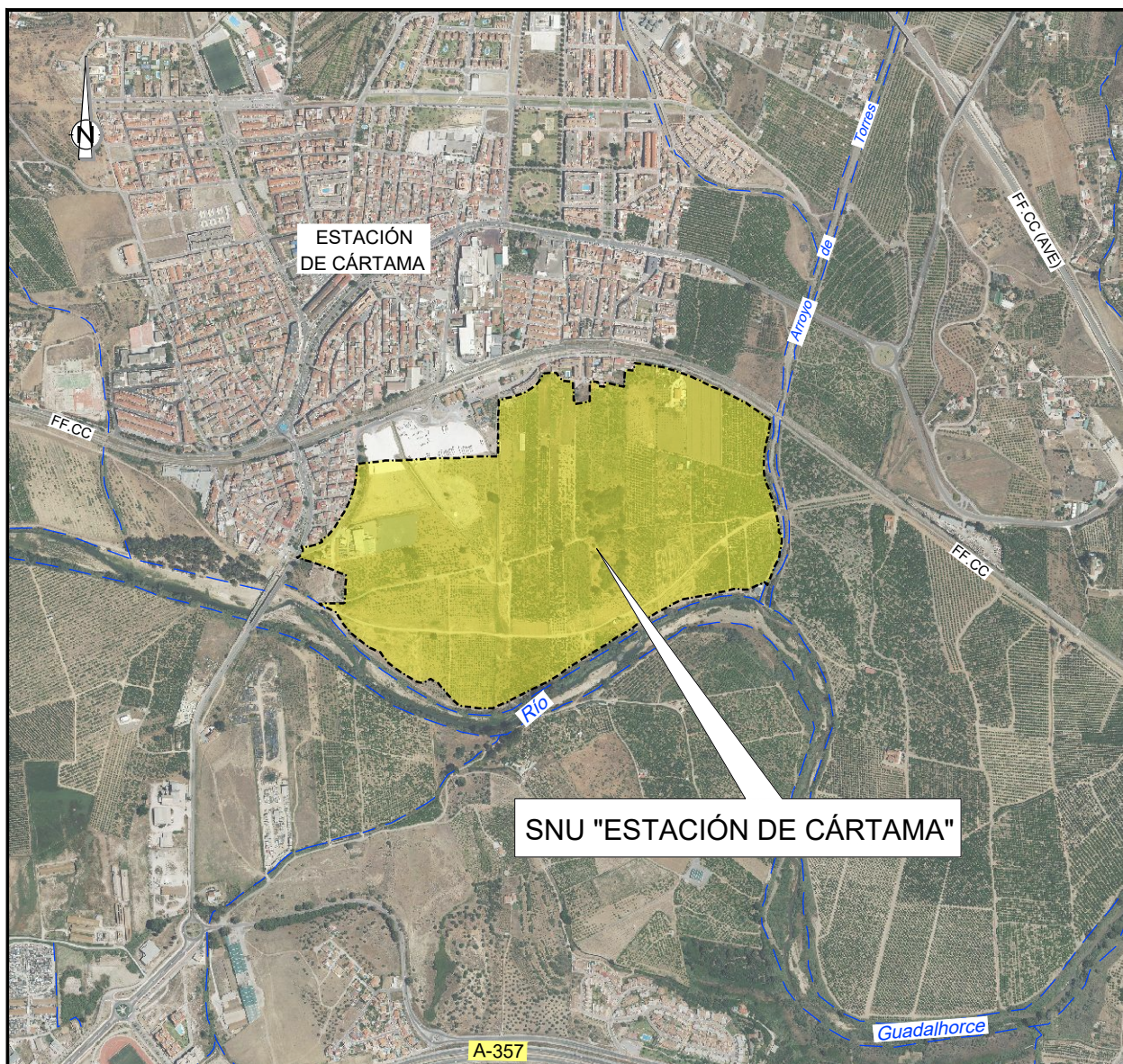


DOCUMENTACIÓN COMPLEMENTARIA-MODIFICADA
ENERO 2022 DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO E
HIDRÁULICO PARA LA INNOVACIÓN-MODIFICACIÓN DE
ELEMENTOS DEL PGOU DE CÁRTAMA RELATIVO AL
ÁMBITO DE ACTUACIÓN SNU "ESTACIÓN DE CÁRTAMA"



PROMOTOR:



2



C/ ARENAL Nº1 - MÁLAGA

ENERO - 2022

DOCUMENTACIÓN COMPLEMENTARIA-
MODIFICADA ENERO 2022 DEL ESTUDIO
HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA LA
INNOVACIÓN-MOFICACIÓN DE ELEMENTOS
DEL PGOU DE CÁRTAMA RELATIVO AL
ÁMBITO DE ACTUACIÓN SNU “ESTACIÓN DE
CÁRTAMA”

MEMORIA, ANEJOS Y PLANOS

ÍNDICE

DOCUMENTO N°1. MEMORIA

MEMORIA

ANEJOS A LA MEMORIA

- ANEJO N°1 ESTUDIO HIDROLÓGICO
- ANEJO N°2 ESTUDIO HIDRÁULICO

DOCUMENTO N°2 PLANOS

PLANOS

- 1. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO (1 HOJA)
- 2. SITUACIÓN ACTUAL T-500 (2 HOJAS)
- 3. RÍO GUADALHORCE SITUACIÓN ACTUAL T100 (2 HOJAS)
- 4. RÍO GUADALHORCE VÍA DE INTENSO DESAGÜE (VID) (2 HOJAS)
- 5. ARROYO TORRES SITUACIÓN ACTUAL T-100 (2 HOJAS)
- 6. ARROYO TORRES. VÍA DE INTENSO DESAGÜE (VID) T-100 (2 HOJAS)
- 7. PROPUESTA DEFENSA DEL SNU “ESTACIÓN DE CÁRTAMA” T-500 (2 HOJAS)
- 8. ZFP. SITUACIÓN ACTUAL Y DEFENSA

DOCUMENTO N° 1

MEMORIA

**DOCUMENTACIÓN COMPLEMENTARIA-MODIFICADA ENERO 2022 DEL
ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA LA INNOVACIÓN-
MODIFICACIÓN DE ELEMENTOS DEL PGOU DE CÁRTAMA RELATIVO AL
ÁMBITO DE ACTUACIÓN SNU “ESTACIÓN DE CÁRTAMA”ÍNDICE DE LA
MEMORIA**

1. ANTECEDENTES	1
2. OBJETO DEL ESTUDIO	2
3. DATOS DE PARTIDA	2
4. METODOLOGÍA UTILIZADA.....	4
5. SOLUCIÓN ADOPTADA	5
6. ENCAJE DE LA PROPUESTA DE ACTUACIÓN EN BASE A LA LEGISLACIÓN DE AGUAS (ZONAS INUNDABLES DE ORIGEN FLUVIAL).....	6
6.1. INTRODUCCIÓN	6
6.2. LEGISLACIÓN NACIONAL	6
6.2.1. <i>Real Decreto Legislativo de Aguas, de 20 de julio de 2001</i>	<i>6</i>
6.2.2. <i>Real Decreto 849/1986, de 11 de abril por que el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas</i>	<i>7</i>
6.3. ANÁLISIS DE LA GUÍA TÉCNICA DE APOYO A LA APLICACIÓN DEL REGLAMENTO DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO EN LAS LIMITACIONES A LOS USOS DEL SUELO EN LAS ZONAS INUNDABLES DE ORIGEN FLUVIAL.....	13
6.3.1. <i>Competencia de los Organismos de cuenca</i>	<i>13</i>
6.4. ANÁLISIS DEL FOLLETO PARA LA INTERPRETACIÓN DEL REGLAMENTO DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO EN LAS LIMITACIONES A LOS USOS DEL SUELO EN LAS ZONAS INUNDABLES DE ORIGEN FLUVIAL.....	17
6.5. ANÁLISIS DE LA MODIFICACIÓN DEL ARTÍCULO 29. MODIFICACIÓN DE LA LEY 9/2010, DE 30 DE JULIO, DE AGUAS DE ANDALUCÍA, RECOGIDO EN EL DECRETO-LEY 26/2021, DE 14 DE DICIEMBRE, POR EL QUE SE ADOPTAN MEDIDAS DE SIMPLIFICACIÓN ADMINISTRATIVA Y MEJORA DE LA CALIDAD REGULATORIA PARA LA REACTIVACIÓN ECONÓMICA EN ANDALUCÍA.....	18
7. CONTENIDO.....	20
8. CONCLUSIÓN	21

DOCUMENTACIÓN COMPLEMENTARIA-MODIFICADA ENERO 2022
DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA LA INNOVACIÓN-
MODIFICACIÓN DE ELEMENTOS DEL PGOU DE CÁRTAMA RELATIVO AL
ÁMBITO DE ACTUACIÓN SNU “ESTACIÓN DE CÁRTAMA”

1. ANTECEDENTES

Es de gran interés para Frigoríficos Andaluces de Conservas de Carne, S.A. (FACCSA) promover la innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” para posibilitar la ampliación de sus instalaciones cerca de su actual gran complejo industrial cárnico en Cártama Estación, en el T.M. de Cártama (Málaga).

A la vista de la magnitud de la propuesta y la falta de superficie disponible en el actual complejo industrial para llevar a cabo los procesos de producción planeados, se ha decidido por parte de la propiedad, tras consultar con el Ayuntamiento de Cártama y responsables de diversas áreas de la Junta de Andalucía, promover la innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama”.

Se propone que estas nuevas instalaciones puedan llevarse a cabo bajo la figura de planeamiento de Suelo Urbanizable Sectorizado Ordenado, el cual se desglosa como sigue:

- Una zona de uso Industrial de 172.746,925 m² (120.922,84 m² edificable)
- Dos parcelas de Equipamiento Público con una superficie total de 18.869,52 m² (y la misma superficie edificable)
- Tres parcelas de Áreas Libres Públicas con una superficie total de 123.773,76 m².

- Dos parcelas de Sistemas Técnicos con una superficie total de 17.027,92 m²
- Unos viales con una superficie total de 52.069,49 m²
- Un Sistema General de Áreas Libres, lindando con el Dominio Público Hidráulico, de 112.190,09 m²

La superficie total del Suelo Urbanizable Sectorizado Ordenado es de 496.677,69 m²

El área de actuación comprende terrenos cercanos al actual complejo industrial FACCSA, si bien se sitúa en zona inundable del río Guadalhorce y del arroyo Torres.

La implantación de esta industria sólo puede llevarse a cabo estableciendo a través del planeamiento las condiciones urbanísticas para llevarlo a cabo.

2. OBJETO DEL ESTUDIO

El alcance del presente documento es desarrollar un Estudio en detalle, figura recogida por la Ley de Aguas para Andalucía, del tramo del río Guadalhorce y del arroyo Torres a su paso por el Área de influencia de la innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” que resuelva el condicionamiento impuesto en él respecto a la inundabilidad de los terrenos.

Se compatibilizará el desarrollo del Sector con la legislación de Aguas. En ningún caso se propondrán medidas de encauzamiento que degraden al Dominio Público Hidráulico.

3. DATOS DE PARTIDA

Para realizar el presente Estudio se ha partido del “Estudio Hidráulico para la Prevención de Inundaciones y para la Ordenación del río Guadalhorce”, en adelante

EHPIOG, asumiendo en su totalidad la hidrología desarrollada en su Anejo N°7 Hidrología.

Asimismo, se ha adoptado la topografía utilizada en el EHPIOG, aprovechando que el entorno de la zona de estudio no ha variado desde que se realizó.

Estas dos medidas otorgan al presente Estudio homogeneidad con el EHPIOG.

Asimismo, el programa de cálculo hidráulico utilizado, HEC RAS 6.1, es el mismo que el utilizado en el EHPIOG, si bien una versión más reciente que permite realizar simulaciones en 2D. Debido a esto, y en aras de realizar un análisis exhaustivo de la zona de estudio y tener una mayor certeza de que la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” fuera viable y robusta, se decidió realizar una modelización en régimen variable, a partir de los hidrogramas contenidos en el EHPIOG.

Se recalculará nuevamente la Vía de Intenso Desagüe del río Guadalhorce en la zona de influencia del planeamiento, pues será la que marque con un mayor rigor legal hasta dónde se puede defender la actuación frente a la inundabilidad, puesto que la recogida en el EHPIOG no resulta fiable.

A modo de síntesis, y a partir de las recientes derogaciones legales, es fundamental respetar lo siguiente:

- La no degradación del Dominio Público Hidráulico
- El garantizar la continuidad ecológica del Dominio Público Hidráulico y sus zonas de servidumbre
- La no afección a terceros con la adopción de medidas de defensa
- Evitar realizar ninguna actuación dentro de la Vía de Intenso Desagüe que modifiquen el régimen de corrientes, es decir, debe evitarse realizar ninguna actuación en su interior.

- Evaluar la Zona de Flujo Preferente (ZFP) antes y después de la actuación.

4. METODOLOGÍA UTILIZADA

Con la herramienta de cálculo hidráulico antes comentada (HEC RAS 6.1), se ha realizado una serie de simulaciones de la superficie inundable para el período de retorno de 500 años, tras la implantación de la defensa de la plataforma propuesta para la innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama”, persiguiendo por un lado evaluar actualmente la inundabilidad, la VID, la ZIP (y consecuentemente la ZFP); y por otro, el comportamiento fluvial tras el desarrollo del planeamiento.

Se pretende proponer una defensa ante inundaciones de la plataforma para la futura ampliación de las instalaciones de FACCSA MISSA **sin afectar a terceros, como se requiere en la legislación vigente y evitando que la superficie de la zona de actuación resulte anegada.**

Como se ha comentado, para proponer las actuaciones de defensa, es necesario obtener primeramente un modelo de la situación actual validado para posteriormente plantear las medidas sobre él que permitan el desarrollo del planeamiento de la innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama”. Este modelo se ha realizado en régimen variable 2D.

Es fundamental para realizar un correcto análisis hidráulico establecer unos coeficientes de rugosidad de Manning que tengan una solidez justificativa. En base a ello, se ha utilizado la información recogida en el CORINE Land Cover y su interpretación en cuanto a los coeficientes de rugosidad en la *“Guía metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografía de zonas inundables”*, del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.

Asimismo, es necesario obtener algunas figuras hidráulicas que tienen repercusión en la legislación, como es la Vía de Intenso Desagüe (VID) del río Guadalhorce y del arroyo Torres. La VID se determinó como el límite para las

actuaciones de defensa, ya que éstas pueden producir una perturbación del régimen de corrientes si se realizan en su interior. La ordenación que se presenta dentro de la VID no provoca alteración de la orografía actual y se acomoda a Áreas Libres (Zonas Verdes) y a Sistema General de Áreas Libres (Parque fluvial), todas ellas dentro del futuro Corredor Verde del Valle del Guadalhorce y compatible con ser inundable.

Como es necesario justificar que la ocupación de un espacio que actualmente es inundable no produce afección a terceros, particularmente en el caso del río Guadalhorce, se han realizado, como se ha comentado, dos simulaciones hidráulicas mediante el programa informático HC-RAS 6.1: “Situación Actual” y “Propuesta de defensas SNU T500”. Una vez obtenidas, se han comparado para determinar el grado de afección a terceros, la variación de calados y velocidades; y el análisis de la alteración de la Zona de Flujo Preferente.

5. SOLUCIÓN ADOPTADA

La defensa que se propone en el presente Estudio defiende la plataforma propuesta para la futura ampliación de las instalaciones de FACCSA MISSA como se puede observar en los planos del Documento N°2.

Para ello se propone una defensa que respeta lo recogido en la legislación vigente, en la que se especifica que no se podrán realizar entubamientos, embovedamientos y canalizaciones duras. Se ha querido ir más allá, pues con ánimo de respetar lo máximo posible el medio ambiente, no se actúa en ningún caso en los cauces de aguas bajas del río Guadalhorce y del arroyo Torres, ni se modifica su preciada vegetación de ribera. El Dominio Público Hidráulico no se degrada en ningún caso.

La superficie defendida, que comprende los suelos con Uso Industrial (I), Sistemas Técnicos (ST.1 y ST.2), de Equipamiento Público (SIPS.1 y SIPS.2), de Áreas Libres (ZV1 y ZV2) y Viales; asciende a 274.190,03 m². La propuesta se basa en realizar una defensa mediante un vial perimetral que permita desarrollar la futura ampliación de las instalaciones de FACCSA MISSA dentro del Sector. En ningún caso se invadirá la Vía de Intenso Desagüe del río Guadalhorce y del arroyo Torres. El vial que servirá de elemento defensivo frente a las avenidas extraordinarias se erigirá a

una cota tal que otorgue un resguardo de 1 metro entre la cota superior de la rasante y el máximo nivel de la lámina de agua para el período de retorno de 500 años.

Como es necesario justificar que la ocupación de un espacio que actualmente es inundable no produce afección a terceros, se realizarán simulaciones hidráulicas mediante el programa informático HC-RAS 6.1 que permitan la comprobación de este hecho.

6. ENCAJE DE LA PROPUESTA DE ACTUACIÓN EN BASE A LA LEGISLACIÓN DE AGUAS (ZONAS INUNDABLES DE ORIGEN FLUVIAL)

6.1. INTRODUCCIÓN

El presente análisis de la legislación en materia de aguas, concretamente a la inundabilidad, en lo que refiere a los planeamientos urbanos se enmarca bajo una aproximación técnica a los textos, persiguiendo argumentar, fundamentalmente, si en la zona inundable exterior a la Vía de Intenso Desagüe, es posible realizar actuaciones de defensa para desarrollos urbanísticos.

Se avanza que en la legislación el enfoque primordial para la zona inundable es el de **garantizar la seguridad de las personas y bienes**, no habiéndose encontrado mención a criterios medioambientales, los cuales se reservan para el Dominio Público Hidráulico y, en todo caso, para su anexa Zona de Policía.

Los usos en las zonas inundables están claramente definidos, pero la posibilidad de que una zona inundable pueda dejar de serlo (y por tanto sin efectos sus usos asociados) mediante obras de defensa no queda nítidamente recogida, en nuestra opinión, en la legislación.

6.2. LEGISLACIÓN NACIONAL

6.2.1. Real Decreto Legislativo de Aguas, de 20 de julio de 2001

Esta es la Ley de mayor rango en lo que a Aguas se refiere a nivel estatal. En el Artículo 11 define lo que son las zonas inundables:

Artículo 11. Las zonas inundables:

Los terrenos que puedan resultar inundados durante las crecidas no ordinarias de los lagos, lagunas, embalses, ríos o arroyos, conservarán la calificación jurídica y la titularidad dominical.

Los Organismos de Cuenca darán traslado a las Administraciones competentes en materia de ordenación del territorio y urbanismo de los datos y estudios disponibles sobre avenidas, al objeto de que se tengan en cuenta en la planificación del suelo y en particular en las autorizaciones de usos que se acuerden en las zonas inundables.

El Gobierno, por Real Decreto, podrá establecer las limitaciones en el uso de las zonas inundables que estime necesarias para garantizar la seguridad de las personas y bienes. Los Consejos de Gobierno de las Comunidades Autónomas podrán establecer, además normas complementarias de dicha regulación.

En este primer artículo ya se recogen dos aspectos importantes:

1. Lo que se limitan son usos en las zonas inundables
2. Lo que se quiere garantizar es la seguridad de las personas y bienes, y no aspectos medioambientales o de otra índole.

6.2.2. Real Decreto 849/1986, de 11 de abril por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas

La idea principal del Reglamento para el marco que se aborda es que en el texto se indica lo que no se puede hacer en la Zona de Flujo Preferente, sin distinguir la naturaleza de sus dos componentes (VID y Zona de Inundación Peligrosa). Pero no se menciona en ningún caso que no se puede modificar o reducir la Zona de Flujo Preferente para liberarla de tal consideración.

Lo que sí expresa claramente es que el **Organismo de Cuenca sólo podrá autorizar aquellas actividades no vulnerables frente a las avenidas y que no supongan una reducción significativa de la capacidad de desagüe de dicha vía**. Este último aspecto es muy importante, porque va a

aparecer nuevamente en otros textos legales. Es decir, no se puede realizar actuaciones que reduzcan el área por donde principalmente circula el caudal del río o del río o arroyo pues esto supondría modificar considerablemente la zona inundable y la distribución de la velocidad del flujo, empeorando la seguridad de las personas y bienes de terceros.

6.2.2.1. Artículo 9

“ ...

La zona de flujo preferente es aquella zona constituida por la unión de la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo durante las avenidas, o vía de intenso desagüe, y de la zona donde, para la avenida de 100 años de período de retorno, se pueden producir graves daños sobre las personas y los bienes, quedando delimitado su límite exterior mediante la envolvente de ambas zonas.

*A los efectos de la aplicación de la definición anterior, 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*
- c) Que el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m²/s*

Se entiende por vía de intenso desagüe la zona por la que pasaría la avenida de 100 años de período de retorno sin producir una sobreelevación mayor que 0,3 m, respecto a la cota de la lámina de agua que se produciría con esa misma avenida considerando toda la llanura de inundación existente.

Por tanto, en este artículo se define el umbral de seguridad para las personas y bienes, la Zona de Inundación Peligrosa (1 metro de calado, 1 m/s de velocidad del caudal o que el producto de calado y velocidad sea superior a 0,5 m²/s) y por otro se define el área por donde principalmente desagua la vía fluvial (Vía de Intenso Desagüe).

Por último señalamos un matiz importante de este artículo: define que las personas y bienes pueden sufrir graves daños si se ven afectadas, para el período de retorno de 100 años, por un calado que sea superior a 1 m, que la velocidad de la corriente sea superior a 1 m/s o que el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m²/s. Por lo tanto, si gracias a una obra de defensa no están afectadas por ninguna de esas variables, no sufrirían daños. Es decir, en nuestra opinión, esta zona está pensada como umbral para usos dentro de la zona inundable, pero no tiene ninguna otra consideración de tipo hidráulica fluvial, como sí la tiene la Vía de Intenso Desagüe.

6.2.2.2. Artículo 9 bis. Limitaciones a los usos en la zona de flujo preferente

Con el objeto de garantizar la seguridad de las personas y bienes, de conformidad con lo previsto en el artículo 11.3 del TRLA, y sin perjuicio de las normas complementarias que puedan establecer las comunidades autónomas, se establecen las siguientes limitaciones en los usos del suelo en la zona de flujo preferente:

1. *En los suelos que se encuentren en la fecha de entrada en vigor del real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, en la situación básica de suelo rural del texto refundido de la Ley del Suelo y Rehabilitación Urbana aprobado por el Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, no se permitirá la instalación de nuevas:*

.....

b. *Edificaciones, obras de reparación o rehabilitación que supongan un incremento de la ocupación en planta o del volumen de edificaciones existentes, cambios de uso o **que incrementen la vulnerabilidad de la seguridad de las personas o bienes frente a las avenidas**, garajes subterráneos, sótanos y cualquier edificación bajo rasante e instalaciones permanentes de aparcamientos de vehículos en superficie*

...

d. *Depuradoras de aguas residuales urbanas, salvo en aquel los casos en los que se compruebe que no existe una ubicación alternativa o, en el caso de pequeñas poblaciones, **que sus sistemas de depuración sean compatibles con las inundaciones**....*

g. **Rellenos que modifiquen la rasante del terreno Y supongan una reducción significativa de la capacidad de desagüe.** *Este relleno no es de aplicación a los rellenos asociados a las actuaciones*

contempladas en el artículo 126 ter, que se regirán por lo establecido en dicho artículo.

i.Las obras de protección frente a inundaciones se regirán por lo establecido en los artículos 126, 126 bis y 126 ter.

Efectivamente, el Reglamento ya define aquí limitaciones en la Zona de Flujo Preferente, entre ellas, sus usos. Pero no señala en ningún caso que la Zona de Flujo Preferente sea intocable o inmodificable. Sí parece claro que una de las dos componentes de la Zona de Flujo Preferente, la Vía de Intenso Desagüe, no pueda ser modificada, dado que si se realizara alguna actuación en su interior, muy probablemente se modificara el régimen de corrientes y por tanto disminuiría su capacidad de desagüe.

