por dominios del Cuaternario y cuencas cenozoicas continentales, donde afloran conglomerados, areniscas, lutitas, calizas y yesos. Acorde a la USGS, la rugosidad del cauce podría ubicarse entre 0,035 y 0,06. Dentro de este rango, debido al alto grado de vegetación que se encuentra en el cauce, se ha seleccionado un Manning para el cauce del río Júcar de 0.045.

En la siguiente imagen se muestra el modelo de IBER del tramo 1 con los diferentes valores de Manning asignados:

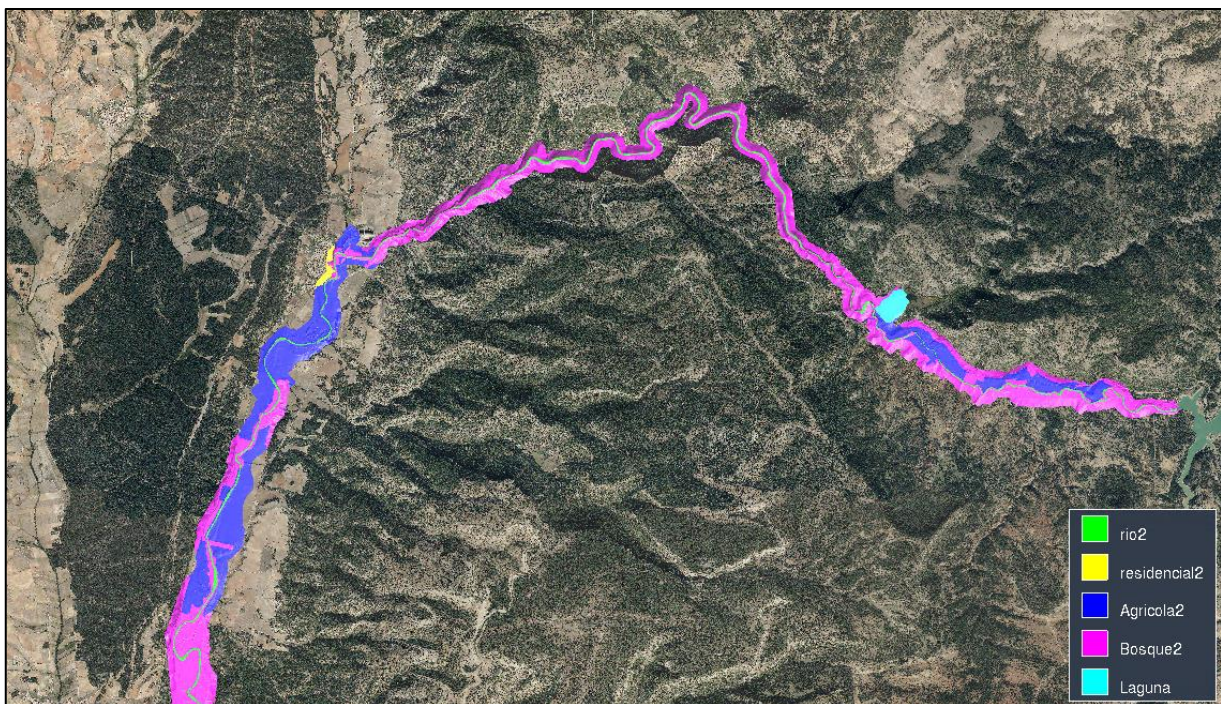


Figura 13. Visualización del modelo de IBER con las distintas rugosidades asignadas en el tramo 1.



5.2.5. RANGOS DE CAUDALES

Los caudales con los que se han realizado las simulaciones han sido seleccionados a partir de distintos puntos de retorno obtenidos en los puntos iniciales y finales del estudio. Estos periodos de retorno se han obtenido a través del software libre CAUMAX, desarrollado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

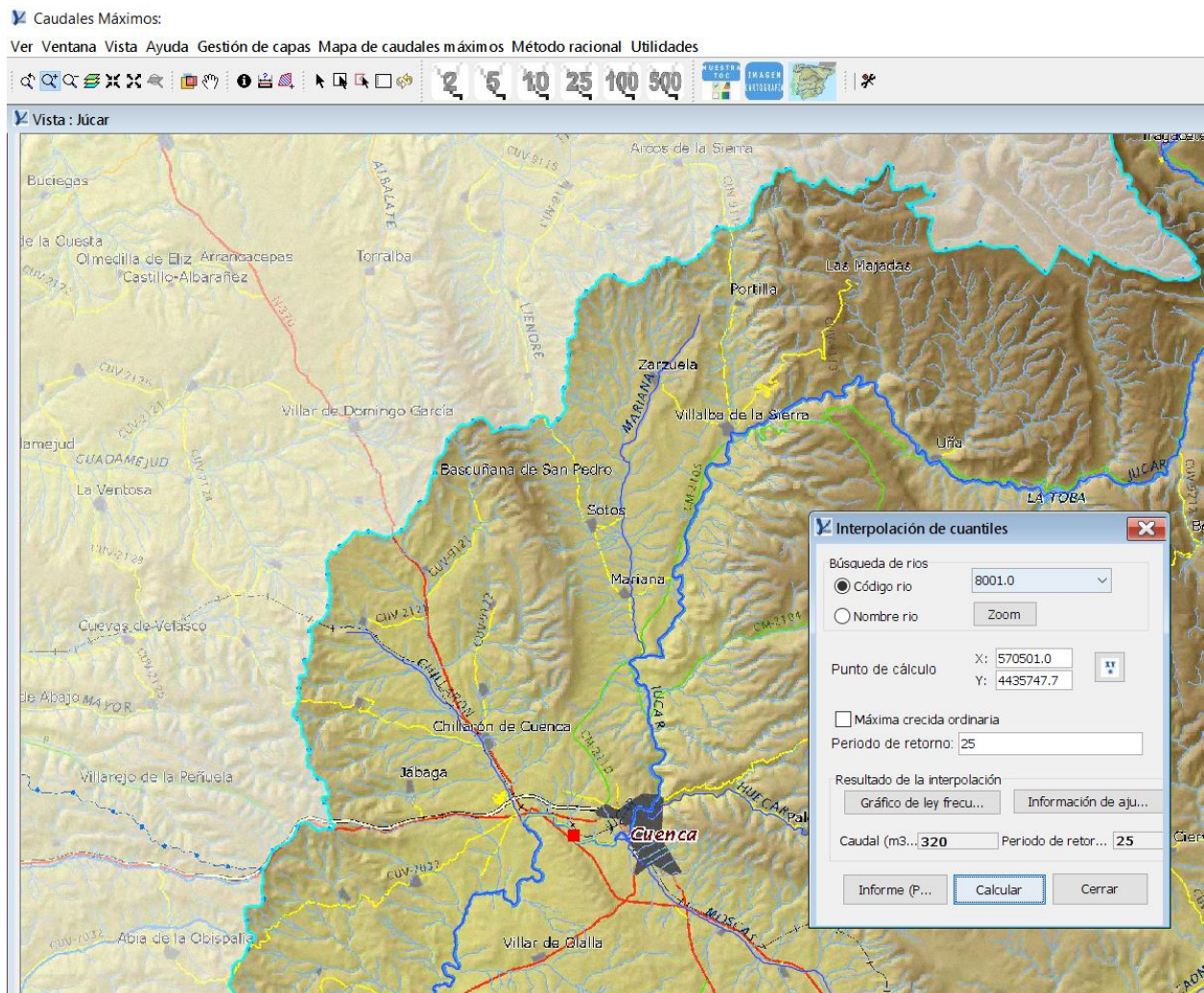


Figura 14. Ejemplo de la consulta de los distintos periodos de retorno consultados para la elección de los caudales a simular.