Podemos ya exponer, como se ha esbozado en el punto anterior, que para que un suelo deje de estar considerado dentro del ámbito de la Zona de Flujo Preferente, debe ser protegido y puesto a salvo de las inundaciones. Normalmente la actuación usual es elevar el terreno, si bien también se pueden realizar motas, muros o diques. El Artículo anterior en su apartado g) recoge que no se pueden realizar rellenos que modifiquen la rasante del terreno Y supongan una reducción significativa de la capacidad de desagüe. **Por lo tanto, podemos interpretar que sí se pueden realizar obras de defensa (rellenos) siempre y cuando no se modifique la capacidad de desagüe, esto es, se realicen fuera de la Vía de Intenso Desagüe.**

En ningún caso se relacionan estos rellenos o protecciones contra inundaciones a la calificación del suelo o al uso que tienen (sea urbano consolidado o no).

6.2.2.3. Artículo 9 quáter. Régimen especial en municipios con más de 1/3 de su superficie incluida en la zona de flujo preferente

- 1. En los municipios en que al menos 1/3 de su superficie esté incluida en la zona de flujo preferente o que por la morfología de su territorio tengan imposibilidad material para orientar sus futuros desarrollos hacia zonas no inundables, se podrá permitir con o r régimen especial la realización de nuevas edificaciones o usos asociados en la zona de flujo preferente, siempre que cumplan los siguientes*

requisitos y sin perjuicio de las normas adicionales que establezcan las comunidades autónomas:

- a. **Están ubicados fuera de la zona de policía**
- b. **No incrementen de manera significativa el riesgo de inundación existente. Se considera que se produce un incremento significativo del riesgo de inundación cuando a partir de la información obtenida de los estudios hidrológicos e hidráulicas, que en caso necesario sean requeridos para su autorización y que definen la situación antes de la actuación prevista y después de la misma, no se deduzca un aumento de la zona inundable en terrenos altamente vulnerables**
- c. **No representen un aumento de la vulnerabilidad de la seguridad de las personas o bienes frente a las avenidas, al haberse diseñado teniendo en cuenta el riesgo al que están sometidos, cumpliendo además con lo establecido en el artículo 9 ter.1.f).**

Por lo tanto, el Reglamento no se opone a que, en este caso particular (que no es el que se contempla en el presente Estudio para la actuación SNU “Estación de Cártama”), se realicen nuevas edificaciones. Indica que estas actuaciones (edificaciones u otros usos) tienen que convivir con el riesgo de inundabilidad, **por lo que se entiende que siguen siendo inundables**. Ante esto se puede considerar que si se realizan las correspondientes obras de defensa, un suelo deja de ser inundable, por lo que no se estaría hablando de este escenario. **Lo que se está planteando es permitir la construcción de edificaciones y usos dentro de zona inundable que después de su realización, seguirá siendo inundable.**

Es muy interesante, en cualquier caso, analizar los condicionantes para estas actuaciones, que ya se presentaba anteriormente: las actuaciones deben estar fuera de Zona de Policía y no pueden aumentar significativamente el riesgo de inundación (empeorar la seguridad de personas y bienes) existente, aumentando la extensión de la zona inundable en terrenos altamente vulnerables. Es decir, en rigor, se podría aumentar el riesgo en aquellos terrenos que no fueran vulnerables.

6.2.2.4. Artículo 126 bis. Condiciones para garantizar la continuidad fluvial.

1. *El Organismo de cuenca promoverá el respeto a la continuidad longitudinal y lateral de los cauces compatibilizándolo con los usos actuales del agua y las infraestructuras hidráulicas recogidas en la planificación hidrológica.*

2. *En los condicionados de las nuevas concesiones y autorizaciones o de la modificación o revisión de las existentes, que incluyan obras transversales en el cauce el Organismo de cuenca exigirá la instalación y adecuada conservación de dispositivos que garanticen su franqueabilidad por la ictiofauna autóctona. Igual exigencia tendrá lugar para las obras de este tipo existentes, vinculadas a concesiones y autorizaciones que incluyan esta obligación en su condicionado o que deban incorporar tales dispositivos en aplicación de la legalidad vigente.*

Se podrá prescindir temporalmente de estos dispositivos por criterios ambientales o por inviabilidad técnica, a justificar adecuadamente en cada caso. En función de la evolución ambiental del tramo o de la mejora de las técnicas, el Organismo de cuenca podrá exigir su instalación cuando las condiciones así lo aconsejen.

3. *En las obras y en la tramitación de expedientes de autorizaciones y concesiones que correspondan a obras de defensa frente a inundaciones, el Organismo de cuenca tendrá en cuenta los posibles efectos sobre el estado de las masas de agua. **Salvo casos excepcionales, solo podrán construirse obras de defensa sobreelevadas lateralmente a los cauces en la zona de flujo preferente cuando protejan poblaciones e infraestructuras públicas existentes.***

En nuestra opinión, este apartado se refiere a implantar muros o motas inmediatamente en el límite del cauce a ambos lados, es decir, del Dominio Público Hidráulico. De hecho, el título del Artículo 126 se titula “Obras dentro y sobre el Dominio Público Hidráulico”; concretamente el enunciado del Artículo 126 bis es “Condiciones para garantizar la continuidad fluvial”. Nuestro criterio es que la obra de defensa que se ha diseñado para la Actuación SNU “Estación de Cártama” no se acomoda a la definición de “obra de defensa sobreelevada lateralmente a los cauces”, pues no acompaña paralela y longitudinalmente al cauce y solo se construye en la

margen izquierda de la llanura de inundación del río Guadalhorce y en la derecha del arroyo Torres. A nuestro entender, este artículo no aplica a la actuación, ya que en esencia se refiere a defender la continuidad longitudinal y transversal de los ríos y arroyos para funcionar como corredores ecológicos y de biodiversidad.

6.3. ANÁLISIS DE LA GUÍA TÉCNICA DE APOYO A LA APLICACIÓN DEL REGLAMENTO DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO EN LAS LIMITACIONES A LOS USOS DEL SUELO EN LAS ZONAS INUNDABLES DE ORIGEN FLUVIAL

Este documento es una guía técnica de apoyo para la aplicación del Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico. No tiene trascendencia legal, pero es muy apropiado estudiarlo pues se puede extraer la naturaleza y el criterio de las consideraciones del RDPH.

En la modificación del RDPH se definió la Zona de Flujo Preferente, estableciéndose que en estas zonas el Organismo de Cuenca **sólo podrá autorizar aquellas actividades no vulnerables frente a las avenidas y que no supongan una reducción significativa de la capacidad de desagüe de dicha vía.**

6.3.1. Competencia de los Organismos de cuenca

En relación con las competencias de los Organismos de Cuenca, su ámbito de gestión se centra, fundamentalmente, en la administración y control del dominio público hidráulico (art. 23 TRLA) a través de la autorización de determinadas actividades en el dominio público hidráulico y la zona de policía de los cauces (art. 6 TRLA) y la emisión de informes sobre los actos y planes del resto de administraciones (art. 25.4 TRLA).

Artículo 14 bis.5 del RDPH

“5. En relación con las zonas inundables, se distinguirá entre aquéllas que están incluidas dentro de la Zona de Policía que define el artículo 6.1. b) del TRLA, en la que la ejecución de cualquier obra o trabajo precisará autorización administrativa de los Organismos de cuenca de acuerdo con el artículo 9.4, de

aquellas otras zonas inundables situadas fuera de dicha zona de policía, en las que las actividades serán autorizadas por la administración competente con sujeción, al menos, a las limitaciones de uso que se establecen en este artículo, y al informe que emitirá con carácter previo la Administración hidráulica de conformidad con el artículo 25.4 del TRLA, a menos que el correspondiente Plan de Ordenación Urbana, otras figuras de ordenamiento urbanístico o planes de la Administración, hubieran sido informados y hubieran recogido las oportunas previsiones formuladas al efecto.”

Según la Guía Técnica, **los Organismos de Cuenca no tienen amparo legal para autorizar actividades en toda la zona inundable, simplemente, informan al planeamiento urbanístico fuera de la Zona de Policía. Una vez informado, son las administraciones con atribuciones en urbanismo y ordenación del territorio las competentes para dar autorizaciones.** A la hora de emitir éstas, los Organismos de Cuenca son únicamente competentes para las autorizaciones en la Zona de Policía de acuerdo con los supuestos que marca el TRLA y el RDPH.

Los Organismos de Cuenca han de emitir el informe del artículo 25.4 del TRLA en tres supuestos diferentes:

- a. Que se afecte al régimen de las aguas continentales*
- b. Que se afecte al aprovechamiento de las aguas continentales*
- c. Que se afecte a los usos permitidos en terrenos de dominio público hidráulico y en sus zonas de servidumbre y policía.*

Según la Guía, el régimen de las aguas continentales se refiere al modo de gobernarse o regirse los caudales circulantes en un cauce. Para que se afecte, es necesario que se modifique:

- 1. El régimen de caudales: cantidad de agua que pasa por un punto de forma habitual, el cual se puede modificar fundamentalmente por actividades que afecten al aprovechamiento de aguas.*
- 2. **El régimen de corrientes:** forma en la que circula el agua en avenidas. En este caso, todo lo que se encuentre fuera de la Zona de Flujo Preferente, por la propia definición de esta zona, no modifica el régimen de corrientes.*

Por ello, en materia de riesgos de inundación, cuando se emita el informe del artículo 25.4 del TRLA sobre los actos y planes que las Comunidades Autónomas y Entidades Locales hayan de aprobar en el ejercicio de sus competencias, el Organismo de Cuenca deberá:

- Analizar la correcta inclusión en el acto o plan de la información cartográfica relativa a los cauces de dominio público hidráulico, la zona de servidumbre y la zona de policía. A nálisis de l a calidad de l a cartografía de i nundabilidad incluida, y en es pecial, de l a i nformación em pleada y c riterios pa ra l a delimitación de la zona de flujo preferente.*
- Analizar si el acto o plan puede af ectar al régimen de cor rientes de las aguas continentales, analizando si las actuaciones previstas pueden modificar el t amaño de l a zona de flujo p referente (ZFP) y af ectar a terceros. Si en e l acto o pl an no aumenta el tamaño de l a zona de flujo preferente, el informe debería ser en este aspecto positivo, puesto que no se modifica el régimen de corrientes.*

Por tanto, implícitamente según lo anterior, se pueden permitir actuaciones dentro de la Zona de Flujo Preferente, siempre y cuando no se afecte al régimen de corrientes. Normalmente esto se traduce en que las actuaciones se ubiquen fuera de la Vía de Intenso Desagüe.

Se reproduce a continuación la tabla que intenta resumir las competencias que en estos términos tienen los Organismos de cuenca.

Zona	Competencia de los Organismos de cuenca (administraciones hidráulicas)	Observaciones
Dominio Público Hidráulico (superficie inundada en máximas crecidas ordinarias)	Delimitación y autorización de cualquier actividad que en los términos del TRLA quiera ejecutarse.	Solo pueden autorizarse actuaciones para aprovechamiento del agua o que no afecten a terceros. (art. 50 y 51 TRLA)
Zona de policía (ZP) (100 metros a cada lado del dph)	Autorización de las actividades que fija el artículo 9 del RDPH que, en general, son las que puedan suponer obstáculos para la corriente en régimen de avenidas o que puedan ser causa de deterioro del estado del dph. Los OOCC emitirán informe en los términos del artículo 25 del TRLA, teniendo en cuenta, junto con la disponibilidad de agua y afecciones a la calidad del agua, las limitaciones de usos del suelo establecidas para la ZFP y para la zona inundable.	Normativa ya incluida en la redacción inicial de la Ley de Aguas de 1985 y completada en el texto refundido de la Ley de Aguas de 2001 (modificado por la Ley 11/2005).
<u>Zona de flujo preferente (ZFP)</u> <u>(ancho variable en función de la zona inundable de 100 años)</u>	<u>Sólo podrán ser autorizadas por los OOCC en ZP aquellas actividades no vulnerables frente a las avenidas y que no supongan una reducción significativa de la capacidad de desagüe de dichas zonas, en los términos previstos en los artículo 9 bis, 9 ter y 9 quater del RDPH.</u> Si la ZFP es de mayor extensión que la ZP los OOCC emitirán igualmente informe en los términos del artículo 25.4 del TRLA.	Introducida por modificación al RDPH en el año 2008 y completada en 2016. La modificación de los límites de la zona de policía solo podrá ser promovida por la Administración General del Estado, autonómica o local.
Zona inundable (500 años)	Los OOCC fuera de la ZP y ZFP no tienen competencias para autorizar ninguna actuación. Únicamente emiten informe al planeamiento según el 25.4 del TRLA que vele por el cumplimiento de la normativa de aguas.	Este informe no será necesario para los actos o planes derivados si el correspondiente planeamiento ha sido informado ya por el Organismo de cuenca y ha recogido las oportunas previsiones formuladas al efecto.

Como hay cuatro casuísticas en cuanto a estas zonas, a continuación se concreta aún más, y siempre según la Guía Técnica, cómo proceder en cuanto a las autorizaciones en zona de policía o la emisión del informe del artículo 25.4 del TRLA.

Zona	Autorización por parte del OC en zona de policía	Informe del OC sobre planeamiento urbanístico (artículo 25.4 del TRLA)
1: Zona de flujo preferente dentro zona de policía.	Sí es necesaria. Se informa conforme a los artículos 9 bis, 9 ter o 9 quater.	Se informa conforme a los artículos 9 bis, 9 ter o 9 quater. Régimen de corrientes: si se aumenta el tamaño de la ZFP será desfavorable.
2: Zona inundable dentro de zona de policía.	Sí es necesaria. Se informa conforme al artículo 14 bis.	Se informa conforme al artículo 14 bis.
3: Zona de flujo preferente fuera de zona de policía.	No es necesaria. Si se solicita autorización al OC se comunicará que no es necesaria y se analizará el caso advirtiendo de la viabilidad o no de la actuación.	Si se prevé un uso incorrecto del suelo conforme a los artículos 9 bis, 9 ter o 9 quater se advertirá en el informe. <u>Régimen de corrientes: si se aumenta el tamaño de la ZFP será informe desfavorable.</u>
4: Zona inundable fuera de zona de policía.	No es necesaria. Si se solicita autorización al OC se comunicará que no es necesaria y se analizará el caso advirtiendo de la viabilidad o no de la actuación	Si se prevé un uso incorrecto del suelo conforme al artículo 14 bis se advertirá en el informe

6.4. ANÁLISIS DEL FOLLETO PARA LA INTERPRETACIÓN DEL REGLAMENTO DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO EN LAS LIMITACIONES A LOS USOS DEL SUELO EN LAS ZONAS INUNDABLES DE ORIGEN FLUVIAL

Para sintetizar más, el Ministerio de Medio Ambiente emitió un folleto donde resumía aún más la Guía Técnica anterior. Recogemos el cuadro final a continuación.

Usos		Zona de flujo preferente (ZFP)			Zona inundable (ZI)	
		Suelo rural (art. 9 bis)	Suelo urbanizado (art. 9 ter)	Régimen especial municipios alta inundabilidad (art. 9 quater)	Suelo rural (art. 14 bis 1)	Suelo urbanizado (art. 14 bis 2)
Centros escolares o sanitarios, residencias de mayores o personas con discapacidad, centros deportivos, centros penitenciarios, parques de bomberos, instalaciones Protección Civil		No	No	Solo si no existe una ubicación alternativa y diseñados con condicionantes de seguridad	Se evitará, excepto si no existe ubicación alternativa y diseñados con condicionantes de seguridad	Podrá permitirse teniendo en cuenta, en la medida de lo posible, condicionantes de seguridad
Grandes superficies comerciales donde puedan darse grandes aglomeraciones de población		No	No	No		
Edificaciones, obras de reparación, rehabilitación o cambios de uso, garajes subterráneos, sótanos y aparcamientos en superficie, y otras edificaciones bajo rasante	Nuevas edificaciones para usos residenciales	No	Si, con condicionantes de seguridad y la parte destinada a vivienda del edificio a una cota tal que no se vea afectada por la avenida de T=500 años	Si, fuera de la zona de policía. Con condicionantes de seguridad y la parte destinada a vivienda del edificio a una cota tal que no se vea afectada por la avenida de T=500 años	Si, con condicionantes de seguridad y la parte destinada a vivienda del edificio a una cota tal que no se vea afectada por la avenida de T=500 años	Si, teniendo en cuenta, en la medida de lo posible, los condicionantes de seguridad del art. 14 bis 1 (suelo rural)
	Resto	No	Si, con condicionantes de seguridad	Si, con condicionantes de seguridad	Si, con condicionantes de seguridad	Si, teniendo en cuenta, en la medida de lo posible, condicionantes de seguridad
Instalaciones que manejen productos que pudieran resultar perjudiciales para la salud humana y el entorno como gasolineras, depuradoras industriales, almacenes de residuos, instalaciones eléctricas de media y alta tensión		No	No	No	Si, con condicionantes de seguridad	
Acampadas, zonas de alojamiento y edificios vinculados en los campings		No		Si, con condicionantes de seguridad y fuera de la zona de policía	Se evitará excepto si no existe ubicación alternativa y diseñados con condicionantes de seguridad	Podrá permitirse teniendo en cuenta, en la medida de lo posible, condicionantes de seguridad
Depuradoras aguas residuales urbanas		Solo si no existe una ubicación alternativa o son sistemas de depuración compatibles con la inundación		Solo si no existe una ubicación alternativa o son sistemas de depuración compatibles con la inundación		
Invernaderos, cerramientos y vallados no permeables, acopios de materiales, almacenamiento de residuos y otros según arts. 9 bis y ss. RDPH		No	Estas actividades no se suelen dar en suelos urbanizados, de existir deberán garantizarse, al menos, los condicionantes de seguridad pertinentes	No	Si	Si
Rellenos que modifiquen la capacidad de desagüe salvo los asociados a actuaciones contempladas en el art. 126 ter del RDPH		No		Si	Si	Si
Granjas y criaderos de animales incluidos en el Registro de explotaciones ganaderas		No		Si, con condicionantes de seguridad y fuera de la zona de policía	Si, con condicionantes de seguridad	Si, con condicionantes de seguridad
Infraestructuras lineales paralelas al cauce		Solo si no existe otra alternativa viable de trazado y diseñado para minimizar riesgo		Solo si no existe otra alternativa viable de trazado y diseñado para minimizar riesgo	Si	Si
Infraestructuras de saneamiento, abastecimiento y otras canalizaciones subterráneas; obras de conservación, mejora y protección de infraestructuras ya existentes		Si	Si	Si	Si	Si
Edificaciones uso agrícola con un máximo de 40 m ² y obras asociadas al aprovechamiento del agua según arts. 9 y ss. RDPH		Si, con condicionantes de seguridad	Si, con condicionantes de seguridad	Si, con condicionantes de seguridad	Si, con condicionantes de seguridad	Si, con condicionantes de seguridad

Se desprende del anterior cuadro que incluso los rellenos que modifican el régimen de corrientes pueden ser admitidos si se aplican el supuesto del artículo 9 quater del RDPH (Régimen especial municipios alta inundabilidad) y dentro de la Zona inundables pero fuera de la Zona de flujo preferente (independientemente de que sea suelo rural o urbanizado).

6.5. ANÁLISIS DE LA MODIFICACIÓN DEL ARTÍCULO 29. MODIFICACIÓN DE LA LEY 9/2010, DE 30 DE JULIO, DE AGUAS DE ANDALUCÍA,

**RECOGIDO EN EL DECRETO-LEY 26/2021, DE 14 DE DICIEMBRE,
POR EL QUE SE ADOPTAN MEDIDAS DE SIMPLIFICACIÓN
ADMINISTRATIVA Y MEJORA DE LA CALIDAD REGULATORIA PARA
LA REACTIVACIÓN ECONÓMICA EN ANDALUCÍA.**

Recientemente se ha publicado el *Decreto-ley 26/2021, de 14 de diciembre, por el que se adoptan medidas de simplificación administrativa y mejora de la calidad regulatoria para la reactivación económica en Andalucía*. En el mismo se aborda la modificación de la Ley de Aguas de Andalucía, siendo interesante la modificación del Artículo 41.

«Artículo 41. Zona de policía.

1. La zona de policía a la que se refiere el artículo 6.1.b del Texto Refundido de la Ley de Aguas incluirá la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo de las aguas.

2. Las limitaciones de usos en las zonas de servidumbre y policía serán las establecidas en dicho Texto Refundido, en el Reglamento del Dominio Público Hidráulico y en la restante legislación básica estatal, así como en el plan hidrológico y el plan de gestión del riesgo de inundación de la respectiva Demarcación.

3. En las zonas de servidumbre y policía se podrán autorizar por la Consejería competente en materia de aguas aquellas actividades no vulnerables frente a las avenidas que no supongan una reducción significativa de la capacidad de las vías de intenso desagüe, así como las actuaciones que reduzcan las consecuencias adversas potenciales de la inundación para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio histórico y la actividad económica o que disminuyan la probabilidad de inundaciones, siempre que no deterioren el estado de las masas de agua asociadas.»

7. CONTENIDO

El Presente Estudio Hidrológico e Hidráulico está dividido en dos Documentos principales:

- Documento N°1 Memoria y Anejos
- Documento N°2 Planos

El Documento N°1 contiene los Anejos hidrológicos e hidráulicos donde se justifica la metodología seguida para la propuesta de defensa de la innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama”.

En el Documento N°2 se recogen los planos necesarios para plasmar la simulación “*Situación actual*” y la simulación “Propuesta de defensa SNU T-500”. La configuración del documento se ha basado en el punto 44 de la “*Instrucción de 20 de febrero de 2012 de la Dirección General de Planificación y Gestión del Dominio Público Hidráulico sobre la elaboración de informes en materia de aguas a los planes con incidencia territorial, a los planeamientos urbanísticos y a los actos y ordenanzas de las entidades locales*”. Las zonas inundables se grafían a escala 1:5.000, dada la gran extensión de la zona de estudio, al igual que se decidió hacer en el EHPIOG

Se ha decidido realizar el Estudio con la misma configuración que otros trabajos similares en el mismo ámbito geográfico, donde se mantuvieron reuniones con la Dirección General de Planificación y Gestión del Dominio Público Hidráulico acordando los siguientes aspectos:

1. Adoptar los hidrogramas de entrada para el arroyo de Torres y el río Guadalhorce obtenidos del EHPIOG
2. Realizar la simulación en 2D con las ecuaciones completas de Saint-Venant (“Full momento”)
3. Se debía recoger información relativa a afección a terceros: mapas de calados, mapas de velocidades, ZFP y mapas comparativos de la situación propuesta y actual.

Por último, la cartografía utilizada (la misma usada en el EHPIOG) y los archivos de las entradas y salidas del programa hidráulico utilizado (HEC RAS 6.1) se suministran en formato digital.

8. CONCLUSIÓN

La extensión de la lámina de agua en planta para las dos simulaciones (“Situación Actual” y “Propuesta de defensa SNU T500”) es idéntica. De este modo queda justificada inicialmente la no afección a terceros, basada en que tras las obras de defensa no haya superficies inundables cuando a día de hoy no lo son.

Con respecto a la distribución de velocidades del flujo, efectivamente hay aumento tras la implantación del planeamiento, pero afecta al propio Sector, ya que se produce en la Parcela ZV.3 de Áreas Libres (Zonas Verdes) y en el Sistema General de Áreas Libres SG-AL (Parque fluvial), todas ellas dentro del futuro Corredor Verde del Valle del Guadalhorce y compatible con ser inundable. El aumento de la velocidad es propiciado por un menor rozamiento del flujo al ser sustituidos los actuales cultivos de cítricos por vegetación herbácea compatible con los usos que se planean. **No existe afección a terceros a este respecto tampoco.**

Por otro lado, **la comparación de la Zona de Flujo Preferente** (envolvente de la Zona de Inundación Peligrosa y la Vía de Intenso Desagüe) **en la situación actual y tras las medidas de defensa, arroja una extensión idéntica**, sino ligeramente inferior tras la actuación.

Con la solución adoptada se consigue la defensa ante inundaciones de la plataforma propuesta para el ámbito de la actuación SNU “Estación de Cártama” sin afectar a terceros, como se requiere en la legislación vigente y evitando que la superficie de la zona de actuación resulte anegada.

Actualmente una parte importante del núcleo urbano de Cártama Estación está afectado por inundabilidad, ya que la avenida proveniente del río Guadalhorce para el período de retorno de 500 años inunda el área delimitada por la Avenida Andalucía, Calle Huelva y la vía férrea (unos 50.000 m² urbanos). **Tras las**

medidas contempladas para el desarrollo de la actuación SNU “Estación de Cártama” este núcleo urbano quedaría defendido y libre de inundabilidad.