No obstante, la obtención de los caudales de daños no tiene relación alguna con los periodos de retorno del cauce, pero la consulta de estos se considera de buena práctica para un mejor conocimiento y entendimiento del cauce. La siguiente tabla recoge los caudales simulados para los tramos 1 y 2:



TRAMO	CAUDAL (M3/S)	COMENTARIOS
1 y 2	50	(*)
1 y 2	65	(*)
1 y 2	80	(*)
1 y 2	100	Crecida máxima ordinaria del tramo 1
1 y 2	150	Crecida máxima ordinaria del tramo 2, y periodo de retorno de 5 años en el punto final del estudio
1 y 2	175	(**)
1 y 2	200	(**)
1 y 2	225	Periodo de retorno de 10 años en el punto final del estudio
1 y 2	250	(**)
1 y 2	275	(**)
1 y 2	325	Periodo de retorno de 25 años en el punto final del estudio
1 y 2	500	Periodo de retorno de 100 años en el punto final del estudio
1 y 2	770	Periodo de retorno de 500 años en el punto final del estudio

Tabla 4: Caudales simulados con IBER

(*) Estos caudales son simulados con el objetivo de identificar entre ellos el caudal de alerta (que define el inicio de daños a afecciones dentro del dominio público hidráulico), puesto que la crecida máxima ordinaria (que es de 100 m³/s y 150 m³/s para los tramos 1 y 2 respectivamente) define las extensiones del dominio público hidráulico para cada tramo, como se ha explicado anteriormente.

(**) Estos caudales han sido añadidos para obtener una batería de caudales cada 25 m³/s entre los caudales de 150 y 275 m³/s. Rango en el que se espera identificar el caudal de emergencia para ambos tramos.



5.2.6. OBRAS DE FÁBRICA

IBER permite distinguir cuatro tipos de flujo en infraestructuras tipo puente: Flujo en lámina libre bajo el tablero, flujo en carga bajo tablero (anegado o no anegado), flujo en carga bajo tablero en transición (anegado o no anegado) y flujo en lámina libre sobre tablero (anegado o no anegado). El cálculo de cada situación modifica las ecuaciones de cálculo y el coeficiente de descarga para ajustarse al escenario alcanzado.

En el modelo han sido incluidos los 31 puentes inventariados en el apéndice 01, la introducción de estos en el modelo hidráulico se realiza mediante la modificación de las elevaciones en determinados puntos del mallado. Como se muestra en la siguiente imagen:

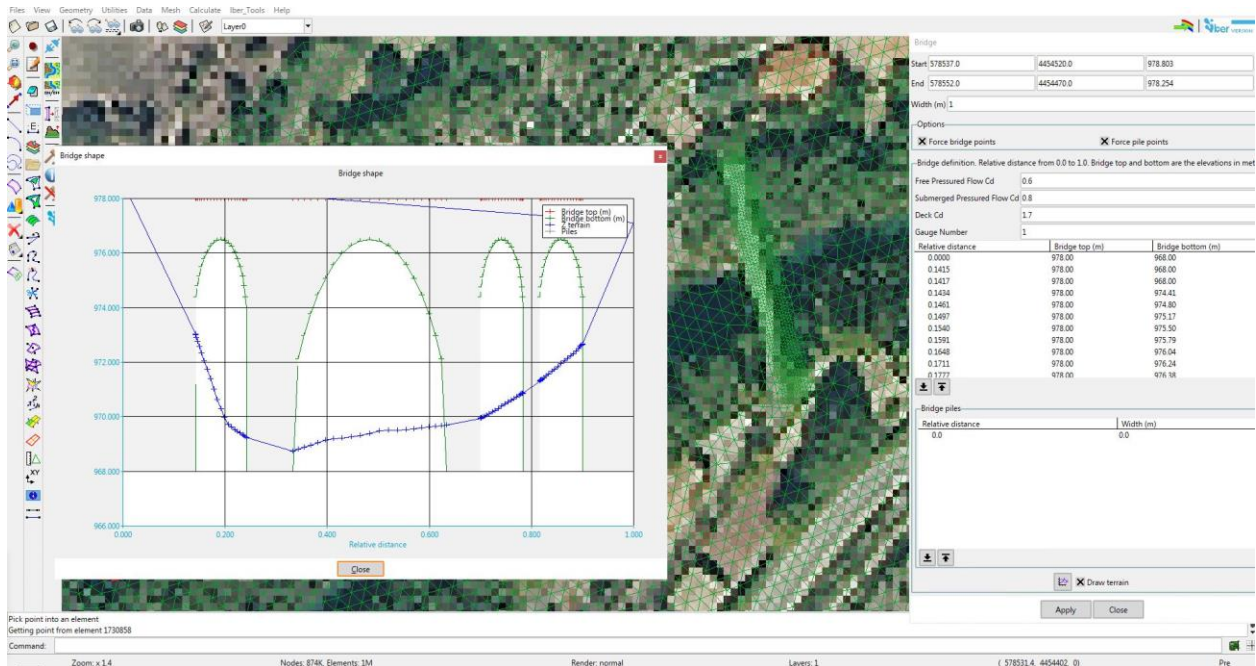


Figura 15. Detalle de la introducción de los Puentes en el modelo de IBER.

Cabe destacar que en aquellas zonas donde se han introducido puentes en el modelo se ha ejecutado un mallado mucho más fino para conseguir una modelación más detallada en las zonas donde estos se encuentran. Siendo los elementos de la malla triángulos de lado igual o inferior a 4 metros en el ámbito del estudio en general y triángulos de lado igual o inferior a 1 metro en aquellas zonas donde se ha modificado el mallado para introducir puentes.

Además de introducir puentes, se han añadido al modelo dos obras de drenaje transversal que se ubican bajo la “Ronda Oeste”, en una zona de la ciudad de Cuenca catalogada como



inundable y donde actualmente se está realizando la implantación de zonas verdes. Estas obras de drenaje transversal consisten en dos pasos inferiores bajo la N-400 en forma de arco con unas dimensiones aproximadas de 9 metros de ancho y 5 de alto.

5.3. RESULTADOS DEL MODELO HIDRÁULICO

Las características finales de cada modelo realizado para cada uno de los tramos son las siguientes:

TRAMO	TAMAÑO DE MALLADO GENERAL (M)	TAMAÑO DE MALLADO REFINADO PARA PUENTES (M)	N.º ELEMENTOS DE LA MALLA (MILLONES)	ÁREA SIMULADA (KM2)	N.º PUENTES	N.º CULVERTS (ODTS)	N.º PILAS DE PUENTE
Tramo 1	4	1	1,73	12,02	11	-	-
Tramo 2	4	1	1,43	9,78	18	2	4, (2puentes)

Tabla 5. Características de los modelos hidráulicos.

Se llevó a cabo la simulación de cada uno de los caudales recogidos en el punto 5.2.5 y se extrajeron los siguientes archivos .tif para llevar a cabo el análisis de las afecciones y obras de paso:

- Calados de la lámina de agua (m)
- Elevación de la lámina de agua (msnm)
- Velocidad (m/s)
- Caudal específico (m/s²)

Los resultados de la simulación se incluyen en el apéndice 4 como Planos de Zonas Inundables.



6. AFECCIONES

El análisis de Afecciones se ha llevado a cabo en dos pasos:

1. Se realiza el procesamiento de los archivos ráster de calados y velocidades marcando aquellas zonas de afección grave, es decir, cuyo calado es igual o superior a 1 metros, cuya velocidad es igual o superior a 1 m/s o, cuyo producto de calado por velocidad es superior a 0.5 m²/s. Este primer análisis define sobre el plano todas aquellas zonas en las que se considera que existe una afección grave sin definir ni analizar las infraestructuras existentes en ellas.
2. En un segundo paso, se analizan estas infraestructuras obteniendo tablas que definen su calado y velocidad para cada uno de los caudales simulados. Se procede seleccionando las infraestructuras que se encuentran en zona de grave afección y obteniendo los parámetros que justifican esta clasificación de “grave afección”, se recopilan también los datos de las infraestructuras en afección leve. Estos valores se tabulan y analizan para definir los caudales de alerta, alarma y emergencia.