Por último, es de gran importancia resaltar la mejora medioambiental para el Dominio Público Hidráulico del río Guadalhorce tras la implementación de la Parcela ZV.3 de Áreas Libres (Zonas Verdes) y en el Sistema General de Áreas Libres SG-AL (Parque fluvial). En su conjunto suponen 222.487,66 m² contiguos y laterales al Dominio Público Hidráulico que posibilitarán, entre otras cosas, el Corredor Verde del Guadalhorce

Con la aportación de este Estudio como documento adjunto e integrante de la propuesta de defensa de la innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” se pretende que, tras su tramitación, se apruebe desde el punto de vista del riesgo de inundabilidad la citada Innovación.

Málaga, enero de 2022

Por Irtene, S.L.

El Ingeniero Civil Autor del Estudio
Hidrológico-Hidráulico

Fdo.: Manuel Aldeanueva López

ANEJO Nº1
ESTUDIO HIDROLÓGICO



ANEJO N°1

ESTUDIO HIDROLÓGICO

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANÁLISIS DE LOS CÁLCULOS RECOGIDOS EN EL EHPIOG	2

TABLA DE ILUSTRACIONES

1 DISTRIBUCIÓN DE GRANDES CUENCAS DEL EHPIOG Y CONTORNO DE LA SUBCUENCA (AMARILLO), AGUAS ABAJO DE LOS EMBALSES GUADALHORCE, GUADALTEBA Y CONDE DEL GUADALHORCE, QUE DRENAN HACIA EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA PROPUESTA DE INNOVACIÓN-MODIFICACIÓN DE ELEMENTOS DEL PGOU DE CÁRTAMA RELATIVO AL ÁMBITO DE ACTUACIÓN SNU “ESTACIÓN DE CÁRTAMA.....	2
2 CUENCA DEL RÍO GUADALHORCE AGUAS ABAJO DE LOS EMBALSES DE CABECERA (GUADALHORCE, GUADALTEBA Y CONDE DE GUADALHORCE) MODELIZADA EN EL EHPIOG MEDIANTE HEC-HMS	3
3 ZONA DE INTERÉS DE LA MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO GUADALHORCE A SU PASO POR EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA PROPUESTA DE INNOVACIÓN-MODIFICACIÓN DE ELEMENTOS DEL PGOU DE CÁRTAMA RELATIVO AL ÁMBITO DE ACTUACIÓN SNU “ESTACIÓN DE CÁRTAMA. VALORES DEL MÁXIMO DEL RÍO GUADALHORCE Y SUS SUBCUENCAS TRIBUTARIAS PARA EL PERÍODO DE RETORNO DE 500 AÑOS, SEGÚN EL EHPIOG	4
4 SUPERFICIE Y CAUDALES EN FUNCIÓN DEL PERÍODO DE RETORNO DE LAS SUBCUENCAS DEL EHPIOG. EN AMARILLO LAS SUBCUENCAS DE INTERÉS PARA EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA PROPUESTA DE INNOVACIÓN-MODIFICACIÓN DE ELEMENTOS DEL PGOU DE CÁRTAMA RELATIVO AL ÁMBITO DE ACTUACIÓN SNU “ESTACIÓN DE CÁRTAMA.....	6
5 INTEGRACIÓN DEL HIDROGRAMA DE TRÁNSITO DEL RÍO GUADALHORCE (PBGH14-PBGH15) CON EL HIDROGRAMA DE LA SUBCUENCA BGH19.....	7
6 HIDROGRAMAS DE ENTRADA PARA EL ESTUDIO HIDRÁULICO PARA LA DEFENSA DE LA PROPUESTA DE INNOVACIÓN-MODIFICACIÓN DE ELEMENTOS DEL PGOU DE CÁRTAMA RELATIVO AL ÁMBITO DE ACTUACIÓN SNU “ESTACIÓN DE CÁRTAMA”.....	7
7 HIDROGRAMA DE ENTRADA PARA EL RÍO GUADALHORCE PARA EL PERÍODO DE RETORNO DE 500 AÑOS A SU PASO POR EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA PROPUESTA DE INNOVACIÓN-MODIFICACIÓN DE ELEMENTOS DEL PGOU DE CÁRTAMA RELATIVO AL ÁMBITO DE ACTUACIÓN SNU “ESTACIÓN DE CÁRTAMA”.	9

ANEJO Nº1

ESTUDIO HIDROLÓGICO

1. INTRODUCCIÓN

Sirva el presente Anejo para presentar y justificar el caudal y el hidrograma a adoptar para los cálculos hidráulicos a desarrollar en el posterior Anejo Estudio Hidráulico, en el que se determinarán los parámetros más representativos que conciernen al río Guadalhorce y al arroyo de Torres a su paso por el ámbito de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” en Cártama-Estación, Málaga.

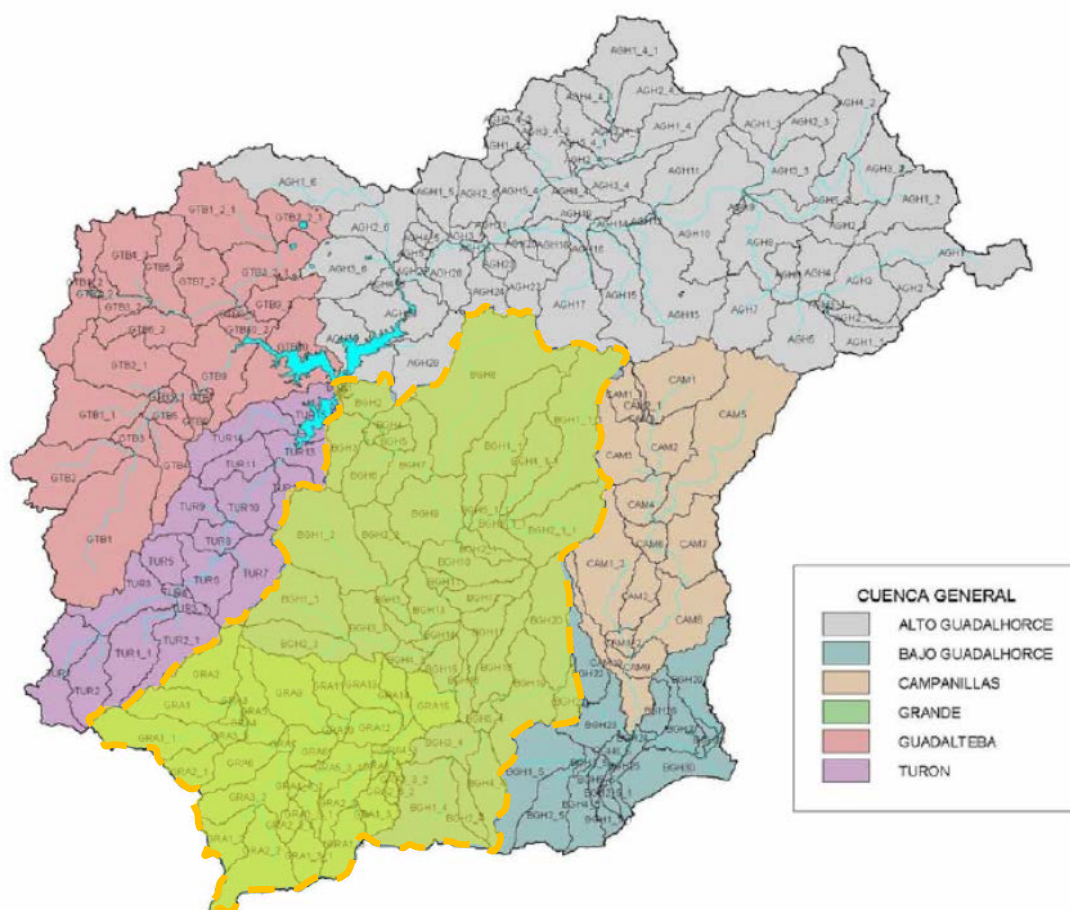
La totalidad de los datos y desarrollos adoptados provienen del Estudio oficial encargado por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía a la ingeniería SENER, denominado “Estudio Hidráulico para la Prevención de Inundaciones y para la Ordenación del río Guadalhorce”, en adelante, EHPIOG.

En dicho Estudio se recopilan las bases de partida y los datos seleccionados, así como la justificación de la metodología hidrológica adoptada y su calibración frente a otros métodos, tanto empíricos como analíticos.

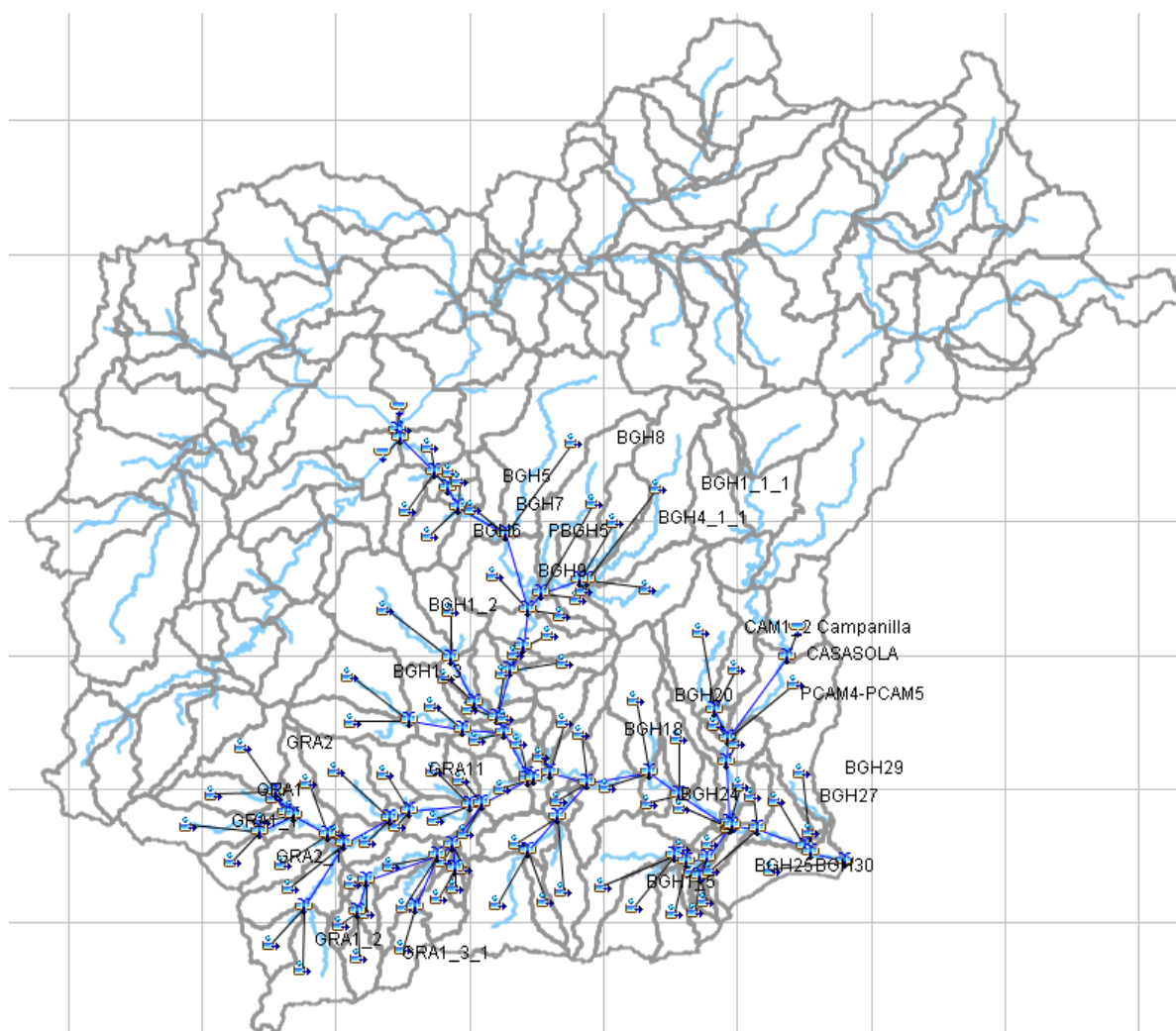
En el presente Anejo, partiendo de los datos del Anejo Hidrológico del EHPIOG, se determina el hidrograma de la avenida de 100 y 500 años para la zona de estudio. En el EHPIOG no se han utilizado más que los caudales máximos para los distintos períodos de retorno, ya que se realizó un análisis en régimen permanente. En nuestro caso, ya que se va a realizar un cálculo en régimen variable para el período de retorno de 100 y 500 años, se deberá determinar el hidrograma correspondiente. Para ello, se utilizará como base la simulación realizada con el programa HEC-HMS en el EHPIOG, para posteriormente, determinar en nuestro punto de cálculo (el área de influencia de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama”) el hidrograma correspondiente al río Guadalhorce y al arroyo de Torres. Para ello se ha debido realizar una integración de los hidrogramas de las cuencas aguas arriba de dicho punto, principalmente del río Guadalhorce, del arroyo de Torres y de la cuenca comprendida entre el puente de Cártama-Estación y el puente de la Autovía A-357.

2. ANÁLISIS DE LOS CÁLCULOS RECOGIDOS EN EL EHPIOG

El EHPIOG dividió la cuenca del Guadalhorce a su vez en seis grandes cuencas, subdivididas a su vez en subcuencas de menor extensión. La configuración de dicho desglose tiene su fundamento en los tres grandes ríos que confluyen en los tres grandes embalses (Conde del Guadalhorce, Guadalhorce y Guadalteba) en su cuenca media, los cuales dividen al río Guadalhorce en su cuenca alta y cuenca baja. Nuestra zona de interés se focaliza en la cuenca baja del río Guadalhorce, más concretamente entre el puente de Cártama-Estación y el puente de la A-357. En la cuenca baja del Guadalhorce se incluyen tres cuencas: Cuenca baja del Guadalhorce propiamente dicha, Cuenca del río Grande y Cuenca del río Campanillas. Solo las dos primeras drenan caudales que fluyan por el Área de influencia de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama, pues la cuenca del río Campanillas se sitúa aguas abajo.



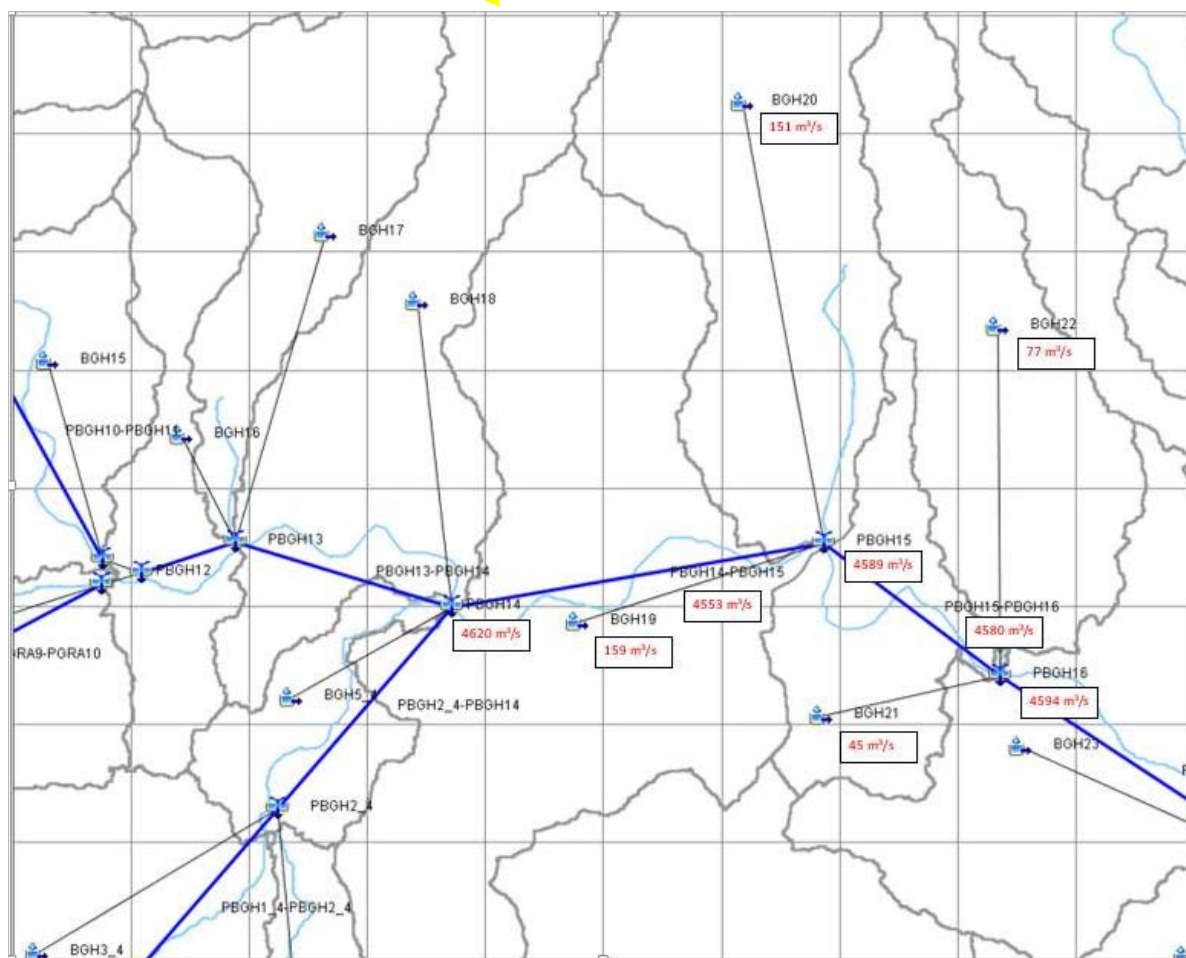
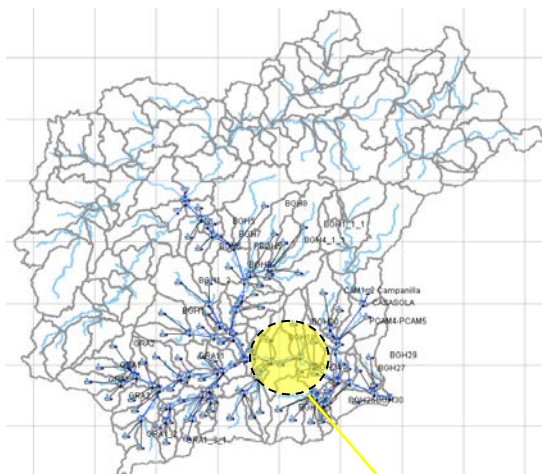
Es necesario reseñar lo anterior para comprender someramente cómo funciona el modelo tomado como referencia. Una vez establecido el ámbito de modelización, y con las entradas hidrológicas (pluviometría, umbral de escorrentía, etc.) recogidos en el EHPIOG, HEC-HMS establece unos hidrogramas generados en cada una de las subcuencas, los cuales transitan de unas a otras, aguas abajo en un camino vertebrado por la red fluvial, la cual irremediamente termina en el río Guadalhorce y finalmente en el mar.



DOCUMENTACIÓN COMPLEMENTARIA-MODIFICADA ENERO 2022 DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA LA INNOVACIÓN-MOFICACIÓN DE ELEMENTOS DEL PGOU DE CÁRTAMA RELATIVO AL ÁMBITO DE ACTUACIÓN SNU “ESTACIÓN DE CÁRTAMA”

ANEJO Nº1 ESTUDIO HIDROLÓGICO

En nuestra zona de estudio nos encontramos con la siguientes cuencas principales (denotadas por PBGH*) y las subcuencas secundarias (BGH*)



3 Zona de interés de la modelización hidrológica de la cuenca del río Guadalhorce a su paso por el Área de influencia de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU "Estación de Cártama. Valores del máximo del río Guadalhorce y sus subcuencas tributarias para el periodo de retorno de 500 años, según el EHPIOG

Nuestras cuencas de interés son, en el sentido de flujo fluvial, las siguientes:

- **PBGH14:** 951,74 Km² y 4.620 m³/s (Límite de la cuenca establecido en la confluencia del río Guadalhorce con el río Fahala)
- **BGH19:** 28,72 Km² y 159 m³/s (Subcuenca del río Guadalhorce entre la confluencia del río Fahala y el arroyo de Torres)
- **BGH20:** 26,52 Km² 151 m³/s (Subcuenca con la totalidad de la cuenca del arroyo de Torres)
- **PBGH15:** 1006,98 Km² y 4.589 m³/s (Límite de la cuenca establecido en la confluencia del río Guadalhorce con el arroyo de Valdeurraca, pocos metros aguas abajo del puente de la A-357)
- **BGH21:** 7,26 Km² y 45 m³/s (subcuenca del río Guadalhorce entre la confluencia del arroyo de Torres con el arroyo de Valdeurracas)

El siguiente cuadro, extraído del Estudio Hidrológico del EHPIOG, recoge, junto a otras cuencas y subcuencas, los valores destacados anteriormente, junto a otros períodos de retorno.

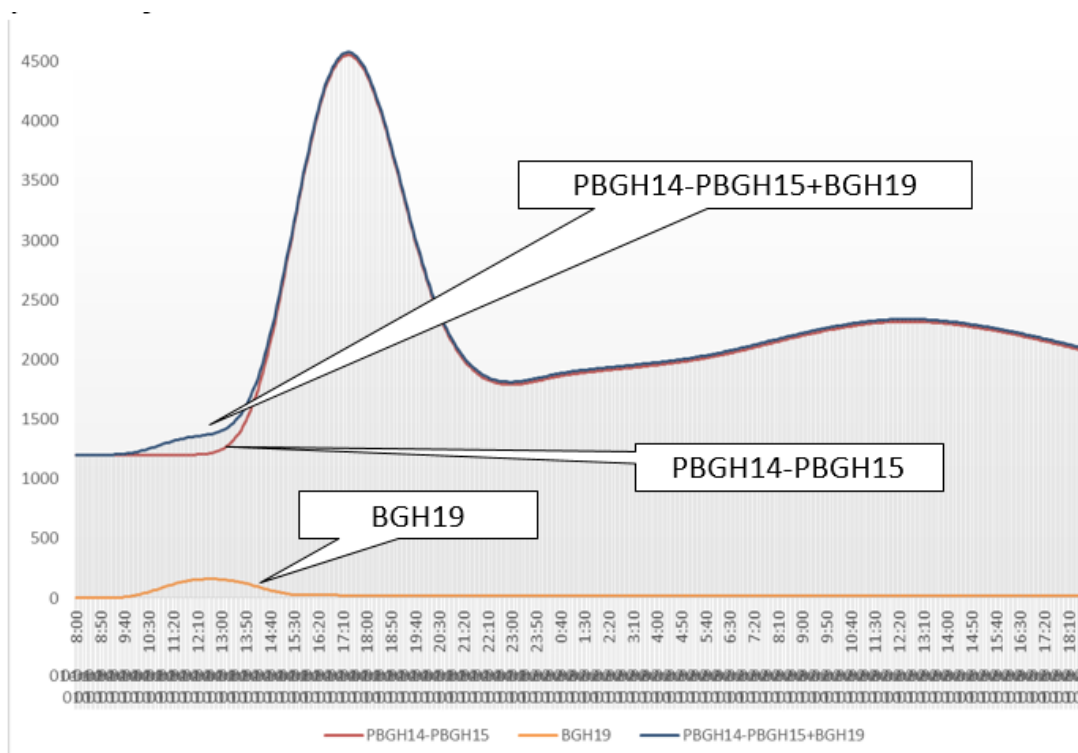
Elemento	Area (km ²)	Q 2.33 (m ³ /s)	Q 5 (m ³ /s)	Q 10 (m ³ /s)	Q 25 (m ³ /s)	Q 50 (m ³ /s)	Q 100 (m ³ /s)	Q 500 (m ³ /s)	Q 1000 (m ³ /s)
PBGH13	858.47	814.4531	909.2	1234.1	1675.6	2052.5823	3168.8942	4416.7137	5157.8557
PBGH13-PBGH14	858.47	812.4568	908.4	1233.2	1674.3	2051.163	3162.744	4405.479	5155.4097
BGH18	16.74	18.8508	12.8	17.7	24.7	30.4285	53.3162	85.8982	59.9966
BGH5_4	4.52	4.6594	3.1	4.4	6.2	7.7725	13.6325	23.1418	15.7441
BGH3_4	13.42	12.4685	9.5	13.6	19.5	24.1921	39.4619	63.7739	47.0737
BGH4_4	15.84	29.6155	17.6	22.8	29.3	34.1106	57.4864	81.3966	53.5954
BGH1_4	35.2	70.1643	42.4	54.8	70.3	81.4373	139.9037	194.2953	126.3544
BGH2_4	7.55	16.8266	9.4	12	15.1	17.3508	30.2838	41.5919	25.7838
PBGH1_4	42.75	84.1321	50.9	65.7	84.2	97.4592	166.4397	230.2733	150.4023
PBGH1_4-PBGH2_4	42.75	83.8188	50.8	65.6	84	97.2913	166.0216	229.4736	150.1604
PBGH2_4	72.01	120.5635	75.2	98.7	128.7	150.8653	253.5963	360.0545	243.6632
PBGH2_4-PBGH14	72.01	119.9604	75	98.4	128.4	150.5214	252.7749	358.3112	243.2332
PBGH14	951.74	858.0287	973.1	1321.6	1792	2191.2562	3340.3769	4620.5783	5398.8694
PBGH14-PBGH15	951.74	849.049	969.5	1317	1785.8	2183.7822	3302.8191	4553.7645	5384.9891
BGH20	26.52	36.822	24.2	32.9	44.7	54.138	97.9636	151.1373	98.7544
BGH19	28.72	39.0467	24.8	33.4	45.6	55.5823	100.8005	159.6666	105.9518
PBGH15	1006.98	857.01	989.3	1347.7	1828.4	2236.1209	3325.5054	4589.717	5487.5893
PBGH15-PBGH16	1006.98	855.7054	988.7	1346.9	1827.2	2234.7085	3320.441	4580.7456	5485.0147
BGH22	12.83	19.6275	12.3	16.5	22.3	26.8891	49.9821	77.3847	48.23
BGH21	7.26	11.214	6.5	8.7	11.9	14.4343	28.1071	45.4252	27.2987
PBGH16	1027.07	858.934	992.1	1352.5	1835.3	2244.737	3329.2642	4594.8234	5506.6679
PBGH16-PBGH17	1027.07	856.4458	991.1	1351	1833.3	2242.2704	3319.0909	4577.1049	5501.8971
BGH23	15.64	32.3733	18	23.4	30.3	35.6335	69.1787	102.2354	59.0853
BGH6_5	3.53	6.3013	3.7	4.9	6.5	7.6309	14.1041	20.9349	12.6689
BGH3_5_1	0.64	1.2192	0.7	0.9	1.2	1.4064	2.7763	4.139	2.3149
BGH5_5	3.69	5.0795	3.3	4.4	6	7.1901	12.3919	18.8879	12.409
BGH1_5_1	3.8	6.8644	4	5.3	7	8.242	15.4001	22.8778	13.6526
BGH2_5_1	2.27	4.5689	2.6	3.4	4.4	5.133	10.2204	15.1508	8.368
PBGH1_5_1	6.07	11.4063	6.6	8.7	11.4	13.375	25.4384	37.7012	22.0206
PBGH1_5_1-PBGH3_5	6.07	11.3738	6.6	8.7	11.4	13.3609	25.3546	37.5666	21.9992
BGH3_5	1.94	2.4223	1.6	2.2	3	3.6212	6.1583	9.5337	6.345

4 Superficie y caudales en función del período de retorno de las subcuencas del EHPIOG. En amarillo las subcuencas de interés para el Área de influencia de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama

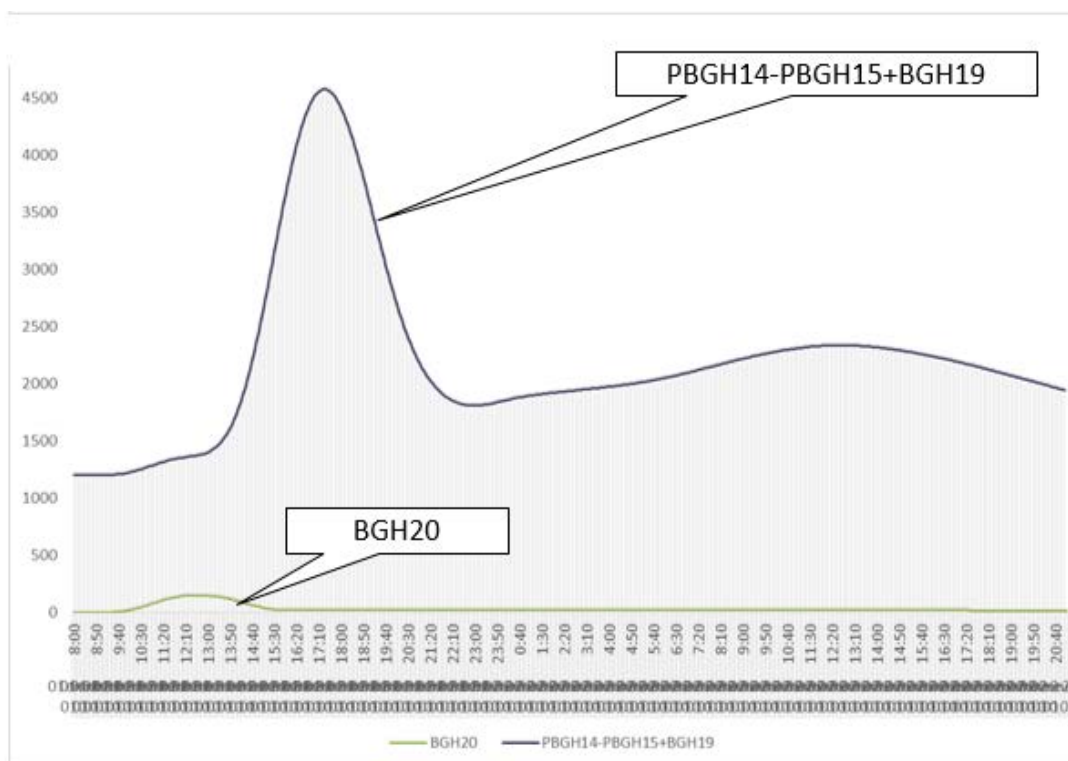
Se pretende realizar una modelización bidimensional en régimen variable. Por lo tanto, es necesario conocer para una correcta implementación del modelo, los hidrogramas de entrada del río Guadalhorce y del arroyo de Torres. El del segundo se puede obtener directamente de los resultados de la simulación de HEC-HMS de EHPIOG, mas el primero no es posible, pues los puntos de control de los que se dispone no reflejan el hidrograma justo aguas arriba del puente de Cártama. Por lo tanto, se ha debido calcular, integrando los hidrogramas siguientes:

- **PBGH14-PBGH15:** establece el hidrograma de tránsito desde la confluencia del río Fahala con el río Guadalhorce hasta la confluencia con el arroyo de Torres
- **BGH19:** hidrograma de la aportación de la subcuenca del río Guadalhorce entre la confluencia del río Fahala y el arroyo de Torres

El resultado es el siguiente:



5 Integración del hidrograma de tránsito del río Guadalhorce (PBGH14-PBGH15) con el hidrograma de la subcuenca BGH19



6 Hidrogramas de entrada para el estudio hidráulico para la defensa de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU "Estación de Cártama".

Río Guadalhorce (PBGH14-PBGH15+BGH19) y arroyo de Torres (BGH20)

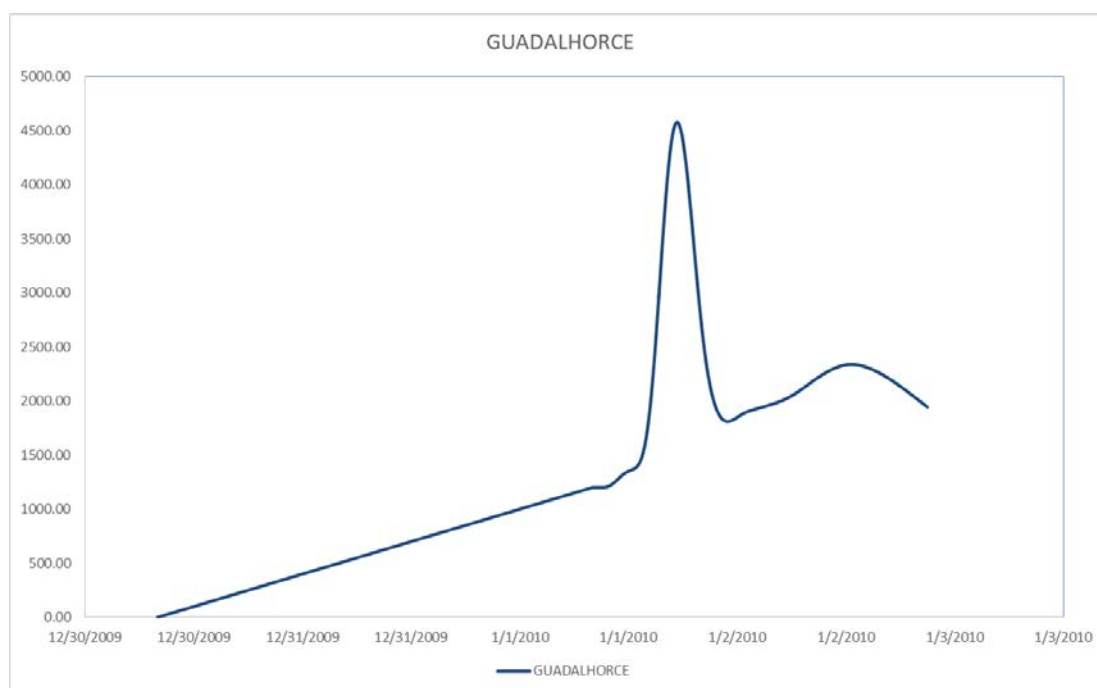
En el modelo de EHPIOG, el hidrograma del río Guadalhorce tiene como fecha y hora ficticia de inicio el 1 de enero de 2010 a las 8:00, con un valor de 1.201,6 m³/s. Para el arroyo de Torres tiene un momento ficticio de inicio idéntico, pero con un valor de 0,5 m³/s. Como se puede apreciar, las puntas de los hidrogramas no coinciden.

Para concluir, se avanza que la simulación hidráulica que se abordará en el siguiente Anejo Estudio Hidráulico, se ha realizado ampliando el hidrograma del río Guadalhorce desde un valor con valor nulo en el origen y con una recta de subida constante hasta el ya referido de 1.201,6 m³/s. Por lo tanto, en la simulación hidráulica el momento origen ficticio de inicio de la simulación comienza el 30 de diciembre de 2009 a las 8:00 (48 horas antes).

El objeto de prolongar artificialmente el hidrograma es doble. Por un lado, dar estabilidad a la simulación hidráulica y no comenzar con un caudal de inicio tan elevado (1.201,6 m³/s). Pero principalmente se ha optado por hacerlo de este modo para:

1. Disponer de una simulación con una extensión temporal suficientemente amplia que recoja la crecida del río Guadalhorce
2. Poder analizar cómo se comporta el flujo ante el incremento de caudal
3. Comprender cómo se desborda su cauce de aguas bajas
4. Visualizar por dónde circula el flujo por la llanura de inundación

De este modo se puede tener una buena base para tener criterio y seleccionar la mejor de las soluciones para la defensa de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU "Estación de Cártama".



7 Hidrograma de entrada para el río Guadalhorce para el periodo de retorno de 500 años a su paso por el Área de influencia de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU "Estación de Cártama".

Málaga, enero de 2022

EL AUTOR DEL ANEJO

Fdo.: Manuel Aldeanueva López

ANEJO N°2
ESTUDIO HIDRÁULICO

ANEJO N°2
ANEJO HIDRÁULICO

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	BASES DE PARTIDA	5
3.	ANTECEDENTES E HIPÓSTESIS DE CÁLCULO	5
4.	EXPLICACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO bidimensional	5
4.1.	<i>ECUACIONES QUE RIGEN EL MODELO HIDRÁULICO</i>	<i>10</i>
4.2.	<i>MODELO DIGITAL DEL TERRENO Y MALLADO.....</i>	<i>14</i>
4.3.	<i>PÉRDIDA DE CARGA</i>	<i>17</i>
5.	PLANTEAMIENTO de cada una de las simulaciones	25
5.1.	<i>GEOMETRÍA DE LA SIMULACIÓN “SITUACIÓN ACTUAL”</i>	<i>27</i>
5.2.	<i>GEOMETRÍA DE LAS SIMULACIONES PARA DETERMINAR LA VÍA DE INTENSO DESAGÜE.....</i>	<i>38</i>
5.3.	<i>PROPUESTA DE DEFENSA DE LA INNOVACIÓN-MODIFICACIÓN DE ELEMENTOS DEL PGOU DE CÁRTAMA RELATIVO AL ÁMBITO DE ACTUACIÓN SNU “ESTACIÓN DE CÁRTAMA”</i>	<i>43</i>
6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	47
6.1.	<i>DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL RÍO GUADALHORCE Y DEL ARROYO TORRES (SIMULACIÓN “SITUACIÓN ACTUAL”)</i>	<i>48</i>
6.2.	<i>ANÁLISIS DE LA SIMULACIÓN “PROPUESTA DE DEFENSA SNU T500”</i>	<i>51</i>

TABLA DE ILUSTRACIONES

1 Comparación entre la lámina de agua obtenida en el EHPIOG (1. Incluyendo el puente de la A-357; 2. Sin puente de la A-357, pero con terraplenes) y la obtenida con el modelo “Situación Actual” mediante régimen variable y simulación 2D	3
2 Modelo Digital del Terreno del río Guadalhorce y del arroyo de Torres a su paso por la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” con un tamaño de celda de 1 metro	6
3 Zonificación de usos para determinar el coeficiente de rugosidad de Manning a partir de CORINE Land Cover 2000-2006. Código 222. Zonas Agrícolas-Cultivos Permanentes-Frutales y Plantaciones de bayas (Plantaciones de lúpulo)-Frutales en regadío-Cítricos en la “Guía metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografía de zonas inundables”	7
4 Inclusión de Googlemaps mediante servicio WMS, capas de regiones de Manning y calados de aguas bajas	8
5 Mallado de la zona de modelización	8
6 Línea de ruptura para definir el puente de la A-357 (Obra de Drenaje Transversal, terraplenes y pilas) y el cauce del río Guadalhorce.....	9
7 Hidrogramas de entrada para un período de retorno de 500 años. En azul el hidrograma calculado en el anejo hidrológico para el arroyo de Torres con un valor máximo de 151,3 m ³ /s, y en rojo el adoptado para el río Guadalhorce, con un caudal máximo de 4.579 m ³ /s	13
8 Detalle de implementación de la Obra de Drenaje Transversal bajo el ferrocarril convencional mediante el método de Wormhole.....	17
9 Imagen del método Wormhole, mostrando el perfil del terreno en su desarrollo y la entrada y la salida de la Obra de Drenaje Transversal bajo el ferrocarril convencional.....	17
10 Imagen del cauce del río Guadalhorce aguas abajo del puente de la A-357 con llanura de inundación a base de plantación de cítricos	18
11 Valores de los coeficientes de rugosidad de Manning propuestos por Cowan. “Guía Metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografías de zonas inundables. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino”	20
12 Área de interés para la modelización del Arroyo de Torres y el río Guadalhorce a su paso por el Área de influencia de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama”	28
13 Extensión y configuración del mallado para la zona de estudio.....	29
14 Vista de las dos delimitaciones artificiales de la llanura de inundación al Norte del río Guadalhorce: terraplén del ferrocarril convencional y el núcleo urbano de Cártama Estación	30
15 Ámbito de simulación del arroyo de Torres con sus elementos de contorno principales	31
16 Sección transversal donde se refleja el MDT del puente de la A-357 y la inserción de las pilas del mismo hasta una altura de 30 metros	32

17	Mallado con detalle de los terraplenes, las pilas y la Obra de Drenaje Transversal del puente de la A-357, así como el cauce del río Guadalhorce y las vías del ferrocarril convencional.	33
18	Sección transversal de la vía A-7057 en su cruce con el río Guadalhorce	35
19	Ubicación en planta de la vía A-7057 en su cruce con el río Guadalhorce.....	35
20	Configuración del mallado para incorporar las Obras de Drenaje Trasversal del ferrocarril convencional y de la carretera A-7054	36
21	Vista aérea de la zona descrita anteriormente	37
22	Detalle de la implementación del método “wormhole” para modelizar la Obra de Drenaje Transversal bajo el ferrocarril convencional.....	38
23	Gráfico explicativo de la metodología para la determinación de la Vía de Intenso Desagüe (VID)	39
24	Vía de Intenso Desagüe determinada en el EHPIOG (en amarillo)	39
25	Vía de Intenso Desagüe del arroyo Torres y del río Guadalhorce determinada en el presente Estudio	40
26	Vía de Intenso Desagüe del EHPIOG (amarillo continuo) y la Vía de Intenso Desagüe del arroyo Torres y del río Guadalhorce determinadas en el presente Estudio (rosa discontinuo).....	41
27	Planta de la extensión de la Avenida del período de retorno de 100 años para el arroyo Torres en el estado actual (celeste) y con el confinamiento de muros para determinar la VID (azul).....	41
28	Perfil longitudinal del arroyo Torres con la situación actual (celeste) y con el confinamiento de muros para determinar la VID (azul). La sobreelevación es menor a los 0.30 metros.	42
29	Planta de la extensión de la Avenida del período de retorno de 100 años para el río Guadalhorce en el estado actual (celeste) y con el confinamiento de muros para determinar la VID (azul)	42
30	Perfil longitudinal del río Guadalhorce con la situación actual (celeste) y con el confinamiento de muros para determinar la VID (azul).....	43
31	Propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” (en rojo), VID determinada por Irtene (morada punteada), Zona de Policía del EHPIOG (naranja) y Zona de Inundación Peligrosa del EHPIOG (azul).....	44
32	Contorno del vial de defensa y calados máximos del río Guadalhorce para el período de retorno de 500 años.....	45
33	Terrains del Modelo Digital del Terreno. Arriba, Situación Actual; abajo, defensa mediante vial (magenta)	46
34	Comparación de la extensión de la inundabilidad para el período de retorno de 500 años recogida en el EHPIOG (verde) y la simulación del presente estudio “Situación actual” (sepia)	47
35	30 de diciembre de 2009 18:00 (251 m ³ /s)	49
36	30 de diciembre de 2009 20:00. (301 m ³ /s)	49
37	31 de diciembre de 2009 9:00 (626,31m ³ /s)	50
38	1 de enero de 2010 12:30 (arroyo de Torres 151,3 m ³ /s) (río Guadalhorce 1.369,8 m ³ /s)50	

39	1 de enero de 2010 18:02 (4.579 m ³ /s)	51
40	Perfil longitudinal del río Guadalhorce (marrón) a su paso por el Área propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” con representación de la altura de la lámina de agua para “Situación Actual”(azul) y “Propuesta de defensa SNU T500”(celeste)	52
41	Detalle de la diferencia de la altura de la lámina de agua para “Situación Actual”(azul) y “Propuesta de defensa SNU T500”(celeste)	53
42	Perfil longitudinal del arroyo Torres (marrón) a su paso por el Área propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” con representación de la altura de la lámina de agua para “Situación Actual”(azul) y “Propuesta de defensa SNU T500”(celeste)	54
43	Máxima extensión de la superficie de inundabilidad para el período de retorno de 500 años en la “Situación actual” (contorno azul) y “Propuesta de defensa SNU T500” (contorno rojo)	55
44	“Situación actual” (contorno azul) y “Propuesta de defensa SNU T500” (contorno rojo) para el período de retorno de 500 años.	56
45	Distribución de velocidades para el período de retorno de 500 años del arroyo Torres en la “Situación actual” (arriba) y “Propuesta de defensa SNU T500” (abajo)	57
46	Perfil longitudinal de la distribución de velocidades para el período de retorno de 500 años del arroyo Torres en la “Situación Actual” (celeste) y “Propuesta de Defensa SNU T500” (azul)	58
47	48 Distribución de velocidades para el período de retorno de 500 años del río Guadalhorce en la “Situación actual” (arriba) y “Propuesta de defensa SNU T500” (abajo)	59
49	Perfil longitudinal de la distribución de velocidades para el período de retorno de 500 años del río Guadalhorce en la “Situación Actual” (celeste) y “Propuesta de Defensa SNU T500” (azul)	60
50	ZFP Situación Actual (Sepia) y ZFP de “Propuesta de Defensa SNU T500” (Azul)	61

ANEJO Nº2 ANEJO HIDRÁULICO

1. INTRODUCCIÓN

Se expone en el presente Anejo la justificación de las medidas para la defensa de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” ante las avenidas del río Guadalhorce y el arroyo Torres; y su encaje con la legislación de aguas, tanto a nivel nacional como autonómico.

La premisa básica que cualquier actuación para la defensa de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” debe considerar es la **no afección a terceros** en términos de superficie, calados y velocidades de la lámina de agua, según la *“Instrucción de 20 de febrero de 2012 de la Dirección General de Planificación y Gestión del Dominio Público Hidráulico sobre la elaboración de informes en materia de aguas a los planes con incidencia territorial, a los planeamientos urbanísticos y a los actos y ordenanzas de las entidades locales”*. En base a ello se han estudiado las posibles medidas de defensa.

Asimismo, la Ley de Aguas de Andalucía (9/2010 de 30 de julio) en su Artículo 42. Ordenación Territorial y Urbanística en el apartado 6 se indica que *“En los instrumentos de ordenación del territorio y planeamiento urbanístico, no se podrá prever ni autorizar en las Vías de Intenso Desagüe (VID) ninguna instalación o construcción, ni obstáculos que alteren el régimen de corrientes”*. Se entiende por VID la zona por la que pasaría la avenida de 100 años de período de retorno sin producir una sobreelevación mayor que 0,3 metros, respecto a la cota de la lámina de agua que se produciría con esa misma avenida considerando toda la llanura de inundación existente.

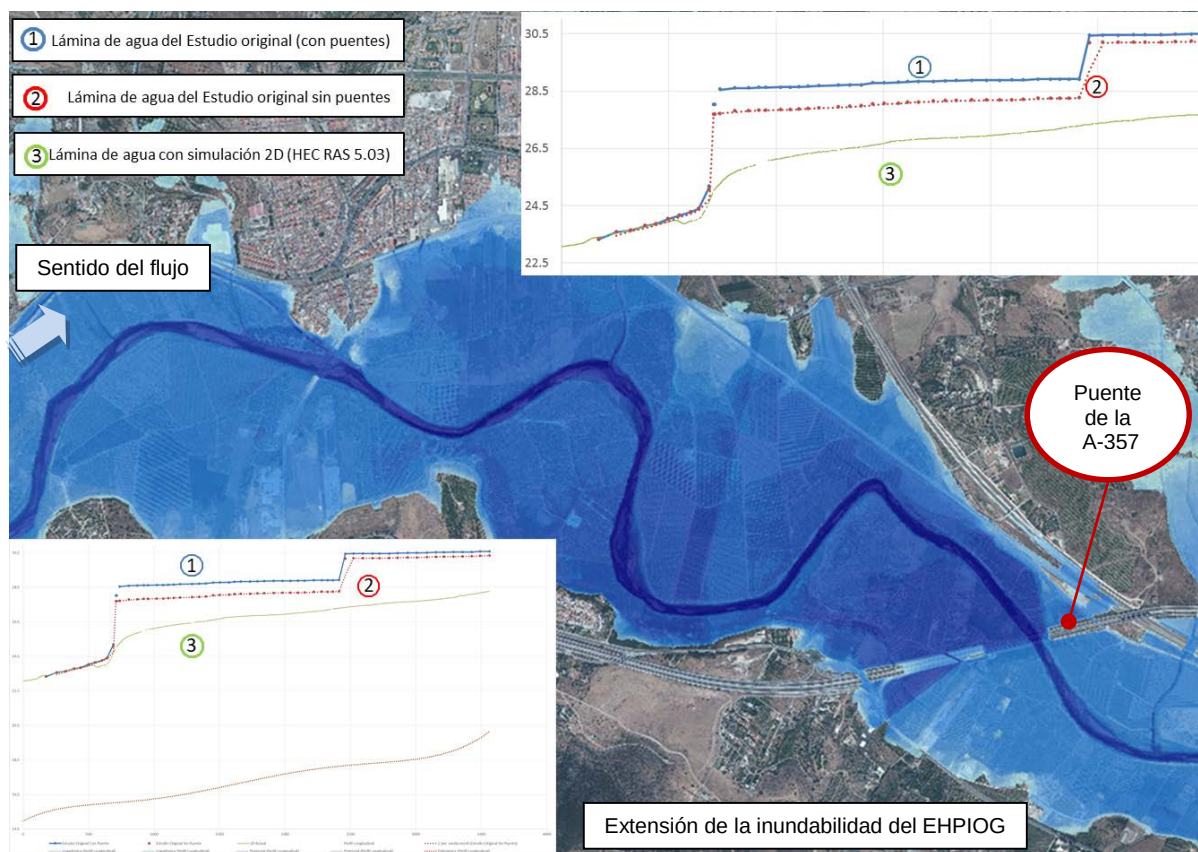
Para ello, como primer paso, es necesario validar la simulación de la situación actual del tramo del río Guadalhorce y el arroyo de Torres a su paso por la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama”. Dado que se va a realizar para las medidas de defensa una simulación en **régimen variable y en 2D**, es lógico realizar la simulación de la situación actual con las mismas características (régimen variable y en 2D). Esto

permitirá poder comparar las variables hidráulicas de las simulaciones de las alternativas para la defensa de la futura ampliación de las instalaciones industriales cárnicas de FACCSA MISSA con la simulación de la situación actual.