6.1. CAUDALES DE AFECCIÓN EN LAS ESTRUCTURAS INVENTARIADAS

A continuación, se definen los caudales de afección leve y afección grave para cada una de las potenciales afecciones definidas en el cauce. Se indican también aquellas infraestructuras ubicadas sobre Dominio Público Hidráulico, acorde a la definición empleada para este proyecto, lámina de inundación asociada a la Crecida Máxima Ordinaria, la cual tiene valores de 100 m³/s para el tramo 1 y 150 m³/s para el tramo 2.

ID	NOMBRE	X	Y	Z	DPH	Q AFECCIÓN LEVE (M3/S)	Q AFECCIÓN GRAVE (M3/S)
1	Tinada de la Cerca	588568	4452006	1130.56	NO	150	325
2	Viviendas dispersas en TM Uña	587500	4452784	1128.17	NO	200	250
3	Base brigada terrestre INFOCAM	587519	4452882	1128.48	NO	225	275
4	Chalet aislado TM Uña	587282	4452693	1129.77	NO	275	325
5	Viviendas aisladas TM Uña 2	587238	4452827	1127.76	NO	200	225
6	Instalaciones deportivas de Uña	587210	4452938	1127.94	NO	200	250
7	Casetas para cultivos	587099	4452889	1127.21	NO	175	225
8	Casa aislada Uña	586899	4452855	1128.09	NO	225	250
9	Casco urbano de Uña	586818	4453030	1129.94	NO	325	500
10	Paraje Natural Laguna de Uña	586737	4453251	1132.66	NO	(*)	(*)
11	Molino en ruinas	586331	4453644	1099.12	NO	225	225
12	Manantial de los Baños	581019	4455784	1010.51	NO	200	225



ID	NOMBRE	X	Y	Z	DPH	Q AFECCIÓN LEVE (M3/S)	Q AFECCIÓN GRAVE (M3/S)
13	Subestación Eléctrica de Ventano del Diablo	578783	4454593	980.46	NO	(*)	(*)
14	Viviendas del Salto de Villalba Margen Derecha	578703	4454575	978.10	NO	(*)	(*)
15	Viviendas del Salto de Villalba Margen Izquierda	578498	4454401	975.82	NO	(*)	(*)
16	Naves TM Villalba se la Sierra	578098	4454125	970.58	NO	500	770
17	Caseta TM Villalba de la Sierra	578073	4454214	968.67	NO	175	325
18	Viviendas asiladas TM Villalba de la Sierra	577845	4454146	972.27	NO	770	(*)
19	Casetas TM Villalba de la Sierra	577822	4454224	967.27	NO	150	250
20	Zona de baño el Tablazo	577717	4454269	963.88	SI	50	50
21	Hotel-Restaurante el Tablazo	577691	4454047	966.75	NO	150	275
22	Piscifactoría el Tablazo	577679	4453958	965.45	NO	150	225
23	Caseta aislada	577682	4453817	965.39	NO	200	500
24	Vivienda en Villalba de la Sierra	577590	4453873	968.72	NO	500	770
25	Restaurante Nelia	577558	4453846	968.49	NO	770	770
26	Viviendas en Villalba de la Sierra	577463	4453750	966.29	NO	770	(*)
27	Vivienda aislada Villalba de la Sierra	577380	4453587	966.54	NO	(*)	(*)
28	Urbanización los Perales	577291	4452810	960.36	NO	150	200
29	Naves Júcar Aventura	576815	4452880	960.91	NO	770	(*)
30	Caseta para pescadores	576432	4452388	960.95	NO	(*)	(*)
31	Caseta	576531	4451450	954.53	SI	50	100
32	Naves Multiaventura	576279	4451412	957.25	NO	770	(*)
33	Restaurante La Moraleja en CM-2015	576020	4451038	955.20	NO	275	770
34	Edificaciones Camping La Moraleja	575948	4450578	954.55	NO	(*)	(*)
35	Camping La Moraleja (Abandonado)	575898	4450320	952.36	NO	200	225
36	Viviendas en CM-2015	575427	4449625	956.60	NO	(*)	(*)
37	Vivienda aislada en CM-2105	575456	4449451	950.93	NO	250	(*)
38	Naves Reto Aventura	575565	4449415	951.74	NO	500	770
39	Vivienda aislada Barranco de los Lobos	575729	4449384	950.91	NO	275	500
40	Casa en ruinas	575388	4448738	947.97	NO	250	500
41	Vivienda aislada TM Mariana	575378	4448033	948.03	NO	770	(*)
42	Ganadería Pedro Miota	574916	4447369	957.52	NO	(*)	(*)

Tabla 6. Caudales de afección para las estructuras inventariadas del tramo 1.

ID	NOMBRE	X	Y	Z	DPH	Q AFECCIÓN LEVE (M3/S)	Q AFECCIÓN GRAVE (M3/S)
43	Molino de la Torre	575137	4445766	933.51	SI	50	50
44	Viviendas aisladas Vado de la Huerta	574999	4445677	938.68	NO	770	770
45	Caseta coto de Pesca	574858	4445438	935.35	SI	100	200
46	Vivienda aislada Vado de la huerta	574774	4445320	936.63	NO	225	500
47	Viviendas aisladas Vega Mejina	574351	4444772	934.15	SI	100	200
48	Edificio coto intensivo	574375	4444024	932.55	SI	100	175
49	Área recreativa del Chantre	573451	4443813	927.60	SI	50	50
50	Casa de Pescadores	573317	4442950	927.76	SI	50	250
51	Caseta aislada	573818	4442258	927.71	NO	225	500
52	Caseta con conducción hidráulica	573818	4442165	928.11	NO	250	500
53	Camping Caravaning Cuenca	573229	4442160	928.38	NO	325	500
54	Naves Club Piragüismo Las Grajas	574330	4438911	925.37	NO	175	325
55	Molino de las Grajas	574042	4438803	924.44	NO	(*)	(*)
56	Ermida San Juan de la Ribera	574218	4438298	917.87	NO	275	500
57	Vivienda Playa Artificial Cuenca	574390	4438101	915.77	SI	80	175
58	Edificaciones complejo Playa Artificial de Cuenca	574273	4437916	915.84	NO	200	500