Es importante señalar que la hidrología empleada, como se ha indicado en el Anejo Hidrológico, es la recogida en el EHPIOG. En el EHPIOG el caudal para los períodos de retorno de 100 y 500 años es un valor único (régimen uniforme) y en nuestro caso hemos introducido un hidrograma de avenida (calculado en el Anejo Hidrológico del EHPIOG) cuyo máximo valor coincide con el valor máximo utilizado en la simulación realizada por el EHPIOG. Asimismo, el programa informático empleado es el mismo, HEC RAS, si bien la versión 6.1.

Si se visualiza en el EHPIOG el perfil longitudinal de la lámina de agua del río Guadalhorce a su paso por la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama”, se puede comprobar que existen dos sobreelevaciones de la misma, aguas arriba del puente de la A-357:

- La primera, producida por el puente y sus terraplenes asociados. Su magnitud resultaba muy elevada
- La segunda, unos 1.500 metros aguas arriba de dicho puente, no tenía una explicación evidente



1 Comparación entre la lámina de agua obtenida en el EHPIOG (1. Incluyendo el puente de la A-357; 2. Sin puente de la A-357, pero con terraplenes) y la obtenida con el modelo "Situación Actual" mediante régimen variable y simulación 2D

Ante los datos recogidos en el EHPIOG se decide realizar un estudio en detalle para determinar la inundabilidad de la zona de estudio con las condiciones existentes actualmente y que ésta simulación (denominada "Situación Actual") fuera la referencia para determinar, por comparación con las alternativas de defensa de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU "Estación de Cártama", si existía o no afección a terceros. Asimismo se ha recalculado la VID, la cual debe respetarse, pues se estima que la reflejada en el EHPIOG pudiera no estar correcta, y la Zona de Flujo Preferente (tanto para la "Situación Actual" como para la "Propuesta de Defensa".

Las simulaciones que se han realizado son las siguientes:

- Determinación de la "Situación Actual", modelizando con las mismas bases y parámetros que se utilizarán en la "Propuesta de Defensa". Se han realizado tanto para el período de retorno de 100 años como para el período de retorno de 500 años. Nombres de las simulaciones:

- **T100 Actual:** Simulación del río Guadalhorce para el período de retorno de 100 años
- **Situación ActualBis:** Simulación del río Guadalhorce y del arroyo Torres para el período de retorno de 500 años
- **T100 Torres:** Simulación del arroyo Torres para el período de retorno de 100 años
- Determinación de la VID para el río Guadalhorce y para el arroyo Torres a partir de la Situación Actual del período de retorno de 100 años. Nombre de las simulaciones:
 - **T100 VIDNuevaOrdenación:** Simulación del río Guadalhorce para determinar la VID en el área de influencia de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” en base al período de retorno de 100 años.
 - **T100 VID Torres:** Simulación del arroyo Torres para determinar la VID en el área de influencia de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” en base al período de retorno de 100 años.
- Determinación de la “Propuesta de Defensa”:
 - **Propuesta de Defensa SNU 500:** alternativa finalmente propuesta para la defensa de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” de las inundaciones del arroyo Torres y del río Guadalhorce.
 - **ZFPTorresNuevaFabrica:** Simulación del arroyo Torres para el período de retorno de 100 años con la geometría de la defensa para determinar la Zona de Flujo Preferente tras la actuación.
 - **ZFPGuadalhorceNuevaFabrica:** Simulación del río Guadalhorce para el período de retorno de 100 años con la geometría de la defensa para determinar la Zona de Flujo Preferente tras la actuación.

Tras mostrar y analizar las diferentes modelizaciones, se comparará la “Situación actual” con la “Propuesta de Defensa” para evaluar la no afección a terceros.

2. BASES DE PARTIDA

Además de los hidrogramas de entrada ya calculados en el Anejo Hidrológico, para la caracterización de la geometría de los distintos cauces y sus llanuras de inundación asociadas se necesita una topografía de detalle.

Para ello se dispone de un Modelo Digital del Terreno, en lo que sigue MDT, con tamaño de celda de 1x1 m y precisión altimétrica de 0,10 m obtenido mediante tecnología LIDAR por la empresa BLOM para la DGPGDHP de la Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía con motivo de la elaboración del EHPIOG.

Ha parecido muy oportuno el utilizar el mismo MDT utilizado por el EHPIOG con objeto de que las simulaciones desarrolladas en el presente Estudio tengan la misma base y puedan ser comparadas con las realizadas en el EHPIOG. Esta decisión puede ser adoptada debido a que no ha habido alteración morfológica de la zona de estudio desde que se realizó el MDT, posibilitando que las modelizaciones realizadas con el mismo MDT sigan teniendo a día de hoy vigencia.

3. ANTECEDENTES E HIPÓTESIS DE CÁLCULO

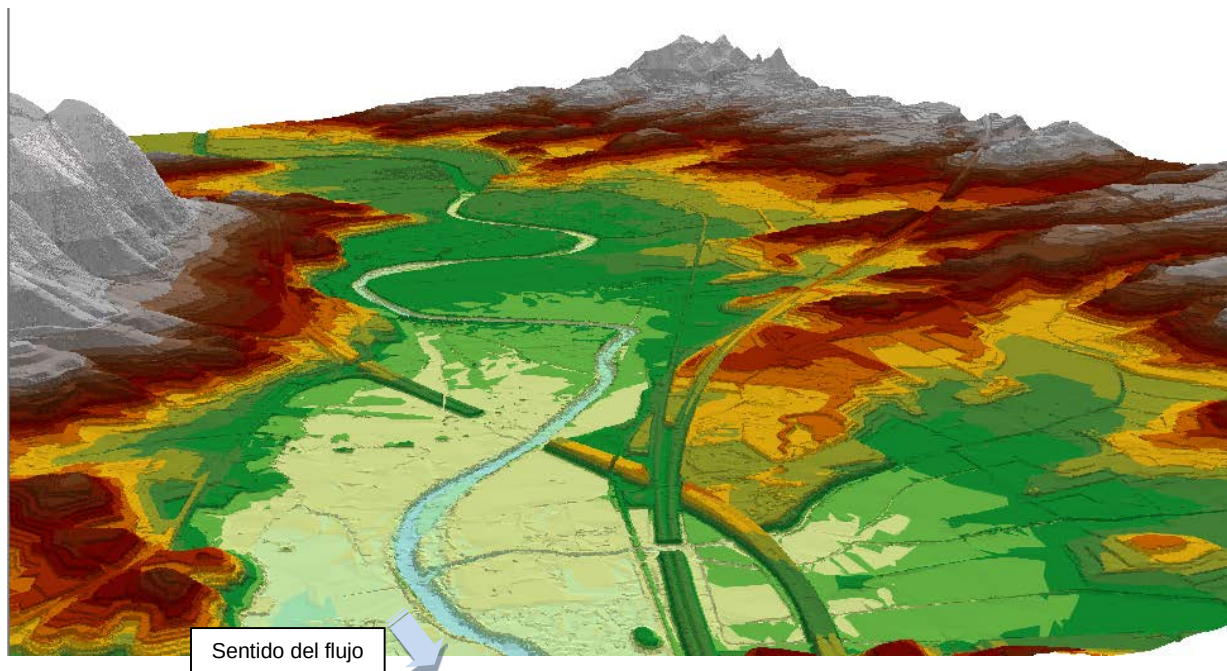
Para realizar una modelización hidráulica del río Guadalhorce y del arroyo de Torres a su paso por el área de influencia de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” son necesarias, además del MDT, tres cosas:

- Los hidrogramas del caudal de entrada, ya calculados en el Anejo Hidrológico
- Información básica de la caracterización física del cauce, MDT
- Información sobre elementos localizados aguas abajo de la zona de estudio para definir las condiciones de contorno, en nuestro caso, la pendiente, fijada en 0,003 m/m

4. EXPLICACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO BIDIMENSIONAL

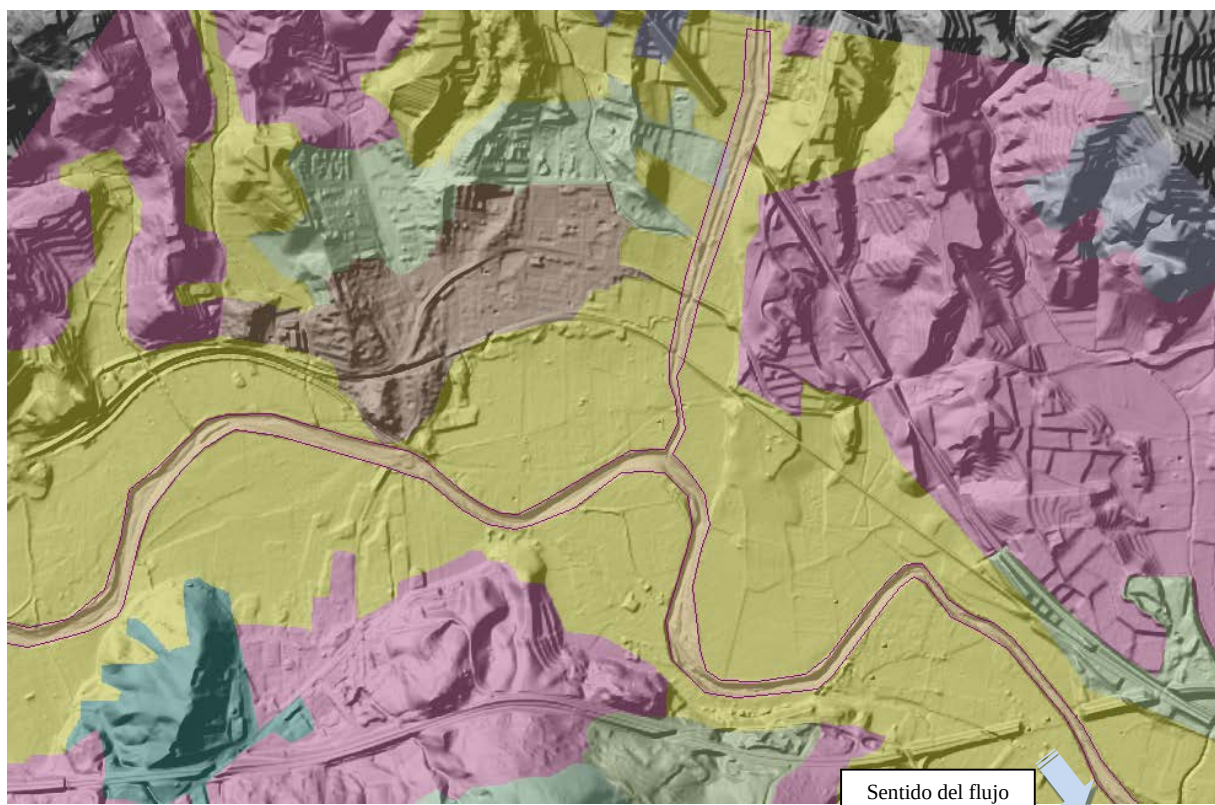
Los pasos básicos para desarrollar un modelo bidimensional con régimen variable mediante la herramienta informática HEC-RAS son los siguientes:

1. Preparar un MDT, ya comentado en los apartados anteriores, el cual establecerá la geometría y las propiedades hidráulicas de las celdas y sus caras en dos dimensiones. Este modelo digital del terreno también servirá para representar la inundación posteriormente.



2 Modelo Digital del Terreno del río Guadalhorce y del arroyo de Torres a su paso por la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU "Estación de Cártama" con un tamaño de celda de 1 metro

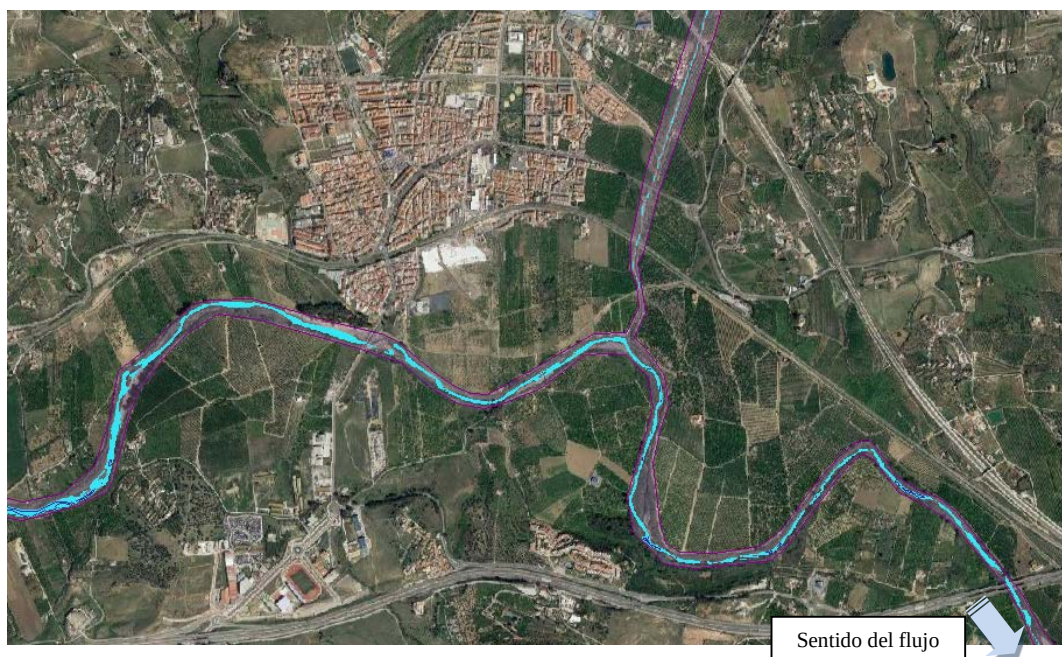
2. Construir una capa de clasificación de usos del territorio, con objeto de establecer los valores de rugosidad de Manning. En nuestro caso la práctica totalidad del área por donde circula la corriente se corresponde con un único polígono Corine (amarillo) con el código 222, correspondiente a, como se verá posteriormente, un coeficiente de rugosidad de 0,06, según la "Guía metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografía de zonas inundables". Asimismo, el cauce de aguas bajas se ha implementado con un coeficiente de rugosidad de 0,035, como se recoge en el EHPIOG.



3 Zonificación de usos para determinar el coeficiente de rugosidad de Manning a partir de CORINE Land Cover 2000-2006. Código 222. Zonas Agrícolas-Cultivos Permanentes-Frtales y Plantaciones de bayas (Plantaciones de lúpulo)-Frtales en regadío-Cítricos en l a "Guía metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografía de zonas inundables"

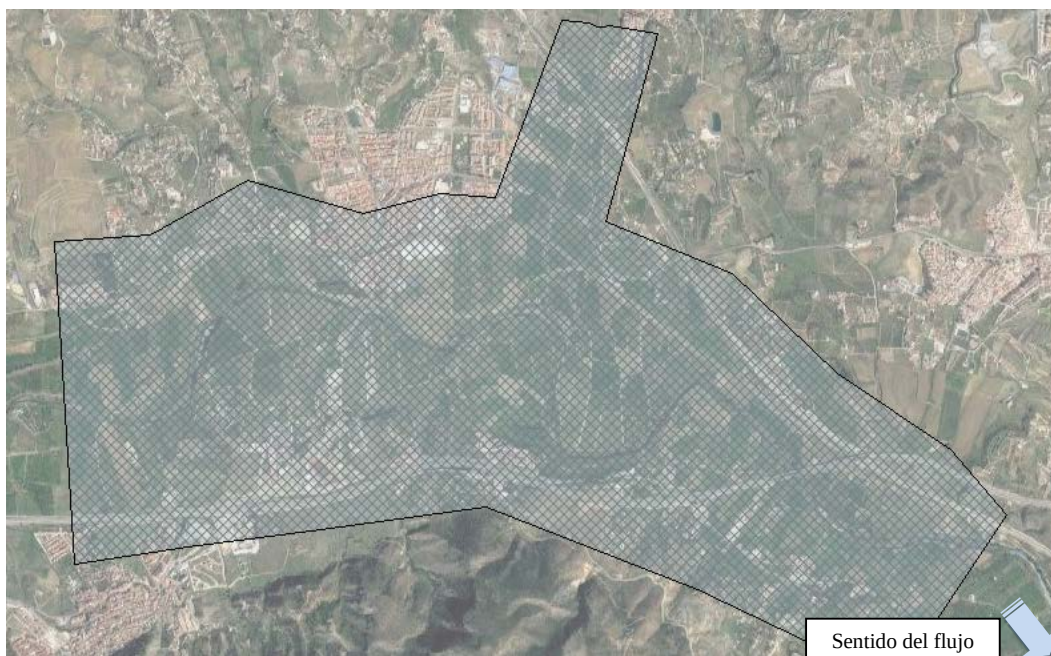
- Código 242. Coeficiente de rugosidad 0.05
- Código 222. Coeficiente de rugosidad 0.06
- Código 111. Coeficiente de rugosidad 0.1
- Código 321. Coeficiente de rugosidad 0.035
- Código 212. Coeficiente de rugosidad 0.04
- Código 133. Coeficiente de rugosidad 0.04
- Cauce. Coeficiente de rugosidad 0.035

3. Añadir capas de mapas que sean necesarias o ayuden a la visualización. Se ha optado por utilizar los servicios WMS de Googlemaps o BingSatellite.



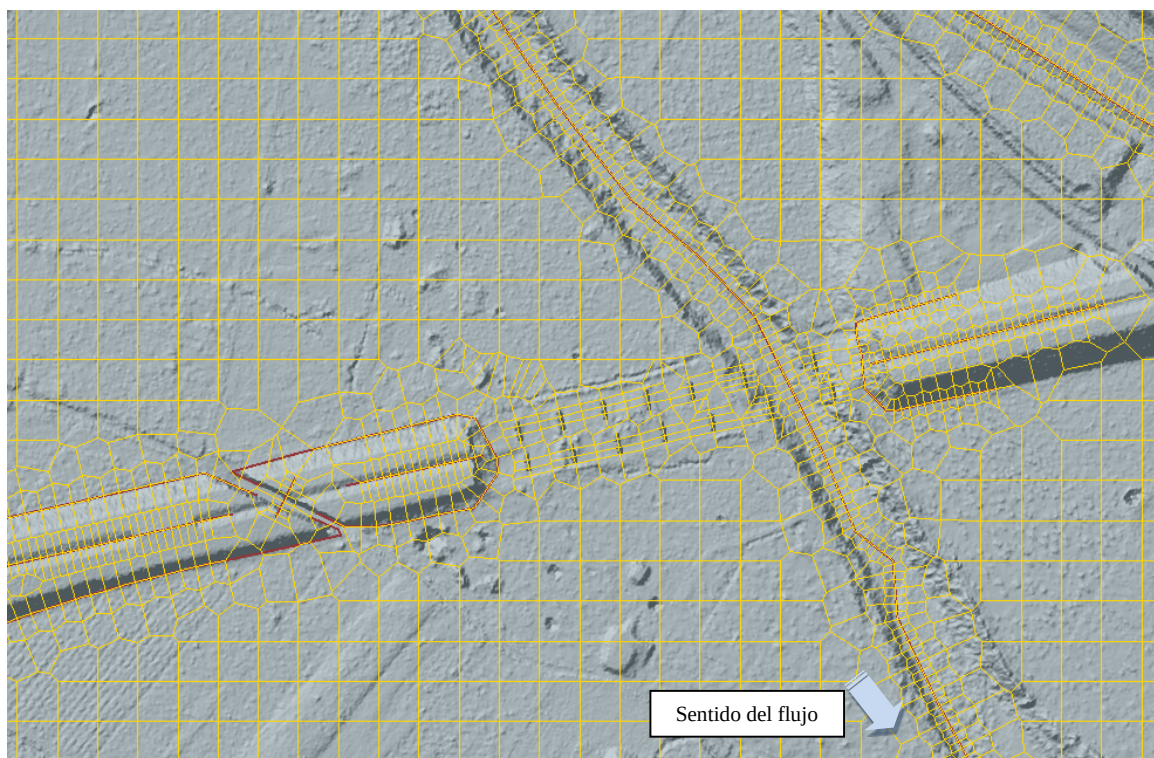
4 Inclusión de Googlemaps mediante servicio WMS, capas de regiones de Manning y calados de aguas bajas

4. Construcción del mallado mediante la limitación de la zona de estudio



5 Mallado de la zona de modelización

5. Añadir líneas de ruptura al mallado principal con objeto de representar barreras físicas al flujo, como muros, carreteras, encauzamientos, embovedados, etc.



6 Línea de ruptura para definir el puente de la A-357 (Obra de Drenaje Transversal, terraplenes y pilas) y el cauce del río Guadalhorce

6. Asignación al mallado de sus características, principalmente el tamaño de celda
7. Edición y modificación del mallado para su mejora, mediante el aumento o disminución del tamaño de celda, etc.
8. Procesar la geometría bidimensional realizada para crear las tablas de propiedades hidráulicas de las celdas y sus caras
9. Añadir cualquier estructura hidráulica necesaria dentro del mallado
10. Definir los límites del contorno del mallado
11. Introducir las condiciones iniciales del flujo dentro del editor de "Flow Unsteady" (Flujo Variable)
12. Seleccionar las opciones de cálculo para la simulación, tales como realizar la simulación con las ecuaciones completas de Saint-Venant o las de la Onda Difusiva, tiempo de paso, etc.
13. Realizar la simulación
14. Analizar los resultados y, en caso necesario, modificar los parámetros de entrada del modelo para conseguir resultados correctos.

4.1. ECUACIONES QUE RIGEN EL MODELO HIDRÁULICO

Nota: Desarrollo tomado de la Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, editada por el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino

La modelización hidráulica tiene como finalidad obtener los valores de **calados** y **velocidades** en cualquier punto de la zona a estudiar, para la avenida de interés (en el presente caso, los períodos de retorno de 100 y 500 años).