ID	NOMBRE	X	Y	Z	DPH	Q AFECCIÓN LEVE (M3/S)	Q AFECCIÓN GRAVE (M3/S)
59	Restaurante Playa artificial de Cuenca	574227	4437793	917.68	NO	770	(*)
60	Camping Caravanas	574270	4437605	913.04	SI	80	100
61	Molino Abandonado	574336	4437499	913.73	SI	65	80
62	Restaurante Recreo Peral	574010	4436943	911.03	SI	80	150
63	Casetas de información	573947	4436771	911.60	NO	175	275
64	Paseo del Huecar-Júcar	573980	4436720	910.76	SI	80	150
65	Viviendas bajo San Antón	573853	4436731	911.90	NO	275	500
66	Parque del Huecar	573727	4436619	912.29	NO	770	(*)
67	Restaurante La Ceca	573447	4436804	907.59	SI	150	175
68	Paseo Fluvial	573304	4436792	905.64	SI	50	50
69	Campo de futbol El Sargal	573285	4436689	910.53	NO	770	(*)
70	Aparcamiento Pabellón el Sargal	573240	4436698	909.14	NO	500	770
71	Pistas deportivas El Sargal	573268	4436576	912.26	NO	(*)	(*)
72	Polideportivo El Sargal	573245	4436477	909.03	NO	500	(*)
73	Caseta SAIH Júcar en Cuenca	573082	4436216	902.76	SI	50	80
74	Ruinas	573078	4436033	905.09	NO	275	500
75	Edificios Barrio Fuente del Oro	572918	4435879	905.29	NO	770	770
76	Explanada de Eventos Santa Ana	573154	4435856	904.52	NO	225	500
77	Edificios C.Huerta de la Alameda	573130	4435780	903.34	NO	325	770
78	Parque San Julián	573237	4435772	905.61	NO	500	770
79	Viviendas calle Escultor Jamete	573128	4435602	902.87	NO	225	500
80	Parque de Bomberos y Protección Civil	573076	4435527	903.47	NO	225	500
81	Edificios Calle Juan Martino	573235	4435500	904.02	NO	500	770
82	Recinto Ferial de Cuenca	573081	4435361	902.79	NO	200	325
83	Edificios Cam. de la Resinería	573063	4435263	904.10	NO	500	770
84	Bosque de Acero Cuenca	572964	4435260	903.37	NO	275	500
85	Hospital Recoletas Cuenca	572898	4435491	902.53	NO	225	500
86	Ruinas río moscas	572732	4435345	901.86	NO	175	250
87	Parque Fluvial Ronda Oeste	572681	4435518	901.81	SI	100	250
88	Colegio Fuente del Oro	572662	4435647	904.01	NO	500	(*)
89	Casa abandonada Ronda Oeste	572552	4435356	902.44	NO	250	500
90	Viviendas aisladas Pje.Avengozar	572305	4435152	901.83	NO	770	770
91	Viviendas Aisladas	571924	4435175	901.28	NO	325	500
92	Viviendas Aisladas La Grillera	571740	4435266	900.68	NO	325	500
93	Caseta conducción	571423	4435222	899.21	SI	80	175
94	EDAR Cuenca	571327	4435243	902.24	NO	770	(*)
95	Nave en ruinas	571205	4435424	900.38	NO	325	500
96	Viviendas aisladas El Zargatón	570849	4435283	899.68	NO	250	500
97	Urbanización El Zargatón	570447	4435342	897.49	SI	150	225
98	Urbanización Paraje de Royo	570330	4435854	898.04	NO	275	500

Tabla 7. Caudales de afección para las estructuras inventariadas del tramo 2.

(*) Para los caudales simulados no se registra afección.

6.2. CAUDALES DE AFECCIÓN SOBRE LAS OBRAS DE FÁBRICA

Se ha analizado el calado en las zonas de puente, indicando si se produce en la simulación la entrada en carga de la infraestructura o si la lámina llega a cubrir el tablero del puente. Se indican también las velocidades alcanzadas, que pudieran justificar la inspección de estas obras para analizar la potencial socavación tras un evento de inundación.

ID	NOMBRE	Z TABLE RO	50	65	80	100	150	175	200	225	250	275	325	500	770	Q ANEGA	Q SOBR EVER TIDO
1	Puente Buenache	1135.30	1,133.1	1,133.4	1,133.6	1,133.8	1,134.3	1,134.5	1,134.7	1,134.9	1,135.21	1,135.3	1,135.52	1,136.06	1,136.64	150	275
2	Puente CM-2105 Uña	1130.60	1,123.5	1,123.9	1,124.2	1,124.7	1,125.7	1,126.2	1,126.9	1,128.1	1,128.7	1,129.3	1,130.4	1,131.2	1,132.5	275	500
3	Puente Salto de Villalba	978.00	971.14	971.34	971.53	971.75	972.25	972.50	972.73	972.95	973.16	973.36	973.72	974.93	976.90	770	-
4	Puente CM-2105 Hoya del Serval	972.00	967.78	967.96	968.12	968.32	968.74	968.92	969.08	969.23	969.37	969.49	969.71	971.08	972.14	500	770
5	Puente con conducción en Villalba de la Sierra	970.50	966.88	967.04	967.19	967.38	967.77	967.94	968.09	968.22	968.35	968.46	968.65	969.17	970.05	500	770
6	Puente Viejo Villalba de la Sierra	968.60	964.03	964.19	964.33	964.51	964.92	965.11	965.30	965.49	965.68	965.86	966.22	967.92	969.43	325	770
7	Puente CM-2105 Villalba de la Sierra	968.00	963.49	963.61	963.71	963.84	964.12	964.25	964.38	964.50	964.62	964.72	964.92	965.54	966.64	770	-
8	Puente caseta de los pescadores	961.00	957.35	957.55	957.72	957.90	958.24	958.35	958.46	958.55	958.66	958.79	958.96	959.41	959.83	-	-
9	Puente Camping la Moraleja	953.20	951.55	951.77	951.97	952.20	952.72	952.98	953.20	953.39	953.90	954.04	954.28	954.96	955.51	150	200
10	Puente Vega de Don Sancho	951.50	949.30	949.47	949.63	949.81	950.18	950.45	950.80	951.00	951.24	951.43	951.73	952.20	952.54	150	325



ID	NOMBRE	Z TABLE RO	50	65	80	100	150	175	200	225	250	275	325	500	770	Q ANEGA	Q SOBR EVER TIDO
11	Puente de Mariana	948.30	946.23	946.45	946.56	946.67	946.83	946.89	946.97	947.02	947.07	947.12	947.21	947.65	948.19	150	-
12	Puente Romano del Chantre	936.40	930.27	930.51	930.73	931.00	931.61	931.92	932.24	932.56	932.90	933.27	933.95	936.55	937.71	500	500
13	Puente con conducción Camping Caravaning	928.50	925.90	925.98	926.08	926.30	926.92	927.24	927.49	927.73	927.96	928.18	928.59	929.85	931.48	175	325
14	Puente Valdecabras	937.60	925.81	926.13	926.42	926.75	927.44	927.74	928.00	928.25	928.47	928.69	929.09	930.32	931.91	-	-
15	Puente de Las Grajas	926.00	923.90	924.07	924.25	924.47	924.97	925.16	925.31	925.44	925.56	925.67	925.88	926.48	927.21	275	500
16	Puente central hidroeléctrica Las Grajas	922.10	918.92	919.24	919.53	919.86	920.54	920.82	921.08	921.31	921.52	921.73	922.09	923.12	924.99	275	325
17	Puente Recreo Peral	916.80	912.33	912.63	912.89	913.34	914.04	914.31	914.84	915.03	915.27	915.50	915.92	917.00	918.24	325	500
18	Puente Los Bolos	914.25	910.96	911.24	911.48	911.97	912.67	912.94	913.16	913.36	913.54	913.72	914.05	915.06	916.31	325	500
19	Puente San Antón	921.50	910.88	911.04	911.18	911.36	911.75	911.92	912.09	912.26	912.41	912.56	912.85	913.75	914.93	-	-
20	Pasarela peatonal paseo fluvial	908.00	907.16	907.45	907.69	907.96	908.66	908.86	909.08	909.29	909.49	909.68	910.04	911.30	912.50	80	150
21	Puente del Sargal	908.15	906.15	906.35	906.51	906.71	907.06	907.21	907.35	907.48	907.62	907.75	908.02	909.64	910.75	325	500
22	Pasarela peatonal de Cuenca	927.00	904.82	905.00	905.18	905.39	905.90	906.14	906.36	906.58	906.77	906.95	907.29	908.43	909.61	-	-
23	Puente isla del Sargal	907.50	906.33	906.50	906.65	906.83	907.16	907.29	907.40	907.52	907.65	907.78	908.04	909.29	910.40	80	225
24	Puente A-40	921.60	903.55	903.85	904.12	904.41	905.06	905.29	905.49	905.67	905.85	906.02	906.34	907.34	908.44	-	-
25	Puente Ferrocarril Madrid-Cuenca	915.00	903.32	903.61	903.86	904.14	904.76	904.96	905.14	905.30	905.45	905.59	905.86	906.73	907.60	-	-
26	Puente C.Alameda del Júcar	906.00	903.01	903.27	903.50	903.77	904.47	904.69	904.89	905.08	905.24	905.41	905.70	906.59	907.45	200	500



ID	NOMBRE	Z TABLE RO	50	65	80	100	150	175	200	225	250	275	325	500	770	Q ANEGA	Q SOBR EVER TIDO
27	Puente C.Escultor Jamete	906.15	903.25	903.45	903.62	903.84	904.30	904.47	904.63	904.77	904.92	905.09	905.37	906.63	907.61	250	500
28	Puente Ronda Oeste-Oeste	906.50	901.01	901.24	901.46	901.72	902.26	902.48	902.69	902.89	903.15	903.51	903.88	904.57	905.10	500	-
29	Puente Ronda Oeste-Este	906.50	900.84	901.08	901.29	901.54	902.04	902.25	902.44	902.64	902.89	903.25	903.62	904.30	905.23	770	-
30	Puente con conducción al Terminillo	902.40	899.95	900.26	900.54	900.87	901.55	901.85	902.09	902.33	902.64	903.09	903.46	904.14	904.78	200	250
31	Puente con conducción a EDAR	901.40	899.26	899.52	899.75	900.03	900.66	900.95	901.19	901.40	901.59	901.78	902.13	903.04	904.00	200	225

Tabla 8. Elevación de la lámina de agua de los puentes de los tramos 1 y 2.