El flujo de un fluido isótropo viene gobernado por las ecuaciones de Navier-Stokes, que se obtienen a partir de la aplicación a dicho fluido de las ecuaciones de conservación de la masa y de conservación de la cantidad de movimiento. La integración vertical de las ecuaciones de Navier-Stokes para un fluido sometido a la presión atmosférica y bajo las hipótesis de distribución hidrostática de presiones y pendiente de fondo reducida da lugar a las ecuaciones de Saint-Venant o ecuaciones del flujo en lámina libre. Estas ecuaciones tienen carácter bidimensional y la forma más común de escribirlas es en su forma no conservativa, dando lugar al sistema de ecuaciones formado por la ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0$$

Y las ecuaciones de cantidad de movimiento:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial x} = -g \frac{\partial z}{\partial x} - \frac{\tau_{0x} + \tau_{sx}}{\rho h} + fv + \frac{1}{\rho h} \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{1}{\rho h} \frac{\partial}{\partial y} (hT_{xy})$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} = -g \frac{\partial z}{\partial y} - \frac{\tau_{0y} + \tau_{sy}}{\rho h} + fu + \frac{1}{\rho h} \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{1}{\rho h} \frac{\partial}{\partial y} (hT_{xy})$$

Donde:

- h es el calado o altura alcanzada por la lámina de agua
- u y v son las componentes de la velocidad
- t es el tiempo
- x e y son las componentes espaciales en dos dimensiones

- g es la aceleración de la gravedad
- z es la cota del lecho
- τ_{0y} y τ_{0s} son las tensiones tangenciales en el fondo y en la superficie
- ρ es la densidad del fluido
- f es la aceleración de Coriolis
- T es la turbulencia

En las ecuaciones de la cantidad de movimiento, el término de la variación de la velocidad (u,v) con el tiempo es la aceleración local, mientras que la variación del campo de velocidades en el espacio es la aceleración convectiva. Bajo la hipótesis de distribución hidrostática de presiones y pequeña pendiente del terreno, el término debido a las fuerzas gravitatorias es el correspondiente a:

$$g \frac{\partial}{\partial x,y} (h + z)$$

Y se puede descomponer en la suma del gradiente del calado y de la pendiente del lecho (S_0). El término de la tensión tangencial en el fondo viene dado por:

$$\frac{\tau_0}{\rho h} = g S_f$$

Siendo $S_f \sim uv$ la pendiente motriz, que se expresa según una ecuación de rugosidad. En general, y en ausencia de un modelo de turbulencia, lo habitual es que la pendiente motriz suele absorber las tensiones del fondo y las debidas a las de la turbulencia. El término $\frac{\tau_s}{\rho h}$ se debe a las tensiones tangenciales en la superficie debidas al viento. El término $f(u,v)$ es la aceleración de Coriolis, dada por el coeficiente $f=2w \sin(\lambda)$, donde w es la velocidad angular de la tierra, y λ la latitud. No se ha considerado en la presente modelización, pues su contribución es despreciable en un modelo fluvial como el del Estudio.

Por último, los dos últimos sumandos de las ecuaciones de cantidad de movimiento se deben a la turbulencia, y suelen expresarse en función del coeficiente de viscosidad turbulenta (o de remolino) y de la aceleración convectiva. En general, la modelización de la turbulencia en un esquema bidimensional supone el ajuste de

parámetros adicionales que requieren calibración, por lo que habitualmente suele incluirse este efecto en el debido a la rugosidad. En la presente modelización no se ha incluido, por no ser usual su inclusión en modelos fluviales de esta índole.

Considerando despreciables los términos de fricción en la superficie y de Coriolis, así como la turbulencia, las ecuaciones de cantidad de movimiento se pueden escribir según las siguientes ecuaciones, que es la manera más sencilla de modelar el flujo en lámina libre en dos dimensiones, y en la que se basa el programa de cálculo que se va a utilizar, HEC RAS, versión 6.1.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial x} = g(S_{0x} - S_{fx})$$

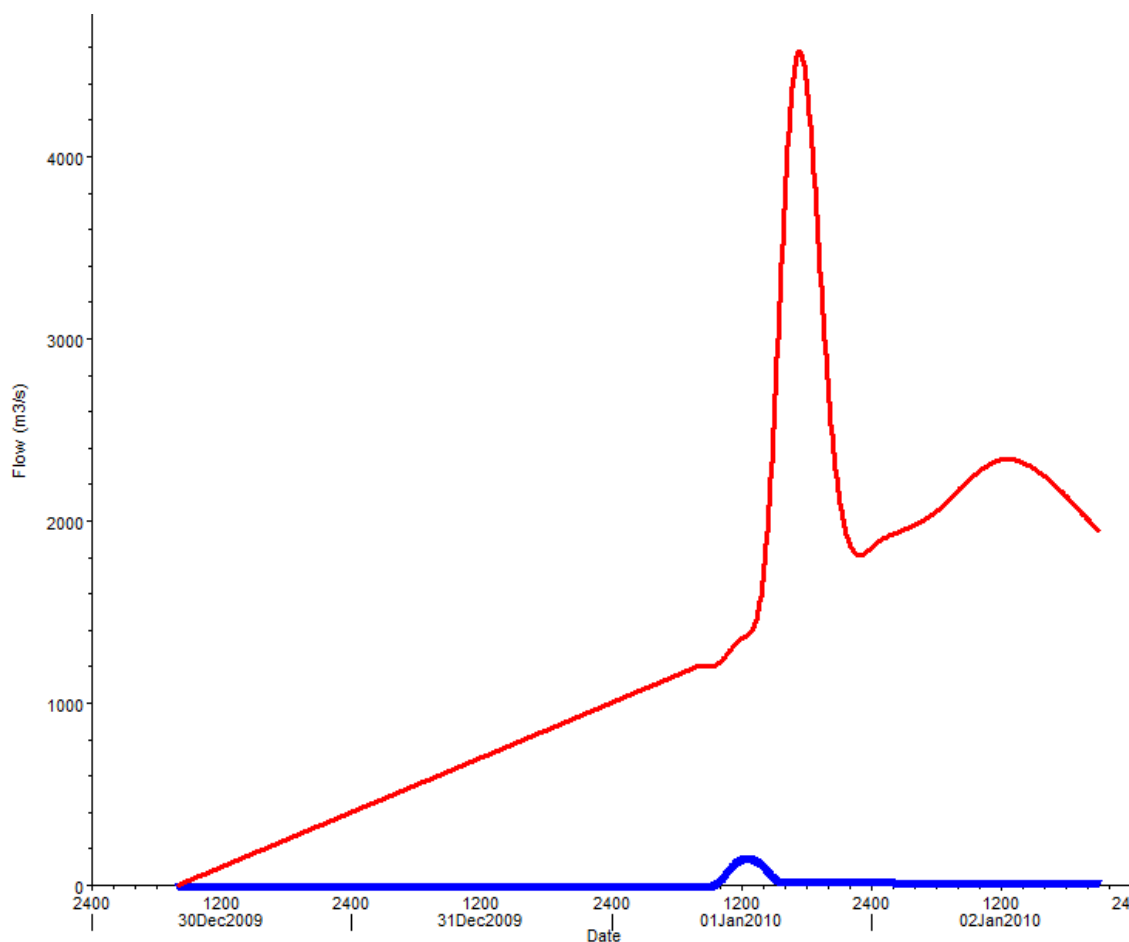
$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} = g(S_{0y} - S_{fy})$$

Donde:

- S_0 es la pendiente del lecho
- S_f es la pendiente motriz

El modelo bidimensional resuelve las ecuaciones de Saint-Venant en los nodos de una malla de cálculo generada a partir de la topografía. El modelo es capaz de resolver las situaciones de cambio de régimen hidráulico.

Por otro lado, si bien únicamente sería necesario realizar un modelo en régimen permanente con un caudal fijo de, por ejemplo, para el período de retorno de 500 años de **151,3 m³/s** para el arroyo de Torres y **4.579 m³/s** para el río Guadalhorce, se ha optado por realizar un modelo en régimen variable introduciendo los hidrogramas obtenidos en el Anejo Hidrológico.



7 Hidrogramas de entrada para un período de retorno de 500 años. En azul el hidrograma calculado en el anejo hidrológico para el arroyo de Torres con un valor máximo de 151,3 m³/s, y en rojo el adoptado para el río Guadalhorce, con un caudal máximo de 4.579 m³/s

Se opta por realizar un modelo en régimen variable con objeto de aprovechar la información obtenida en el Anejo Hidrológico y observar la respuesta del río Guadalhorce y del arroyo de Torres ante los episodios de las avenidas de período de retorno de 100 años y 500 años.

El problema de realizar una modelización en régimen variable estriba en la inestabilidad numérica en el tiempo, por lo que hay que ajustar el paso del tiempo según el número de Courant, el cual relaciona el dominio de dependencia de un punto en el esquema explícito con el dominio de dependencia de la ecuación diferencial, que en un esquema bidimensional se define como:

$$C \leq \max_{i,j} \left(\frac{|\sqrt{u^2 + v^2} + c| \Delta t}{l_{i,j}} \right) \leq \frac{1}{\sqrt{2}}$$

Con lo cual, el intervalo temporal debe quedar limitado de la siguiente manera:

$$\Delta t \leq \min_{i,j} \left(\frac{\frac{l_{i,j}}{\sqrt{2}}}{|\sqrt{u^2 + v^2 + c}|} \right)$$

Donde $l_{i,j}$ es la longitud del lado i del elemento j y el término del denominador representa la velocidad de transmisión de la información. Como se observa, el paso del tiempo de cálculo es proporcional a la resolución espacial. **Por tanto, a mayor resolución espacial, menor intervalo de tiempo requerido y, por tanto, mayor será el tiempo de la simulación.**

4.2. MODELO DIGITAL DEL TERRENO Y MALLADO

En los modelos bidimensionales, el cálculo de las variables hidráulicas se realiza en los elemento de una malla de cálculo que se debe confeccionar a partir de un Modelo Digital del Terreno (MDT). Cuanto mayor sea la definición de dicha malla, menor será el error cometido en el cálculo de los niveles y velocidades debido a la topografía. El inconveniente que se plantea en la modelización bidimensional, como se ha comentado en el apartado anterior, es que la relación entre el aumento de resolución y el aumento del tiempo de cálculo es mucho mayor que en el caso de la modelización unidimensional. A mayor detalle de la malla, mayor número de elementos y, por tanto, mayor tiempo de cálculo.

En este sentido, hay que tener en cuenta que, para que un modelo bidimensional tenga buenas características de convergencia, **el número de Courant debe ser próximo a 1.**

La cartografía utilizada contiene la información altimétrica de la nube de puntos LIDAR con un tamaño de pixel de 1 metro. A partir de esta información, se creó un fichero RASTER con el mismo tamaño de celda (1 m) que fue incorporado a HEC RAS.

Primeramente se realizó un mallado estructurado con un tamaño de celda de 25 metros de lado, al que se le añadieron líneas de ruptura, generalmente de un tamaño menor, con objeto de definir mejor la orografía de elementos singulares de gran

importancia para la simulación hidráulica, como las pilas y los terraplenes de los puentes, las motas del ferrocarril y de las carreteras, los cauces fluviales, etc., Como dato significativo, para la geometría del modelo de la “Situación Actual” se han originado 29.249 celdas. Aunque el número de celdas no era excesivo, se decidió otorgar un tiempo de paso de 3 segundos para asegurar la estabilidad de la simulación. Así se hicieron las primeras simulaciones, y aunque el tiempo de cálculo era largo (la simulación abarca 85 horas), el modelo era estable. Como muestra de la estabilidad del modelo, se detallan las dos posibilidades generales a las que se puede encontrar el número de Courant de manera simplificada en función del tamaño de malla (25 y 5 metros de lado):

- Celda de 25 metros de lado y tiempo de paso de 3 segundos:

$$C = v \cdot \frac{3}{25} = v \cdot 0,12$$

El número de Courant será próximo a 1 siempre y cuando la velocidad en la celda sea inferior a 8.3 m/s

- Celda de 5 metros de lado y tiempo de paso de 3 segundos:

$$C = v \cdot \frac{3}{5} = v \cdot 0,6$$

El número de Courant será próximo a 1 siempre y cuando la velocidad en la celda sea inferior a 1,66 m/s

Estos parámetros son difíciles de conjugar, pues en los sitios de análisis de mayor interés y donde se requiere disponer de mayor información (y por ende un tamaño de celda menor) coinciden a menudo con lugares donde la velocidad es elevada (tránsito por puentes, obras de paso de drenaje transversal, estrechamientos, alivios por terraplenes y motas). Aun así, el modelo presenta una alta estabilidad, si bien los tiempos de cálculo, como se ha comentado previamente, son muy elevados dada la gran amplitud del intervalo de simulación que se ha decidido abarcar.

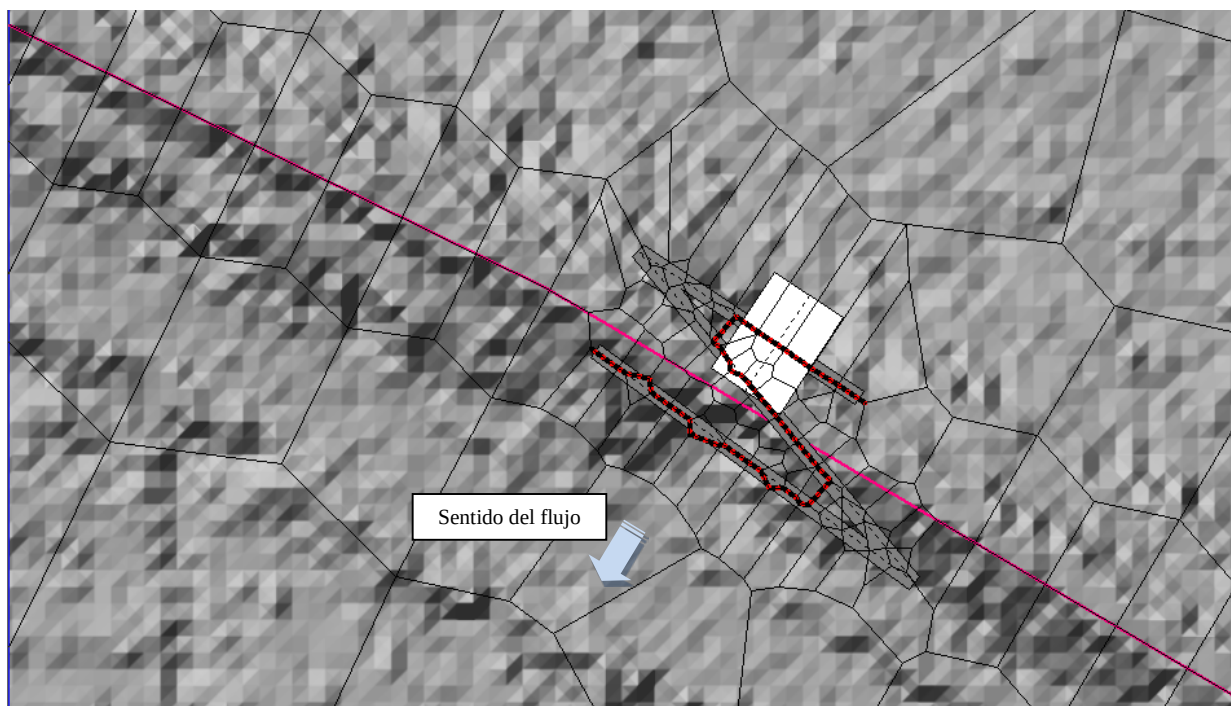
El mallado fue mejorado de manera iterativa conforme se hacían las primeras simulaciones, de manera que en los elementos singulares de importancia se realizó un mallado tendente a perfilarlos con objeto de que las caras de las celdas contuvieran la información adecuada a las cotas, como en las pilas de los puentes. Esto se ve apoyado

con la virtud que tiene HEC RAS de mantener en las caras de sus celdas toda la información del MDT para el cálculo posterior, ya que las celdas no contienen las cotas del terreno únicamente en sus vértices, como en otras aplicaciones.

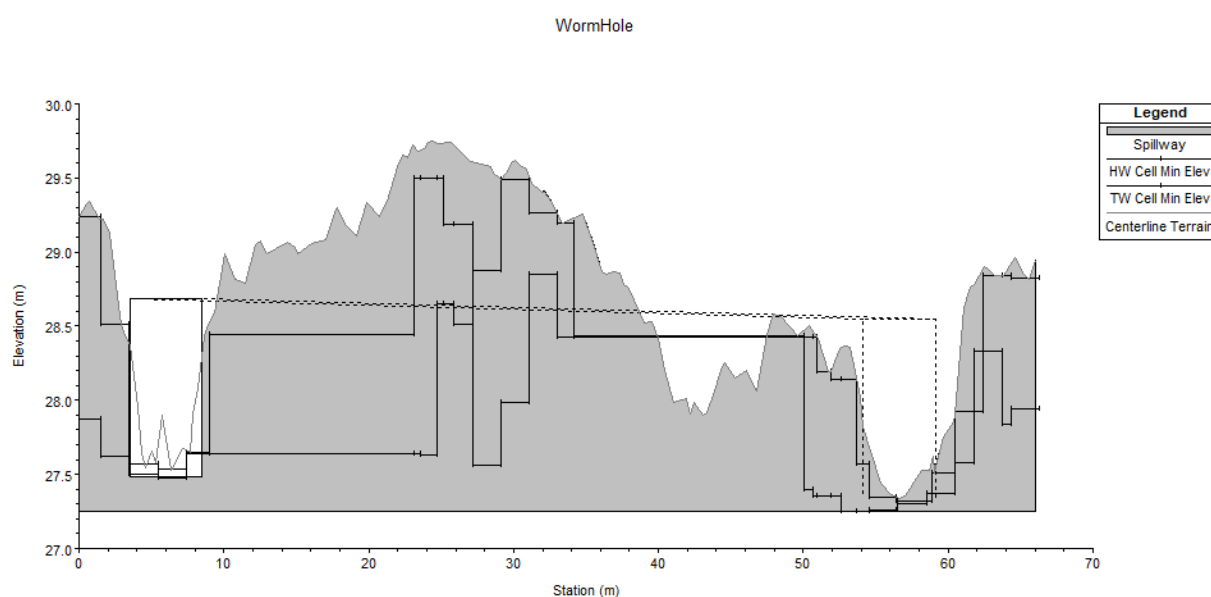
Por último es necesario reflejar cómo se ha simulado la obra de drenaje transversal del ferrocarril al oeste del puente sobre el arroyo de Torres. Existen varias formas de afrontar dicha simulación en un modelo bidimensional mediante HEC RAS. Una de ellas consiste en eliminar del modelo digital del terreno la información de la superficie y sustituir ese tramo por una clásica obra de paso con cotas las correspondientes a aguas arriba y abajo del paso. El inconveniente de este método es el impedimento de visualizar si en algún momento el flujo circula por la superficie debido a una falta de capacidad del mismo. Para conservar dicha información del MDT se ha optado por simular esta estructura mediante el método denominado Wormhole (agujero de gusano), debatido y testado por personas de todo el mundo.

Este método permite realizar una conexión entre dos partes del mallado bidimensional sin alterar el MDT original, estableciendo las condiciones de las estructuras hidráulicas en el editor "Culverts". Se han realizado análisis de sensibilidad con este método frente a las clásicas modelizaciones unidimensionales, resultando igualmente válidas. Puede consultarse su justificación en el siguiente enlace: http://www.surfacewater.biz/long_culvert/

Básicamente su desarrollo estriba en utilizar la barra de herramientas de conexión entre dos partes del mallado. Se traza la entrada y la salida de la estructura hidráulica mediante una línea con forma de "Z". En el editor se plasma el perfil longitudinal del terreno que ha recorrido dicha línea. Como se reconocerá las partes bajas de las entradas y salidas, se aprovecha para incluir un "Culvert" en ellas con los condicionantes hidráulicos reales que queramos introducir. Los resultados son totalmente válidos.



8 Detalle de implementación de la Obra de Drenaje Transversal bajo el ferrocarril convencional mediante el método de Wormhole



9 Imagen del método Wormhole, mostrando el perfil del terreno en su desarrollo y la entrada y la salida de la Obra de Drenaje Transversal bajo el ferrocarril convencional

4.3. PÉRDIDA DE CARGA

La tensión tangencial debida al rozamiento con el contorno en la estimación de las variables hidráulicas es fundamental. Las pérdidas de carga por fricción en el cauce

y la llanura de inundación están relacionadas fundamentalmente con la composición del material del lecho.



10 Imagen del cauce del río Guadalhorce aguas abajo del puente de la A-357 con llanura de inundación a base de plantación de cítricos

La fricción por rozamiento se suele expresar en función de un coeficiente. En el caso de HEC RAS, éste es fijado por Manning según la ecuación:

$$S_f = \frac{V^2 n^2}{R^{\frac{4}{3}}}$$

Siendo:

- S_f la pendiente de fricción
- V la velocidad del flujo en la sección
- R el radio hidráulico
- n el número de Manning

La pendiente de fricción se descompone según las ecuaciones:

$$S_{fx} = \frac{u\sqrt{u^2 + v^2}n^2}{h^{\frac{4}{3}}}$$

$$S_{fy} = \frac{u\sqrt{u^2 + v^2}n^2}{h^{\frac{4}{3}}}$$

Donde:

- u y v son las componentes de la velocidad
- h es el calado
- n es el número de Manning en el punto de cálculo

Para estimar el número de Manning se propone el método de Cowan, abalado por el Soil Conservation Soil. Este método se basa en la estimación de un valor inicial de la rugosidad y su posterior modificación, según unos valores correctores, para obtener un valor final de la rugosidad. Este método expresa la rugosidad como:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m$$

Donde:

- n es el coeficiente de rugosidad de Manning
- n_0 es la rugosidad debida a los materiales del cauce
- n_1 es la rugosidad debida al grado de irregularidad del cauce a lo largo del tiempo
- n_2 es la rugosidad debida a las variaciones de la sección transversal del cauce a lo largo del tramo
- n_3 es la rugosidad debida al efecto de las obstrucciones a lo largo del tramo
- n_4 es la rugosidad debida a la presencia de vegetación en el tramo
- m es la rugosidad debida a la sinuosidad (meandros) del tramo

CONDICION DEL CAUCE			VALORES
MATERIAL CONSIDERADO	Tierra	n ₀	0.030
	Roca portada		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
GRADO DE IRREGULARIDAD	Liso	n ₁	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
VARIACIONES DE LA SECCION TRANSVERSAL DEL CAUCE	Gradual	n ₂	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
EFECTO RELATIVO DE OBSTRUCCIONES	despreciable	n ₃	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
VEGETACION	Baja	n ₄	0.005-0.010
	Media		0.010-0.020
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
CANTIDAD DE MEANDROS	Menor	n ₅	1
	Apreciable		1.150
	severa		1.300

11 Valores de los coeficientes de rugosidad de Manning propuestos por Cowan. "Guía Metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografías de zonas inundables. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino"

A la vista de lo anterior, asignamos el valor para el cauce determinado en el EHPIOG (el cual ha utilizado el método de COWAN), en su Apéndice 9 del Anejo N°8 Estudio Hidráulico, el cual tiene un valor de 0,035. A continuación se recogen las tablas para los coeficientes de rugosidad del cauce y de las llanuras de inundación (margen izquierdo y margen derecho), tanto del arroyo de Torres como para el río Guadalhorce del EHPIOG:

Tramo 775 6-17

1 Coeficientes de rugosidad de Manning para el arroyo de Torres del EHPIOG

Cauce	Station	Margen izquierdo	Canal central	Margen derecho
Arroyo de Torres	1419.793	0.08	0.035	0.08
Arroyo de Torres	1450.793	0.08	0.035	0.08
Arroyo de Torres	1491.223	0.08	0.035	0.08
Arroyo de Torres	1529.322	0.08	0.035	0.08
Arroyo de Torres	1567.471	0.035	0.035	0.08
Arroyo de Torres	1607.366	0.035	0.035	0.08
Arroyo de Torres	1642.793	0.035	0.035	0.08
Arroyo de Torres	1684.052	0.035	0.035	0.08
Arroyo de Torres	1733.696	0.035	0.035	0.08
Arroyo de Torres	1770.38	0.035	0.035	0.08
Arroyo de Torres	1815.354	0.035	0.035	0.08
Arroyo de Torres	1856.543	0.035	0.035	0.08
Arroyo de Torres	1891.373	0.035	0.035	0.08
Arroyo de Torres	1929.559	0.035	0.035	0.08
Arroyo de Torres	1964.914	0.035	0.035	0.08
Arroyo de Torres	2007.234	0.035	0.035	0.08
Arroyo de Torres	2045.843	0.035	0.035	0.08
Arroyo de Torres	131.551	0.08	0.035	0.08
Arroyo de Torres	169.7034	0.076	0.035	0.08
Arroyo de Torres	212.8376	0.076	0.035	0.08
Arroyo de Torres	263.2901	0.08	0.035	0.08
Arroyo de Torres	306.4071	0.072	0.035	0.08
Arroyo de Torres	345.4193	0.071	0.035	0.08
Arroyo de Torres	382.4328	0.069	0.035	0.08
Arroyo de Torres	416.63	0.07	0.035	0.08
Arroyo de Torres	457.9722	0.08	0.035	0.081
Arroyo de Torres	486.5843	0.08	0.035	0.08
Arroyo de Torres	537.5925	0.08	0.035	0.08
Arroyo de Torres	595.0858	0.079	0.035	0.08