ID	NOMBRE	50	65	80	100	150	175	200	225	250	275	325	500	770
1	Puente Buenache	0.93	1.05	1.15	1.27	1.52	1.60	1.65	1.60	1.39	1.37	1.34	1.31	1.40
2	Puente CM-2105 Uña	1.93	2.03	2.04	2.14	2.21	2.18	2.05	1.64	1.58	1.53	1.40	1.51	1.72
3	Puente Salto de Villalba	1.85	2.00	2.13	2.27	2.55	2.64	2.71	2.78	2.85	2.91	3.01	3.24	3.22
4	Puente CM-2105 Hoya del Serval	1.35	1.53	1.65	1.77	1.98	2.07	2.15	2.23	2.31	2.37	2.50	1.98	1.94
5	Puente con conducción en Villalba de la Sierra	1.55	1.75	1.90	2.04	2.31	2.43	2.54	2.65	2.75	2.84	3.01	2.49	2.27
6	Puente Viejo Villalba de la Sierra	1.09	1.21	1.31	1.43	1.60	1.65	1.69	1.69	1.69	1.67	1.68	1.57	1.56
7	Puente CM-2105 Villalba de la Sierra	0.53	0.60	0.67	0.74	0.87	0.93	0.98	1.03	1.07	1.12	1.20	1.47	1.23
8	Puente caseta de los pescadores	1.64	1.80	1.95	2.16	2.56	2.69	2.81	2.93	2.95	2.91	2.90	2.99	3.20
9	Puente Camping la Moraleja	1.37	1.53	1.67	1.81	2.09	2.16	2.20	2.23	1.81	1.83	1.89	2.05	2.18
10	Puente Vega de Don Sancho	1.30	1.41	1.50	1.60	1.83	1.81	1.65	1.68	1.68	1.70	1.71	1.75	1.78
11	Puente de Mariana	1.67	1.81	1.87	1.93	2.03	2.07	2.06	2.09	2.11	2.12	2.13	1.58	1.04
12	Puente Romano del Chantre	1.62	1.82	1.99	2.19	2.57	2.69	2.79	2.88	2.93	2.98	3.06	2.69	2.87
13	Puente con conducción Camping Caravaning	1.52	1.56	1.49	1.18	0.54	0.19	0.14	0.11	0.10	0.09	0.09	0.06	0.05
14	Puente Valdecabras	0.65	0.73	0.79	0.87	1.03	1.09	1.16	1.22	1.28	1.33	1.43	1.66	1.89
15	Puente de Las Grajas	0.79	0.95	1.04	1.14	1.27	1.33	1.39	1.45	1.52	1.58	1.70	2.05	2.48
16	Puente central hidroeléctrica Las Grajas	0.96	1.09	1.19	1.32	1.60	1.72	1.83	1.93	2.03	2.12	2.30	2.82	2.65
17	Puente Recreo Peral	0.89	1.00	1.10	1.15	1.35	1.45	1.34	1.48	1.53	1.57	1.63	1.83	2.09
18	Puente Los Bolos	1.09	1.23	1.35	1.33	1.42	1.45	1.48	1.52	1.56	1.61	1.69	1.91	2.18
19	Puente San Antón	1.59	1.79	1.95	2.13	2.46	2.60	2.72	2.82	2.91	3.00	3.16	3.55	3.94
20	Pasarela peatonal paseo fluvial	1.28	1.35	1.41	1.49	1.41	1.48	1.54	1.60	1.67	1.74	1.85	2.05	2.64
21	Puente del Sargal	1.04	1.19	1.33	1.50	1.91	2.09	2.25	2.40	2.54	2.66	2.88	2.48	2.65
22	Pasarela peatonal de Cuenca	1.84	1.98	2.08	2.20	2.31	2.31	2.29	2.23	2.19	2.15	2.09	2.01	2.13
23	Puente isla del Sargal	1.21	1.34	1.46	1.59	1.85	1.97	2.08	2.18	2.27	2.34	2.44	1.95	2.07
24	Puente A-40	0.96	1.10	1.21	1.34	1.62	1.75	1.88	1.99	2.09	2.18	2.34	2.73	3.18
25	Puente Ferrocarril Madrid-Cuenca	1.06	1.19	1.31	1.44	1.67	1.81	1.95	2.08	2.20	2.32	2.52	3.05	3.77
26	Puente C.Alameda del Júcar	1.19	1.33	1.46	1.54	1.41	1.38	1.34	1.30	1.27	1.23	1.20	1.37	1.66
27	Puente C.Escultor Jamete	1.54	1.73	1.89	2.05	2.36	2.52	2.66	2.77	2.87	2.90	3.03	2.67	2.65
28	Puente Ronda Oeste-Oeste	1.36	1.51	1.58	1.64	1.50	1.37	1.29	1.25	1.20	1.14	1.18	1.33	0.39
29	Puente Ronda Oeste-Este	1.75	1.92	2.05	2.14	2.23	2.16	2.12	2.11	2.09	1.98	2.02	2.20	1.47
30	Puente con conducción al Terminillo	0.99	1.10	1.20	1.31	1.55	1.67	1.77	1.82	1.78	1.67	1.67	1.56	1.49
31	Puente con conducción a EDAR	1.49	1.64	1.76	1.87	2.06	1.65	1.52	1.39	1.28	1.27	1.10	0.30	0.28

Tabla 9. Velocidades en m/s según caudal para los puentes de los tramos 1 y 2.



7. DEFINICIÓN DE CAUDALES CARACTERÍSTICOS

A partir de los resultados de los modelos hidráulicos, iterando sobre los distintos caudales estudiados y analizando las afecciones para cada uno de ellos, se definen el caudal de alerta, caudal de alarma y caudal de emergencia.

Para llevar a cabo esta clasificación, es necesario analizar el límite del Dominio Público Hidráulico, en adelante DPH, puesto que el caudal de alerta se define como el caudal a partir del cual se producen daños dentro del DPH y el caudal de alarma como aquel que desborda el DPH.

En la consulta realizada del visor del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) se ha comprobado que las áreas de estudio de los tramos 1 y 2 tienen capas georreferenciadas que delimitan el DPH de forma cartográfica o geomorfológica. Si bien, aunque estas capas no abarcan la longitud total de los dos tramos estudiados, lo hacen en su mayoría y en los puntos finales de ambos tramos. En estos puntos se ha obtenido mediante el software desarrollado por el CEDEX, "CAUMAX", el caudal que define la Crecida Máxima Ordinaria y por tanto el caudal para el que estos Dominios Públicos Hidráulicos han sido definidos.