2

Arroyo de Torres	637.4258	0.08	0.035	0.08
Arroyo de Torres	708.7965	0.08	0.035	0.1
Arroyo de Torres	728.4671	0.08	0.035	0.088

Coefficientes de rugosidad de Manning para el río Guadalhorce del EHPIOG

Tramo 775 8-13

Cauce	Station	Margen Izquierdo	Canal	Margen Derecho
Rio Guadalhorce	51.99888	0.08	0.035	0.075
Rio Guadalhorce	125.0038	0.08	0.035	0.075
Rio Guadalhorce	176.0238	0.08	0.035	0.077
Rio Guadalhorce	230.107	0.08	0.035	0.078
Rio Guadalhorce	285.5775	0.08	0.035	0.078
Rio Guadalhorce	341.048	0.08	0.035	0.078
Rio Guadalhorce	382.9271	0.08	0.035	0.078
Rio Guadalhorce	440.6158	0.08	0.035	0.079
Rio Guadalhorce	480.2768	0.08	0.035	0.077

Tramo 775 4-15

3 Coeficientes de rugosidad de Manning para el río Guadalhorce del EHPIOG

Cauce	Station	Margen Izquierdo	Canal	Margen Derecho
Rio Guadalhorce	174.4119	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	255.2033	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	323.8566	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	390.3246	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	438.2933	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	497.4398	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	548.6969	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	601.3283	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	639.9255	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	689.4823	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	709.2777	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	714.4728	0.08	0.035	0.08

Rio Guadalhorce	737.7958	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	806.919	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	872.9889	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	920.4135	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	952.2396	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	1020.488	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	1069.284	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	1107.468	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	1150.604	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	1200.101	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	1290.621	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	1345.014	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	1395.618	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	1450.07	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	1502.391	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	1571.996	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	1614.096	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	1663.478	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	1733.598	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	1790.066	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	1841.725	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	1913.971	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	1981.865	0.08	0.035	0.078
Rio Guadalhorce	2042.822	0.08	0.035	0.079
Rio Guadalhorce	2098.266	0.08	0.035	0.079
Rio Guadalhorce	2151.528	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	2220.782	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	2281.479	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	2325.478	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	2365.485	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	2412.483	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	2461.49	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	2523.488	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	2595.494	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	2668.049	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	2722.739	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	2795.938	0.08	0.035	0.074
Rio Guadalhorce	2861.433	0.08	0.035	0.063
Rio Guadalhorce	2938.225	0.08	0.035	0.065
Rio Guadalhorce	3007.563	0.08	0.035	0.069
Rio Guadalhorce	3085.02	0.08	0.035	0.07
Rio Guadalhorce	3152.836	0.079	0.035	0.07
Rio Guadalhorce	3214.206	0.079	0.035	0.071

Rio Guadalhorce	3286.739	0.078	0.035	0.072
Rio Guadalhorce	3357.314	0.08	0.035	0.072
Rio Guadalhorce	3428.031	0.08	0.035	0.071
Rio Guadalhorce	3490.441	0.08	0.035	0.072
Rio Guadalhorce	3562.887	0.08	0.035	0.073

Tramo 775 12-11

4 Coeficientes de rugosidad de Manning para el río Guadalhorce del EHPIOG

Cauce	Station	Margen Izquierdo	Canal	Margen Derecho
Rio Guadalhorce	105.6809	0.081	0.035	0.069
Rio Guadalhorce	149.5895	0.081	0.035	0.06
Rio Guadalhorce	192.1332	0.081	0.035	0.062
Rio Guadalhorce	240.5067	0.081	0.035	0.066
Rio Guadalhorce	285.2829	0.081	0.035	0.07
Rio Guadalhorce	341.7187	0.081	0.035	0.072
Rio Guadalhorce	403.0473	0.081	0.035	0.077
Rio Guadalhorce	461.1851	0.081	0.035	0.078
Rio Guadalhorce	515.7452	0.08	0.035	0.077
Rio Guadalhorce	577.4606	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	587.2993	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	593.1131	0.08	0.035	0.08
Rio Guadalhorce	601.163	0.09	0.035	0.08

Si bien en el EHPIOG, como se desprende de los valores de las tablas anteriores, se utiliza para las llanuras de inundación un **coeficiente de rugosidad de 0,08** correspondiente al cultivo de frutales, tipología agrícola que es de hecho la realidad de la zona de estudio, se ha preferido utilizar un **coeficiente de 0,06** para el mismo uso en las simulación “Situación actual”, pues este valor de 0,06 es el señalado para los usos de *Zonas Agrícolas-Cultivos Permanentes-Frutales y Plantaciones de bayas (Plantaciones de lúpulo)-Frutales en regadío-Cítricos (código 222)* en la “*Guía metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografía de zonas inundables*” editada por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, publicada en marzo de 2011. Además, adoptando este valor, se está del lado de la seguridad.

Este cambio de coeficiente de rugosidad no es un aspecto que afecte a la justificación de las medidas de defensa propuestas, pues únicamente servirán de partida para establecer la “Situación actual” y poder compararla con las propuestas de defensa, por lo que todas se compararán de manera armónica con el mismo coeficiente de rugosidad de partida. En cualquier caso, el adoptar este coeficiente (0,06) frente al usado en el EHPIOG (0,08) respaldará el presente estudio de detalle frente a los futuros que se realizarán para la cuenca del río Guadalhorce, pues presumiblemente deberán adoptar el valor de 0,06 para la tipología de cultivo de frutales.

Por otro lado es necesario justificar las pérdidas de carga por contracción y expansión del flujo a la entrada y salida de las estructuras hidráulicas debidas a los estrechamientos o ensanchamientos bruscos que pudiera haber. En el caso que nos ocupa, éstos no se pueden considerar bruscos, salvo quizá los debidos a las obras de drenaje transversal del arroyo de Torres. En cualquier caso la expresión a utilizar por HEC RAS es la siguiente:

$$\Delta H = k \left[\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} \right]$$

Donde:

- ΔH es la pérdida de energía entre las secciones 1 y 2
- K es el coeficiente de pérdidas por contracción o expansión
- V_1 y V_2 son las velocidades medias en las secciones 1 y 2
- G es la aceleración de la gravedad

Los valores a aplicar para los coeficientes de pérdidas por contracción o expansión son 0,3 y 0,5 respectivamente, las cuales son las utilizadas en el EHPIOG para la transición en estructuras.

5. PLANTEAMIENTO DE CADA UNA DE LAS SIMULACIONES

En el presente apartado se mostrarán los principales parámetros introducidos en HEC-RAS para cada una de las simulaciones realizadas.

A continuación, de manera pormenorizada, se describirá cómo se ha afrontado cada modelización y cuáles son los resultados obtenidos en función de los objetivos buscados para cada una de ellas.

En el siguiente cuadro se recogen de manera sintética las seis simulaciones principales realizadas con sus principales parámetros para HEC-RAS.

5 Principales parámetros de las cuatro simulaciones realizadas en HEC-RAS

	Situación Actual	T100 Actual	T100 Torres	T100 VID	T100 VID Torres	Propuesta de defensa SNU T500
Geometría	Situación Actual Bis	Situación Actual Bis	Situación Actual Bis	Situación Actual Bis T100 Revisión Ordenada	Situación Actual Bis Torres T100 Revisión Ordenada	Nueva Fábrica T500Z V0.04
Hidrograma (Flow Files)	Guadalhorc e&Torres	Guadalhorc&Torres T100	Guadalhorc&Torres T100	Guadalhorc&Torres T100	Guadalhorc&Torres T100	Guadalhorc Torres
Plan	Situación Actual Bis	T100 Actual	T100 Torres	T100 VID Nueva Ordenación	T100 VID Torres	Nueva Fábrica T500Z V0.04
Terrain	Pilas Unificadas 1x1	Pilas Unificadas 1x1	Pilas Unificadas 1x1	Pilas Unificadas 1x1	Pilas Unificadas 1x1	Pilas Unificadas 1x1
Parámetros de cálculo						
m	1	1	1	1	1	1
f	1	1	1	1	1	1
Ecuaciones utilizadas	Full Moment	Full Moment	Full Moment	Full Moment	Full Moment	Full Moment
Tiempo intervalo de cálculo	3 segundos	3 segundos	3 segundos	3 segundos	3 segundos	3 segundos
Tamaño de celda medio (m²)	405,59	405,59	405,59	366,59	364,24	131,11
Número de celdas	29.249	29.249	29.249	32.361	32.525	90485

En el cuadro que se expone a continuación se exponen las simulaciones para determinar la Zona de Flujo Preferente tras la Propuesta de Defensa.

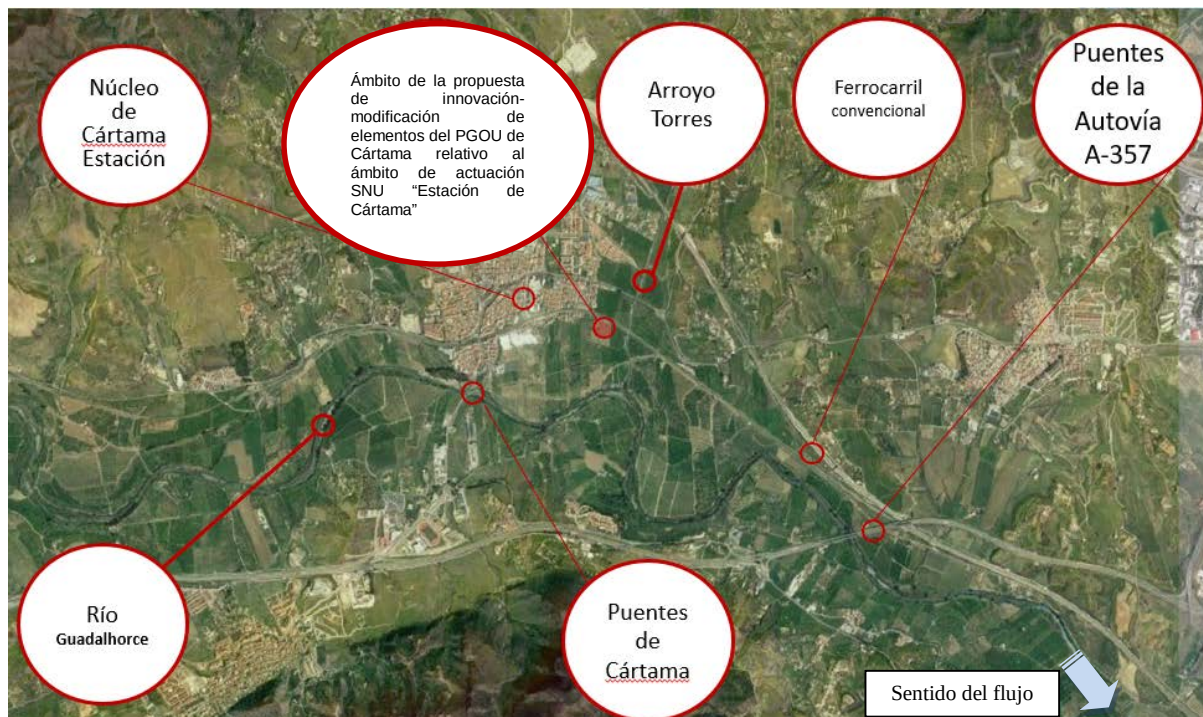
	ZFPTorresNuevaFabrica	ZFPGuadalhorceNuevaFabrica
Geometría	NuevaFábricaT500ZV0.04	NuevaFábricaT500ZV0.04
Hidrograma (Flow Files)	Guadalhorce&TorresT100	Guadalhorce&TorresT100
Plan	ZFPTorresNuevaFabrica	ZFPGuadalhorceNuevaFabrica
Terrain	PilasUnificadas 1x1	PilasUnificadas 1x1
Parámetros de cálculo		
m	1	1
f	1	1
Ecuaciones utilizadas	Full Moment	Full Moment
Tiempo intervalo de cálculo	3 segundos	3 segundos
Tamaño de celda medio (m²)	131,11	131,11
Número de celdas	90.485	90.485

Los parámetros para cada una de las simulaciones son bastante homogéneos entre sí, persiguiendo en todo caso la estabilidad de la simulación, la precisión de los resultados y la optimización en el tiempo de cálculo para todas ellas.

5.1. GEOMETRÍA DE LA SIMULACIÓN “SITUACIÓN ACTUAL”

En este primer apartado se describirán las bases generales aplicadas a todas las modelizaciones que se han simulado, pues las que serán descritas posteriormente son variaciones con respecto a la “Situación Actual”. Esta primera servirá de modelo base para implementar alternativas o soluciones sobre la realidad topográfica.

En la imagen siguiente se pueden visualizar los principales ítems a tener en cuenta para la simulación hidráulica del arroyo de Torres y el río Guadalhorce en el tramo de estudio con objeto de defender la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama”.



12 Área de interés para la modelización del Arroyo de Torres y el río Guadalhorce a su paso por el Área de influencia de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama”

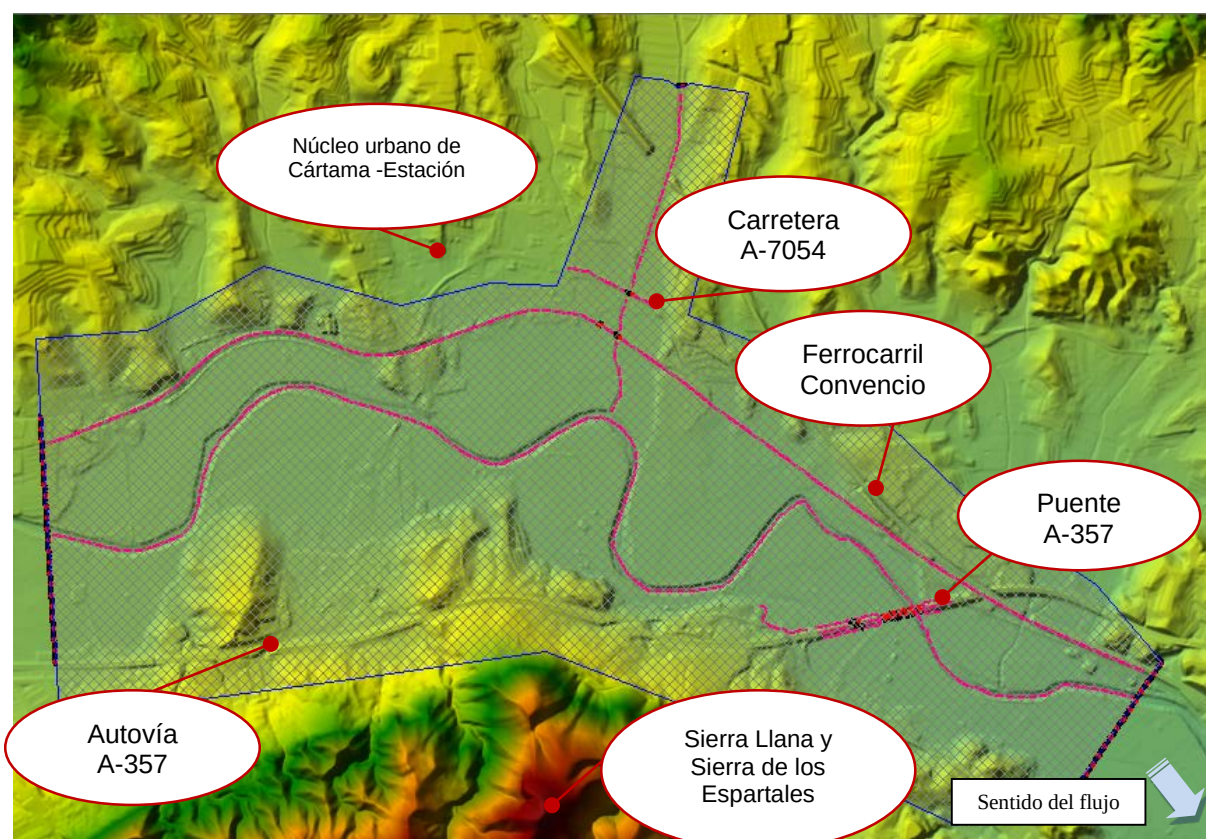
Desde un punto de vista hidráulico es fundamental la simulación correcta de:

- El cauce del río Guadalhorce y el arroyo de Torres
- El puente de la A-357 y las obras de drenaje transversal sobre el arroyo de Torres a su paso por la carretera A-7054 y el ferrocarril convencional

Es más, el puente de la A-357 es un elemento altamente singular, pues sus terraplenes crean una sobreelevación de la lámina de agua que tiene influencia prácticamente hasta los puentes de acceso a Cártama Estación. Es por ello que se decidió que el modelo abarcara completamente el ámbito de dicha sobreelevación (ya que el Área de influencia de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” se

encuentra en su área de influencia), por lo que por su lado inferior, el fin del modelo se sitúa unos 1.300 metros aguas abajo del puente de la A-357; y por su lado superior, 2.500 metros aguas arriba de los puentes de acceso a Cártama. De esta manera, no sólo se abarca la influencia decisiva en el flujo del estrechamiento producido por el puente de la A-357, sino que también se contempla en toda su totalidad la influencia que pueden tener las propuestas de defensa de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” y hasta dónde alcanzan las posibles perturbaciones una vez se comparen con éste modelo denominado “Situación Actual”.

Asimismo, la extensión está condicionada por la llanura natural de inundación, que en su lado Sur queda confinada por las laderas de la Sierra Llana y Sierra de los Espartales.



13 Extensión y configuración del mallado para la zona de estudio

En su lado Norte se configura un relieve menos abrupto, con delimitaciones más artificiales, como el terraplén del ferrocarril convencional o el mismo núcleo urbano de Cártama Estación.



14 Vista de las dos delimitaciones artificiales de la llanura de inundación al Norte del río Guadalhorce: terraplén del ferrocarril convencional y el núcleo urbano de Cártama Estación

En cuanto al arroyo de Torres la simulación se remonta 1.800 metros aguas arriba de la confluencia de los dos flujos persiguiendo:

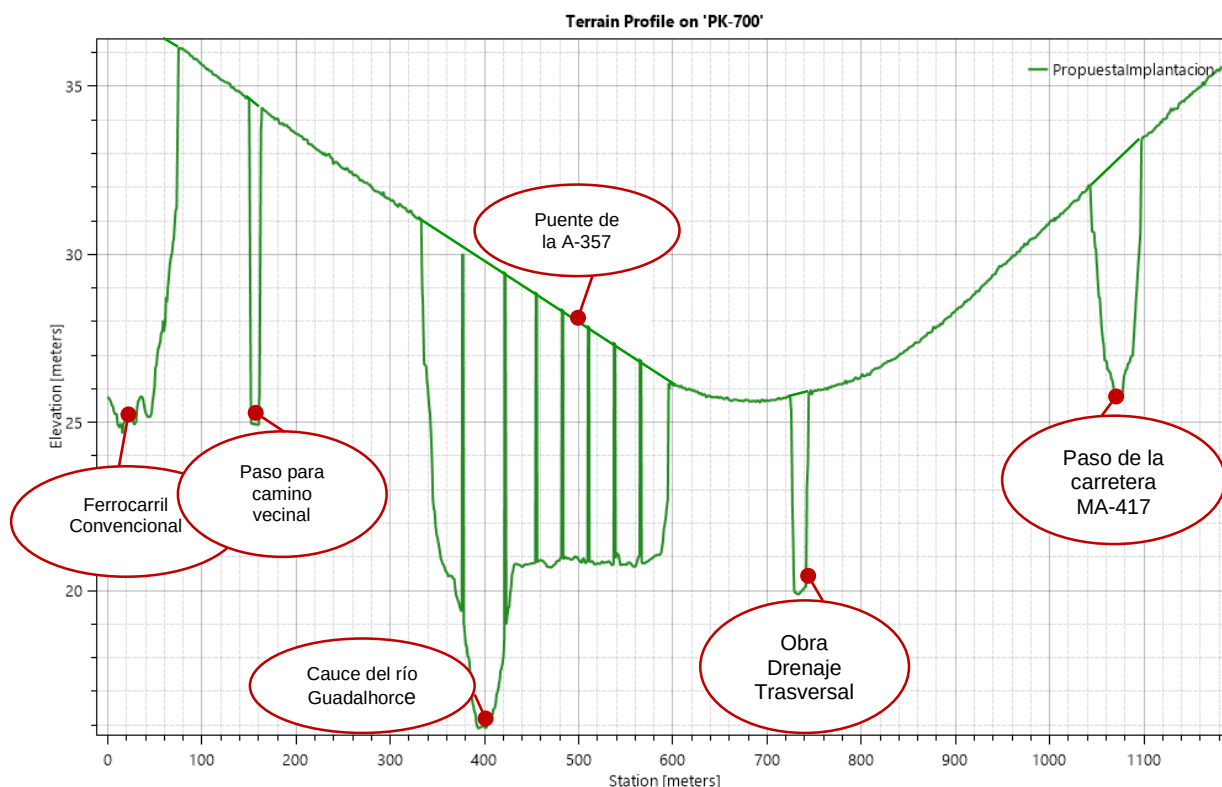
- Un ámbito de simulación que confine tanto el comportamiento de las avenidas del arroyo de Torres con la lámina del río Guadalhorce baja, como el momento en el que la lámina de agua del río Guadalhorce es máxima y el arroyo de Torres debe seguir desaguando su caudal.
- Una extensión suficiente para introducir la defensa de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” y la influencia sobre el núcleo urbano de Cártama Estación.



15 Ámbito de simulación del arroyo de Torres con sus elementos de contorno principales

Ya se ha mencionado la fuerte perturbación que origina el puente de la A-357 sobre el río Guadalhorce. Dicho puente en realidad son dos, uno para cada sentido de circulación, si bien están tan próximos que hidráulicamente deben ser considerados como un único puente.

Su estructura es a base de un conjunto de 3 pilas de 1 metro de diámetro en hormigón armado para cada apoyo de vanos. En total hay ocho vanos con una separación variable entre ellos, si bien el mayor es el que se ubica sobre el cauce de aguas bajas del río Guadalhorce con una luz de 45 metros. El resto tienen una amplitud media de 35 metros.



16 Sección transversal donde se refleja el MDT del puente de la A-357 y la inserción de las pilas del mismo hasta una altura de 30 metros

A la derecha del puente y en su terraplén se ubica una Obra de Drenaje Transversal para un camino que claramente se ubica en la misma cota de la llanura de inundación. En el extremo derecho se encuentra un paso para la carretera MA-417. En su margen izquierda, hay primeramente un paso para un camino vecinal y en su extremo, un paso para el ferrocarril convencional a su misma cota.

Como se recoge en la siguiente imagen, el mallado de este punto crítico ha sido muy cuidadoso, estableciendo una amplitud de celda para las líneas de ruptura de las pilas, obras de paso, terraplenes, etc. de 5 metros. Es conveniente realizar una transición suave entre los tamaños de malla para otorgar estabilidad a la simulación. Dado que el tamaño de celda medio es de 25 metros, no ha parecido conveniente ni necesario el recurrir a tamaño de celdas menores.