Según la definición dada por el ministerio, *"La máxima crecida ordinaria se define como el valor medio de los máximos caudales anuales en su régimen natural, observado en 10 años consecutivos, que sean representativos del comportamiento hidráulico de la corriente. Los niveles alcanzados por la máxima crecida ordinaria determinarán el terreno cubierto por las aguas y, al menos en una primera aproximación, los límites del dominio público hidráulico"*.

Como se ha comentado anteriormente, para el tramo 1 la crecida máxima ordinaria es de aproximadamente $100 \text{ m}^3/\text{s}$, y por tanto la lámina de agua acorde con este caudal define el DPH de este tramo. En el caso del tramo 2, el caudal correspondiente a la crecida máxima ordinaria y que define los límites del DPH es de $150 \text{ m}^3/\text{s}$.



7.1. CAUDAL DE ALERTA

El caudal de alerta se define como el caudal a partir del cual se producen afecciones a aprovechamientos o usos dentro del Dominio Público Hidráulico.

7.1.1. TRAMO 01

Para los caudales simulados que quedan por debajo de la Crecida Máxima Ordinaria del tramo 1, que se corresponde con un caudal de $100 \text{ m}^3/\text{s}$, se produce únicamente una afección significativa.

Esta afección se da para un caudal de $50 \text{ m}^3/\text{s}$ y la estructura afectada se ha catalogado como una caseta de madera ubicada en el término municipal de Villalba de la Sierra. Acorde con catastro la parcela en la que la caseta se ubica tiene un uso agrario, pero la edificación tiene una superficie de 94 m^2 de uso industrial (Referencia Catastral: 16255A506000060001TU). Para el caudal mencionado se alcanzan calados de 59 cm y velocidades de $0,49 \text{ m/s}$.



Figura 16. Detalle de la afección nº31, en Villalba de la Sierra.

A pesar de que para este caudal solo se dispone de una afección en todo el tramo, ya que esta se encuentra dentro del DPH y sufre claramente una afección leve se fija para el tramo 1 un **caudal de alerta de $50 \text{ m}^3/\text{s}$.**



7.1.2. TRAMO 02

A diferencia del tramo 1, para los caudales simulados por debajo de la Crecida Máxima Ordinaria del tramo 2 (150 m³/s) se identifican 15 afecciones potenciales. Entre estas se encuentran varias viviendas aisladas, cuatro zonas o paseos fluviales, dos molinos (uno de ellos abandonado), un parquin de caravanas, una caseta con una conducción hidráulica, dos casetas de pescadores, la caseta SAIH de Cuenca y un restaurante ubicado dentro de la zona de policía.

A continuación, se analizan estas afecciones por el caudal en el que se producen:

Para 50 m³/s:

- Área recreativa del Chantre: Se trata de un parque fluvial ubicado en la confluencia del río Júcar con el río Mariana. No se encuentra ningún tipo de estructura ni en la visita de campo ni en catastro por lo que no se considera una afección significativa.
- Paseo fluvial de Cuenca: La afección nº68 consiste en un paseo peatonal elevado apenas un metro sobre el cauce. Para este caudal se produce afección grave pero ya que este paseo no sirve de servidumbre a ninguna vivienda tampoco se considera una afección significativa.
- Caseta SAIH de Cuenca: Para este caudal se registran calados de unos 47 cm y velocidades de 0.38 m/s. Debido a la naturaleza de la estructura esta no se considera significativa.
- Molino de la Torre (Afección nº43) y Caseta de Pescadores (Afección nº50): Estas dos afecciones tienen en común que ambas se encuentran elevadas sobre el cauce del río. El caso del molino (o minicentral hidroeléctrica) de la torre los calados se han medido a nivel de sótano y como se muestra en la figura hay un resguardo de al menos dos metros hasta que la estructura pueda considerarse afectada por el agua. La caseta de pescadores se encuentra elevada un metro y por tanto la afección leve a la estructura se considera para calados mayores de 1 metro, los cuales se dan para caudales de más de 300 m³/s.



Figura 17. Detalle de las afecciones nº43 y nº50.

Para 65 m³/s:

- Molino Abandonado: La única afección que se añade para este caudal es la afección nº61 que se corresponde con un antiguo molino que actualmente está fuera de servicio.

Para 80 m³/s:

- Vivienda playa artificial Cuenca: Esta vivienda ubicada en las inmediaciones de un azud donde se encuentra una zona de baño denominada “playa artificial de Cuenca” sufre afección leve para este caudal, donde se registran calados superiores a los 10 cm.
- Camping de Caravanas: Se trata de un parquin donde se estacionan numerosas caravanas durante todo el año. Para este caudal se registran calados superiores a los 40 cm.
- Paseo del Huecar- Júcar: Paseo fluvial situado en el corazón de la ciudad entre la confluencia de los ríos Júcar y Huecar. A pesar de que el paseo queda inundado con calados de 40 cm no se ve afectada ninguna edificación o estructura relevante.
- Caseta con conducción hidráulica. Se registran calados de 10 cm y velocidades de 0.15 m/s.



- Restaurante Recreo Peral: Se trata de un restaurante ubicado en la margen izquierda del río justo antes de llegar a la ciudad de Cuenca. Esta construido a escasos 15 metros del cauce y sufre inundaciones periódicamente. Para este calado se registra afección leve con calados de 30 cm, imposibilitando el acceso. Además, se tiene constancia de que en la última avenida del río Júcar, producida el 13 de diciembre de 2022, este establecimiento sufrió daños severos ya que se produjo una avenida con un caudal punta de 295 m³/s.



Figura 18. Detalle de la afección nº62 durante la avenida del 13/12/2022

Debido principalmente a la afección que se da en “Vivienda de la Playa artificial de Cuenca” y “Restaurante del Recreo Peral”, afecciones nº57 y nº62 respectivamente, se fija para el tramo 2 el **caudal de alerta en 80 m³/s**.

Además, para este caudal quedan anegadas dos pasarelas peatonales en el paseo fluvial del río Júcar a la altura de la zona de “El Sargal”. El corte de estos dos puentes (obras de paso nº20 y nº23 en el apéndice 01) no deja incomunicada ninguna vivienda de la ciudad.



7.2. CAUDAL DE ALARMA

El caudal de alarma se define como el caudal en que la lámina de agua desborda el Dominio Público Hidráulico.

7.2.1. TRAMO 01

El **caudal de alarma se define en 100 m³/s**, ya que este caudal es la Crecida Máxima Ordinaria del tramo 1. A continuación se muestra una comparación de la lámina de agua simulada para este caudal junto con los límites definidos por el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI):

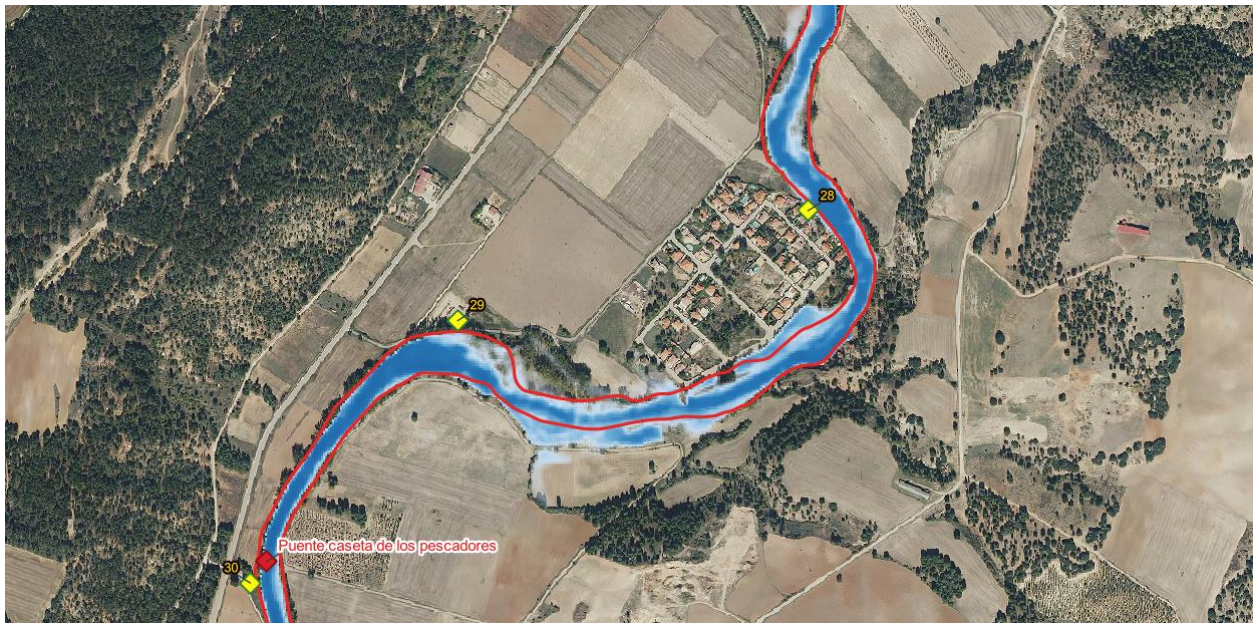


Figura 19. Comparación del DPH del SNCZI y el caudal de 100 m³/s simulado.

Las líneas en rojo delimitan el DPH cartográfico deslindado obtenido en 2011 por el SNCZI, mediante el software informático INFOWORKS ICM. La zona mostrada se corresponde a la urbanización de Los Perales en Villalba de la Sierra y como se observa, la lámina de agua para un caudal de 100 m³/s se ajusta considerablemente a los límites delimitados por el DPH.

Las afecciones identificadas para este caudal son las mismas que para el caudal de alerta, las cuales se corresponden con la caseta de madera y la “Zona de baño del Tablazo”. Esta última no se considera afección significativa puesto que se ha comprobado en catastro que no existe ningún tipo de edificación.



7.2.2. TRAMO 02

Para el segundo tramo el caudal que corresponde a la crecida máxima ordinaria y, por tanto define el **caudal de alarma es de 150 m³/s**.

Al igual que para el tramo 1 se muestra una comparación entre el DPH acorde con SNCZI y la lámina de agua obtenida para el mismo caudal en las simulaciones realizadas. Las líneas en rojo DPH cartográfico deslindado obtenido en 2011 por el SNCZI, mediante el software informático INFOWORKS ICM.



Figura 20. Comparación del DPH del SNCZI y el caudal de 150 m³/s simulado.

Como se observa, la simulación realizada se ajusta muy bien al DPH cartográfico del SNCZI. No obstante, para este caudal se registra afección leve a dos afecciones que se encuentran fuera del DPH por muy pocos metros.

Estas dos afecciones son la nº67 “Restaurante la Ceca” que se trata de un antiguo molino que ha sido reformado y convertido en restaurante y se ubica en el centro de la ciudad de Cuenca y la afección nº97 “Urbanización el Zargatón”, mostrada en la figura superior y explicada en profundidad en la definición del caudal de emergencia del tramo 2.

Los calados en el Restaurante de la Ceca alcanzan los 65 cm en la zona de terrazas que dispone junto al antiguo azud del molino, la estructura principal del edificio no se ve afectada gravemente por estos caudales. En cuanto a la urbanización del Zargatón, la lámina de agua alcanza un par de viviendas con caudales inferiores a los 10 cm causando una afección leve en la urbanización, pero insuficiente como para fijar en 150 m³/s el caudal de emergencia.

7.3. CAUDAL DE EMERGENCIA

Se define como Caudal de emergencia aquel que afecta a núcleos urbanos (más de 5 viviendas) y a infraestructuras importantes.

7.3.1. TRAMO 01

Además de otras afecciones menores, el motivo principal que define el caudal de emergencia en el tramo 1 es el desborde del río Júcar en la “Urbanización de Los Perales”, perteneciente a Villalba de la Sierra.

En la siguiente figura se observa como para un caudal de 200 m³/s la lámina de agua supera la cota de la carretera que separa la parte sur de la urbanización y el río, afectando directamente a más de 5 viviendas, por lo que siguiendo estrictamente la definición de **caudal de emergencia**, este se fija en **200 m³/s**.

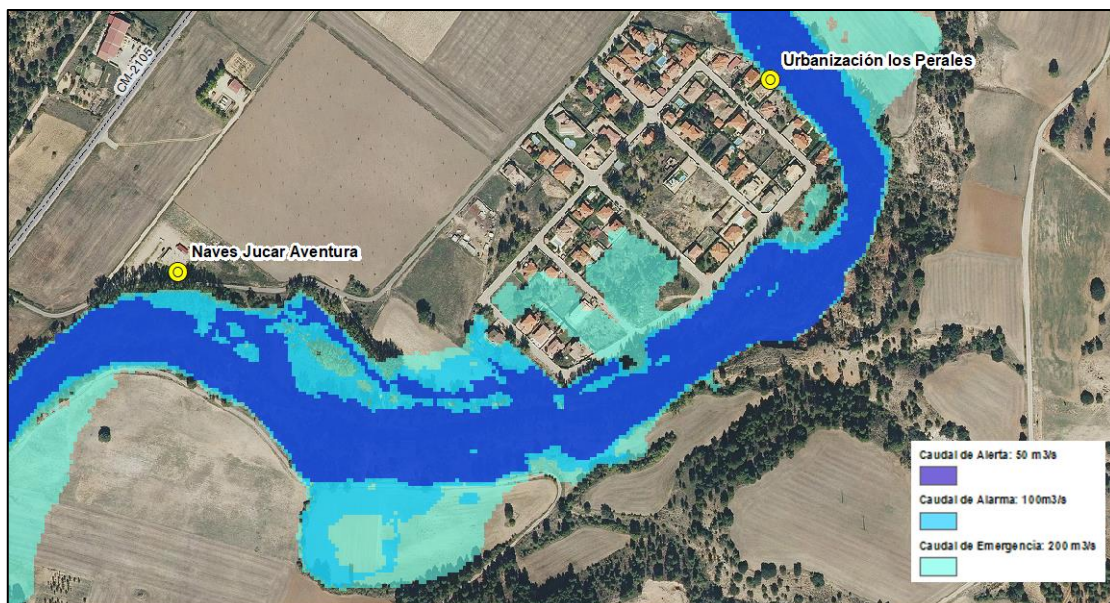


Figura 21. Detalle la afección 28 "Urbanización de los Perales" para el caudal de emergencia.



La urbanización afectada se visitó explícitamente para tener un mejor conocimiento de esta y se observó que la zona afectada y representada en la figura superior se encuentra a una cota inferior que la de la carretera que la separa del río. Por lo que se verifica que en el momento en el que el río alcanza la cota de la carretera la lámina de agua inunda aquellas parcelas que están a una cota inferior.

Por otro lado, entre los días 11 y 14 de diciembre del 2022 se registraron fuertes lluvias en todo el curso alto del río Júcar, que produjeron daños aislados tanto en los municipios de Villalba de la Sierra como de Cuenca. El día 13 de diciembre la presa de La Toba llegó a su capacidad máxima y comenzó a verter por el aliviadero que dispone en coronación. El día 14 de diciembre se registró en la estación de aforos de Cuenca un caudal medio 231 m³/s. Para este mismo día se desconoce con exactitud el caudal que circulaba en Villalba de la Sierra, pero se considera que no superaba los 200 m³/s debido a que la estación de aforos de Cuenca se encuentra unos 25 km aguas abajo y en esta distancia el río Júcar recibe las aguas de varios afluentes.

Las siguientes fotos muestran el desnivel que hay entre la carretera y la urbanización y el nivel que alcanzó el río el día 14 de diciembre en esta zona:



Figura 22. Detalle de la afección nº28 "Urbanización de los Perales" durante la última crecida del río Júcar.

El resto de las afecciones registradas para el caudal de emergencia se recogen en la siguiente tabla:



ID	NOMBRE	X	Y	Z	DPH	Q AFECCIÓN LEVE (M3/S)	Q AFECCIÓN GRAVE (M3/S)
1	Tinada de la Cerca	588568	4452006	1130.56	NO	150	325
2	Viviendas dispersas en TM Uña	587500	4452784	1128.17	NO	200	250
5	Viviendas aisladas TM Uña 2	587238	4452827	1127.76	NO	200	225
6	Instalaciones deportivas de Uña	587210	4452938	1127.94	NO	200	250
7	Casetas para cultivos	587099	4452889	1127.21	NO	175	225
12	Manantial de los Baños	581019	4455784	1010.51	NO	200	225
17	Caseta TM Villalba de la Sierra	578073	4454214	968.67	NO	175	325
19	Casetas TM Villalba de la Sierra	577822	4454224	967.27	NO	150	250
20	Zona de baño el Tablazo	577717	4454269	963.88	SI	50	50
21	Hotel-Restaurante el Tablazo	577691	4454047	966.75	NO	150	275
22	Piscifactoría el Tablazo	577679	4453958	965.45	NO	150	225
23	Caseta aislada	577682	4453817	965.39	NO	200	500
28	Urbanización los Perales	577291	4452810	960.36	NO	150	200
31	Caseta	576531	4451450	954.53	SI	50	100
35	Camping La Moraleja (Abandonado)	575898	4450320	952.36	NO	200	225

Tabla 10: Afecciones asociadas al Caudal de Emergencia del tramo 1.

7.3.2. TRAMO 02

En el caso del segundo tramo del estudio se define un **caudal de emergencia de 175 m³/s**. La afección que justifica este caudal es la afección nº97, "Urbanización del Zargatón", ubicada en la parte final del tramo del estudio y, como se ha comentado anteriormente, construida parcialmente sobre la zona de policía del río.

En esta urbanización, que ya registra afección leve en varias viviendas para el caudal de alarma (150 m³/s), se genera una afección leve a más de 5 viviendas para un caudal de 175 m³/s por lo que, ajustándose estrictamente a su definición se define el caudal de emergencia en este valor.



Figura 23. Detalle de la afección nº97 “Urbanización El Zargatón” para el caudal de emergencia.

Esta afección se visitó explícitamente tras las crecida del río Júcar del 14 de diciembre de 2022 y se tuvo la oportunidad de hablar con algunos vecinos acerca de las afecciones producidas. Los testimonios de estos vecinos fueron que el agua presentaba más de un metro y medio de altura en la parte más baja de la urbanización, más de 10 viviendas habían sido afectadas e incluso hubo coches estacionados que quedaron sumergidos para el caudal punta de la avenida (que según los medios informativos del ayuntamiento de Cuenca fue de 295 m³/s).

Los vecinos también informaron de que sufren inundaciones con una frecuencia media de unos 5 años y acorde con el software CAUMAX, el caudal correspondiente a 5 años de periodo de retorno en este punto del río Júcar es de 160 m³/s, por lo que se considera que el caudal de emergencia estimado se ajusta bastante a la realidad.

El resto de las afecciones registradas para el caudal de emergencia se recogen en la siguiente tabla:



ID	NOMBRE	X	Y	Z	DPH	Q AFECCIÓN LEVE (M3/S)	Q AFECCIÓN GRAVE (M3/S)
43	Molino de la Torre	575137	4445766	933.51	SI	50	50
45	Caseta coto de Pesca	574858	4445438	935.35	SI	100	200
47	Viviendas aisladas Vega Mejina	574351	4444772	934.15	SI	100	200
48	Edificio coto intensivo	574375	4444024	932.55	SI	100	175
49	Área recreativa del Chantre	573451	4443813	927.60	SI	50	50
50	Caseta de pescadores	573317	4442950	927.76	SI	50	250
54	Naves Club Piragüismo Las Grajas	574330	4438911	925.37	NO	175	325
57	Vivienda Playa Artificial Cuenca	574390	4438101	915.77	SI	80	175
60	Camping Caravanas	574270	4437605	913.04	SI	80	100
61	Molino Abandonado	574336	4437499	913.73	SI	65	80
62	Restaurante Recreo Peral	574010	4436943	911.03	SI	80	150
63	Casetas de información	573947	4436771	911.60	NO	175	275
64	Paseo del Huecar-Jucar	573980	4436720	910.76	SI	80	150
67	Restaurante La Ceca	573447	4436804	907.59	SI	150	175
68	Paseo Fluvial	573304	4436792	905.64	SI	50	50
73	Caseta SAIH Júcar en Cuenca	573082	4436216	902.76	SI	50	80
86	Ruinas río moscas	572732	4435345	901.86	NO	175	250
87	Parque Fluvial Ronda Oeste	572681	4435518	901.81	SI	100	250
93	Caseta conducción	571423	4435222	899.21	SI	80	175
97	Urbanización El Zargatón	570447	4435342	897.49	SI	150	225

Tabla 11: Afecciones registradas para el caudal de emergencia del tramo 2.

Las diferencias fundamentales con respecto al caudal de alarma, además de la ya comentada para la urbanización del Zargatón, son la afección de unas ruinas situadas en un parque fluvial de Cuenca cerca del río Moscas el cual es afluente por la margen izquierda del río Júcar, y la afección leve en unas naves pertenecientes a un club de piragüismo ubicado en las hoces que forma el río Júcar antes de llegar a la ciudad de Cuenca.



8. CONCLUSIONES

Del presente Trabajo de Fin de Máster “*Estudio Hidráulico de Afecciones para la redacción de las Normas de Explotación de la Presa de La Toba (Cuenca)*”, se han obtenido las siguientes conclusiones:

- Se han definido los caudales característicos de alerta, alarma y emergencia para 55 km de cauce aguas abajo de la presa de La Toba, englobando en este alcance la ciudad de Cuenca, siendo esta una de las principales ciudades que atraviesa este cauce en su recorrido. Además, el estudio ha sido dividido en dos tramos para identificar con un mayor detalle los caudales de daños para las afecciones. Los resultados de los caudales característicos obtenidos se recogen en la siguiente tabla.

TRAMO	DESCRIPCIÓN	Q ALERTA	Q ALARMA	Q EMERGENCIA
1	Presa de La Toba – Azud de la Torre	50	100	200
2	Azud de la Torre – EDAR de Cuenca	80	150	175

Tabla 12: Resumen de los caudales característicos para los tramos de estudio.

- Se ha modelado con el software informático IBER un área de 21,8 km² mediante dos modelos independientes, cuyos mallados suman un total 3,16 millones de elementos triangulares de lado igual o menor a cuatro metros. Para la realización de estos modelos se ha obtenido un coeficiente de rugosidad de Manning en función del uso del suelo y se han introducido en el modelo 31 puentes y 2 obras de drenaje transversal.
- Se han consultado múltiples visores cartográficos y se han realizado visitas de campo para identificar tanto las posibles afecciones como las obras de paso del cauce. Identificando un total de 98 potenciales afecciones en el área de estudio, las cuales han sido inventariadas, y 31 puentes, que además de ser inventariados han sido croquizados e introducidos en el modelo.
- Se ha realizado un análisis de las afecciones a partir de un amplio rango de caudales simulados con IBER. En total se han simulado 13 caudales para cada uno de los tramos, siendo el menor caudal simulado de 50 m³/s y el mayor de 770 m³/s. A partir de este análisis se han obtenido los caudales de característicos de alerta, alarma y emergencia,



y se han generado tablas informativas indicando qué calado y velocidad hay en cada una de las afecciones identificadas para cada uno de los caudales simulados.

- Por último, se han generado planos con escala 1:5000 de toda la zona de estudio, plasmando en estos la lámina de agua que alcanzan los caudales de alerta, alarma y emergencia, e indicando también en estos las afecciones y obras de paso identificadas.