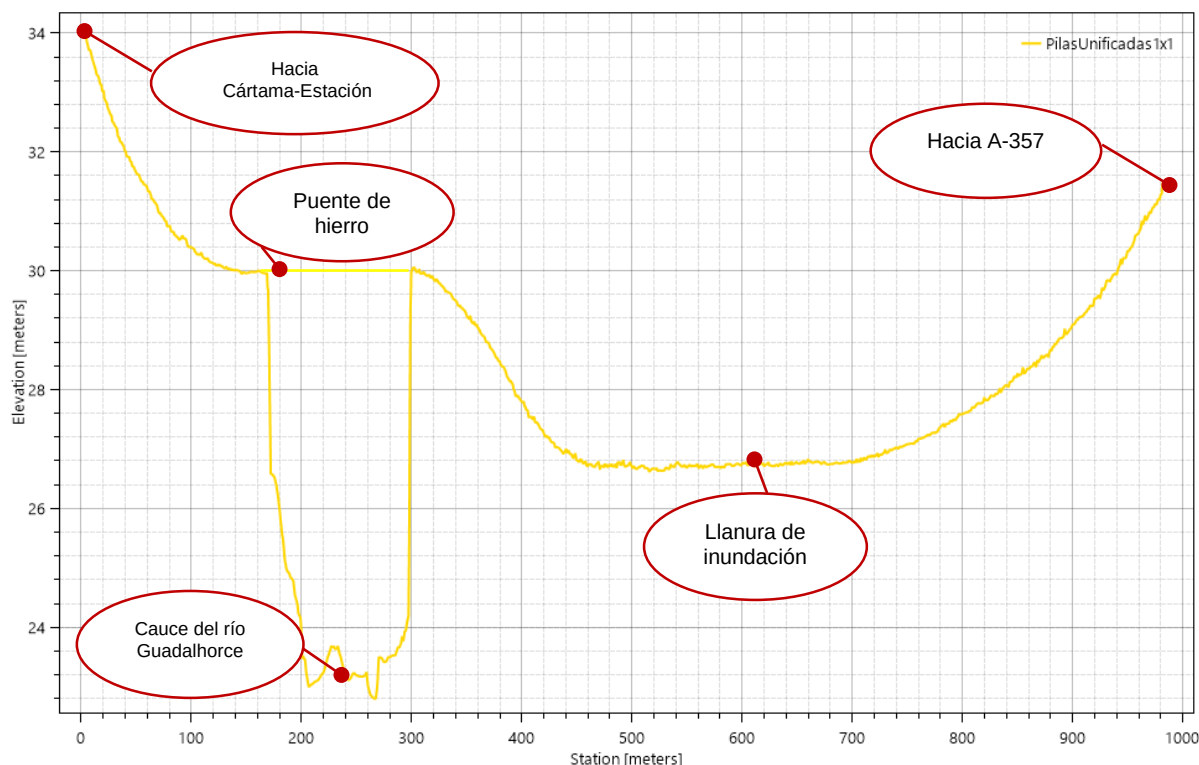
17 Mallado con detalle de los terraplenes, las pilas y la Obra de Drenaje Transversal del puente de la A-357, así como el cauce del río Guadalhorce y las vías del ferrocarril convencional.

Los tableros de los puentes no han sido introducidos por los siguientes motivos:

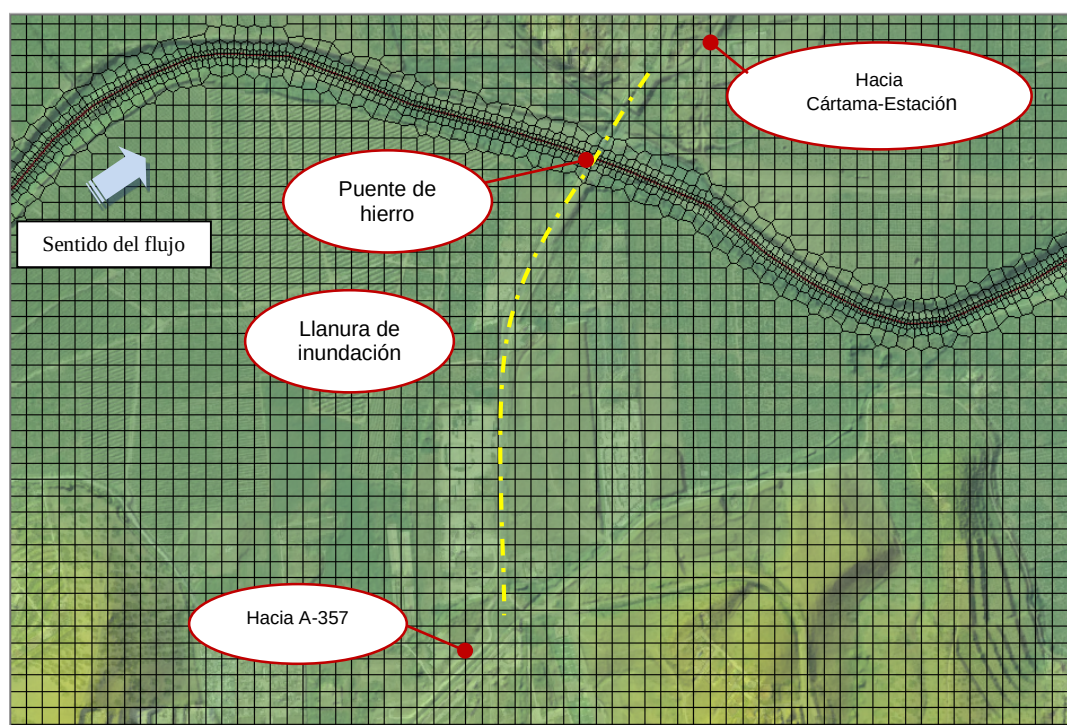
- En todas las simulaciones realizadas, la lámina de agua no alcanza al tablero del puente de la A-357
- Introducir el tablero de un puente para una simulación en 2D en HEC-RAS, anterior a la versión 6.1, no es posible. Las alternativas para su modelización son:
 1. Simularlo como una Obra de Drenaje Trasversal, cuyas ecuaciones son muy similares, pero no exactamente las mismas.
 2. Realizar una transición del modelo 2D a 1D justo antes del puente. Esto no pareció oportuno dadas las singularidades en el flujo que se detectaron, al no ser claramente unidimensional y variar en función de las obras de defensa propuestas y el caudal. La determinación de la orientación de las secciones transversales y el área de flujo nulo sería muy complicado por lo comentado anteriormente. A esto hay que añadir que la estabilidad del modelo se vería muy comprometida ante este tipo de transición.

Para concluir el análisis de los puentes existente en el área de modelización es necesario comentar cómo se ha afrontado la simulación del puente de acceso a Cártama-Estación de la vía A-7057, y su puente paralelo fuera de uso rodado, denominado “puente de hierro”. Los tableros de ambos puentes se posicionan a la cota +30.00 por lo que para la avenida de 500 años la lámina de agua los alcanzará. Se ha decidido no incluir en este caso los tableros y continuar con una simulación 2D sin ellos por los siguientes dos motivos:

1. Se localizan aguas arriba de la zona de estudio, por lo que la no inclusión de los tableros, los cuales se oponen hidráulicamente al paso del flujo provocando una sobreelevación del nivel hidráulico aguas arriba de los mismos, en todo caso, colocaría a la simulación del lado de la seguridad en cuanto a los intereses de defensa de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama”, pues no se incluye el posible efecto laminador de estos dos puentes.
2. Pero al hilo del punto anterior, si se analiza la sección transversal de la vía A-7057 se observa que la llanura de inundación en la margen derecha es muy amplia y se sitúa a una cota muy inferior a la de los tableros de los puentes (+26.72). Además, a diferencia del puente de la A-357, en este caso los terraplenes son muy pequeños y rápidamente su rasante se alinea con la de la llanura de inundación. Esto conlleva que la corriente transita amplia y libremente por la llanura de inundación de la margen derecha, sin que los puentes supongan un obstáculo a la misma. Incluso cuando la lámina de agua toque el tablero, la mayoría del flujo circulará por la llanura de inundación y no por el cauce del río Guadalhorce.



18 Sección transversal de la vía A-7057 en su cruce con el río Guadalhorce



19 Ubicación en planta de la vía A-7057 en su cruce con el río Guadalhorce

En relación a las Obras de Drenaje Transversal del arroyo de Torres (ferrocarril convencional y carretera A-7054) se han simulado de manera usual para un modelo 2D.

Ya en el Modelo Digital del Terreno, los tableros fueron eliminados para propiciar el libre tránsito de la corriente. Una línea de ruptura perpendicular al flujo y que contenga el terraplén, se transforma en una SA/SD Connection. Posteriormente se adopta el perfil del terreno y se introducen los datos hidráulicos principales.



20 Configuración del mallado para incorporar las Obras de Drenaje Transversal del ferrocarril convencional y de la carretera A-7054

Existe una obra de drenaje transversal en el ferrocarril convencional al Oeste de la descrita. Su modelización se ha realizado mediante el método “wormhole”, descrito en el apartado “4.2 Modelo Digital del Terreno y Mallado”, el cual posibilita simular estos pasos sin la necesidad de tener que modificar el Modelo Digital del Terreno.



21 Vista aérea de la zona descrita anteriormente

En cuanto a la simulación en sí misma, ésta tiene, como se recoge en el Anejo Hidrológico, una duración de 85 horas. El hidrograma tiene un intervalo de tiempo de 5 minutos, por lo que dispone de 1.021 referencias. Esta configuración contribuye a otorgar estabilidad al sistema, si bien en el hidrograma existen aumentos de hasta 100 m³/s en 5 minutos que han supuesto un desafío.

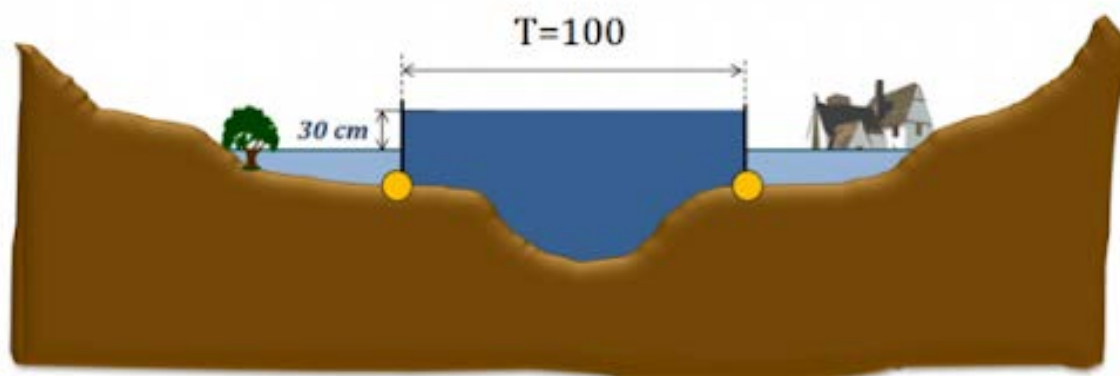
Como condiciones de contorno, se ha establecido un caudal mínimo para el río Guadalhorce de 1 m³/s y para el arroyo de Torres de 0,5 m³/s, en la misma línea de otorgar estabilidad a la modelización, sobre todo en sus primeras etapas. Asimismo, los hidrogramas de entrada se introducen en los límites del mallado de las dos corrientes y la salida del mismo se inserta en el límite inferior mediante una pendiente de 0,003 m/m.



22 Detalle de la implementación del método “wormhole” para modelizar la Obra de Drenaje Transversal bajo el ferrocarril convencional

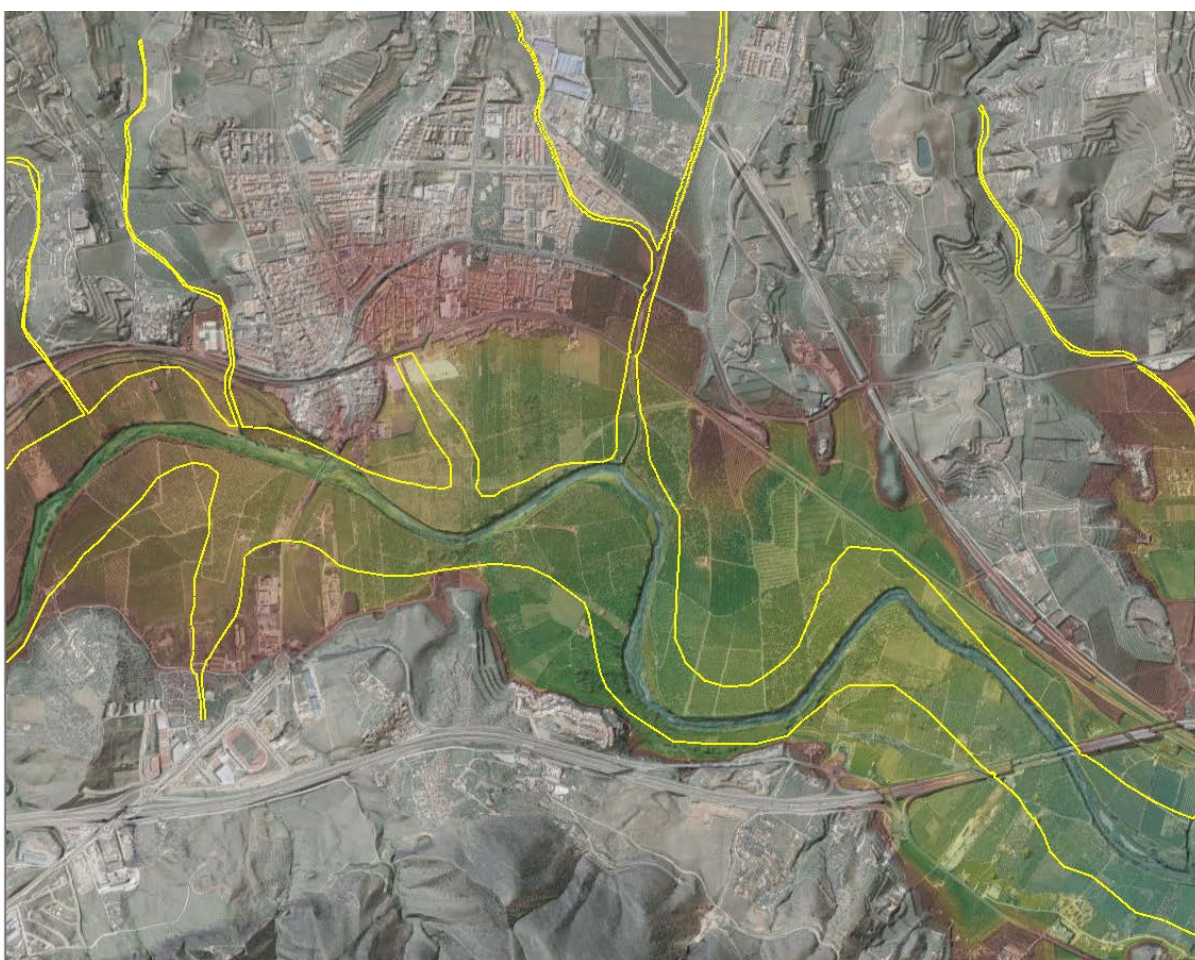
5.2. GEOMETRÍA DE LAS SIMULACIONES PARA DETERMINAR LA VÍA DE INTENSO DESAGÜE

La Vía de Intenso Desagüe (VID) se define como la zona por la que pasaría la avenida de 100 años de período de retorno sin producir una sobreelevación mayor que 0,3 metros respecto a la cota de la lámina de agua que se produciría con esa misma avenida considerando toda la llanura de inundación existente (el valor de 0,3 metros puede alcanzar 0,5 metros en zonas rurales y 0,1 en zonas urbanas). La determinación de esta zona entraña cierta dificultad técnica, puesto que dependiendo del criterio que se emplee, se pueden obtener múltiples soluciones que cumplen con la definición anterior. El criterio más empleado, y entendemos más acertado, es el de reducir la magnitud que representa la capacidad de transporte de caudal en ambas márgenes, bien en cantidades iguales en cada margen, bien en cantidades proporcionales a la capacidad de transporte total de cada una de ellas.



23 Gráfico explicativo de la metodología para la determinación de la Vía de Intenso Desagüe (VID)

En el EHPIOG se determinaron las VID de la hidrografía del río Guadalhorce, la cual se muestran a continuación.



24 Vía de Intenso Desagüe determinada en el EHPIOG (en amarillo)

En aras de evaluar críticamente la bondad de dicha delimitación, se ha decidido recalcular la delimitación de la Vía de Intenso Desagüe, por tanto, se procedió a plantearlas en base al hidrograma de avenida del período de retorno de 100 años. La metodología empleada fue la siguiente:

- Determinar por separado las VID del arroyo Torres y del río Guadalhorce en diferentes simulaciones
- Establecer una modelación 2D con flujo con un caudal continuo, si bien al ser una simulación 2D la simulación se hizo con régimen no uniforme
- Se realizaron primeramente las simulaciones de la situación actual para ambos cauces
- Seguidamente se realizó mediante iteración la determinación de la VID de manera separada para ambos cauces

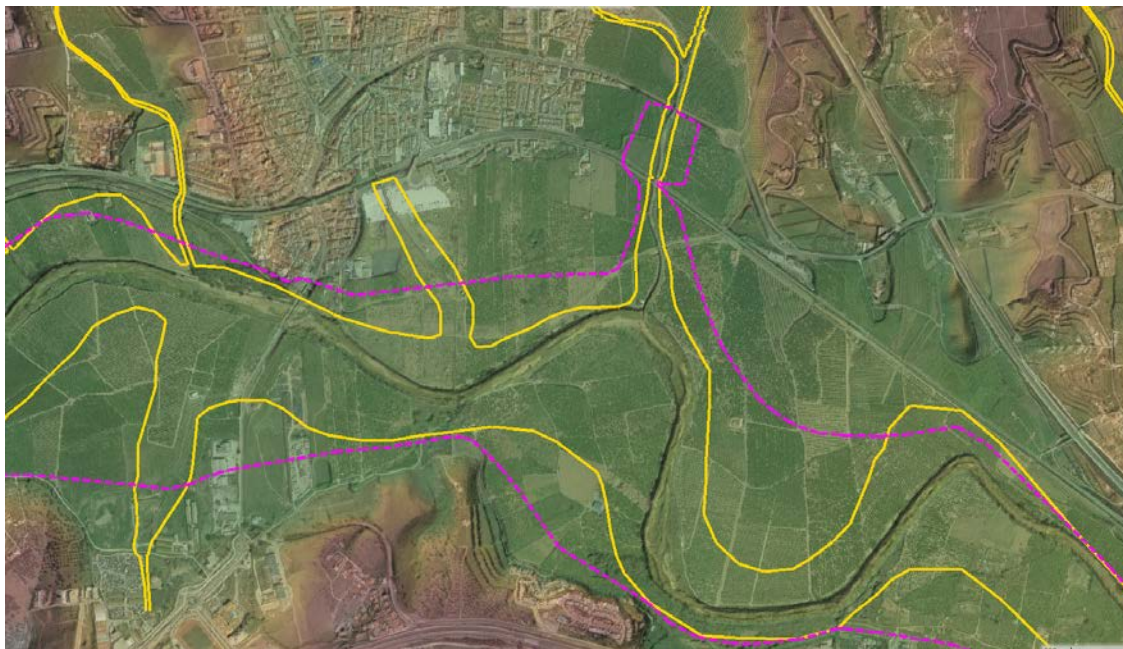
Para ello se decidió realizarla, al ser un modelo 2D mediante el establecimiento de muros que confinaran el flujo para el período de retorno de 100 años y determinar el aumento de la lámina de agua. Mediante procedimientos iterativos se afinó el emplazamiento de los muros para que la sobreelevación de la lámina fuera de 0,30 metros. El resultado es el que se muestra a continuación.



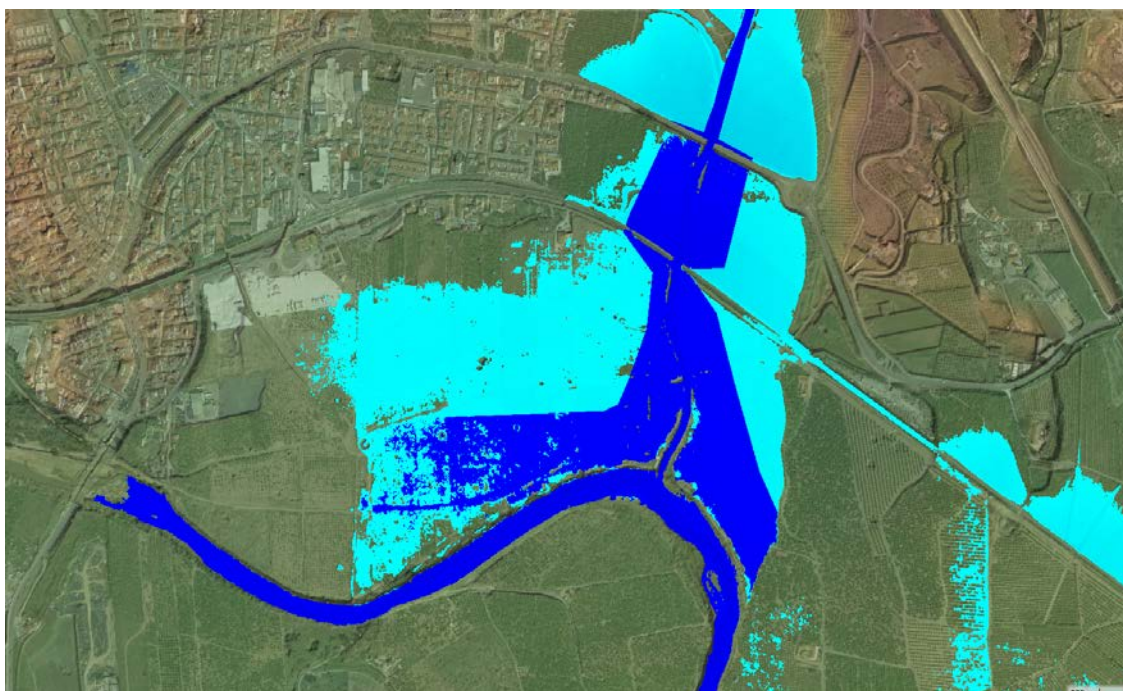
25 Vía de Intenso Desagüe del arroyo Torres y del río Guadalhorce determinada en el presente Estudio

Como se puede apreciar en la siguiente imagen, la amplitud de la VID determinada en el presente Estudio es mayor, en líneas generales, que la determinada en el EHPIOG. Dado que desconocemos el método empleado en el EHPIOG,

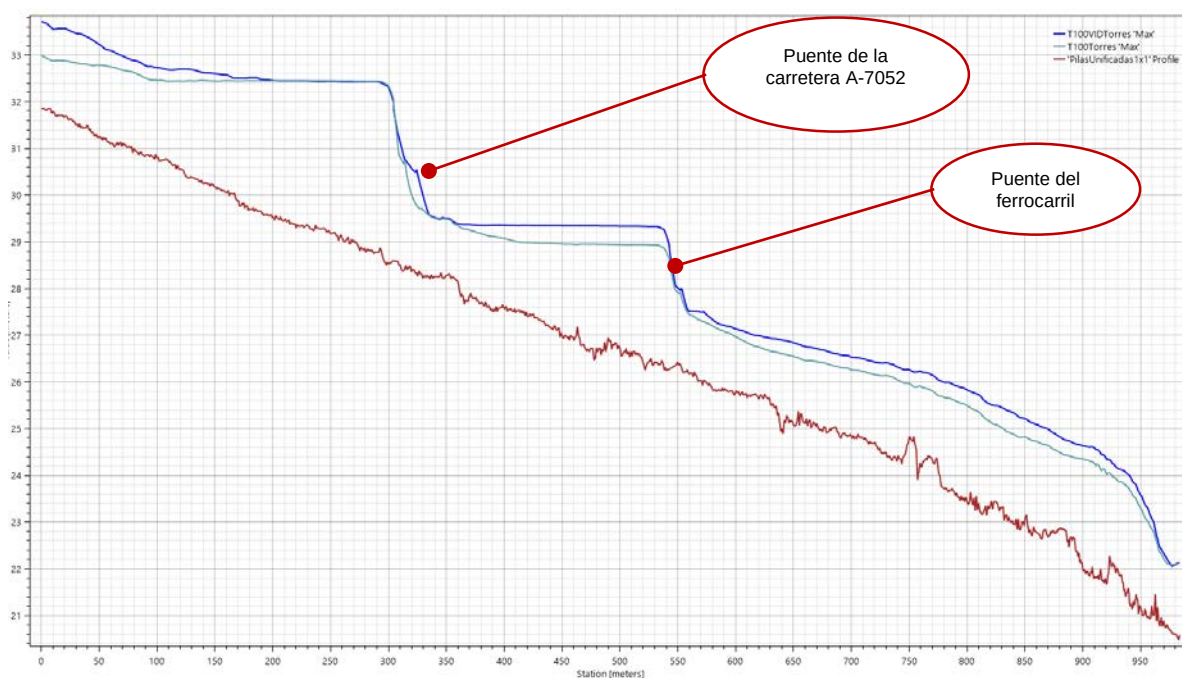
proponemos para las determinaciones del presente Estudio acogernos a las determinadas por Irtene.



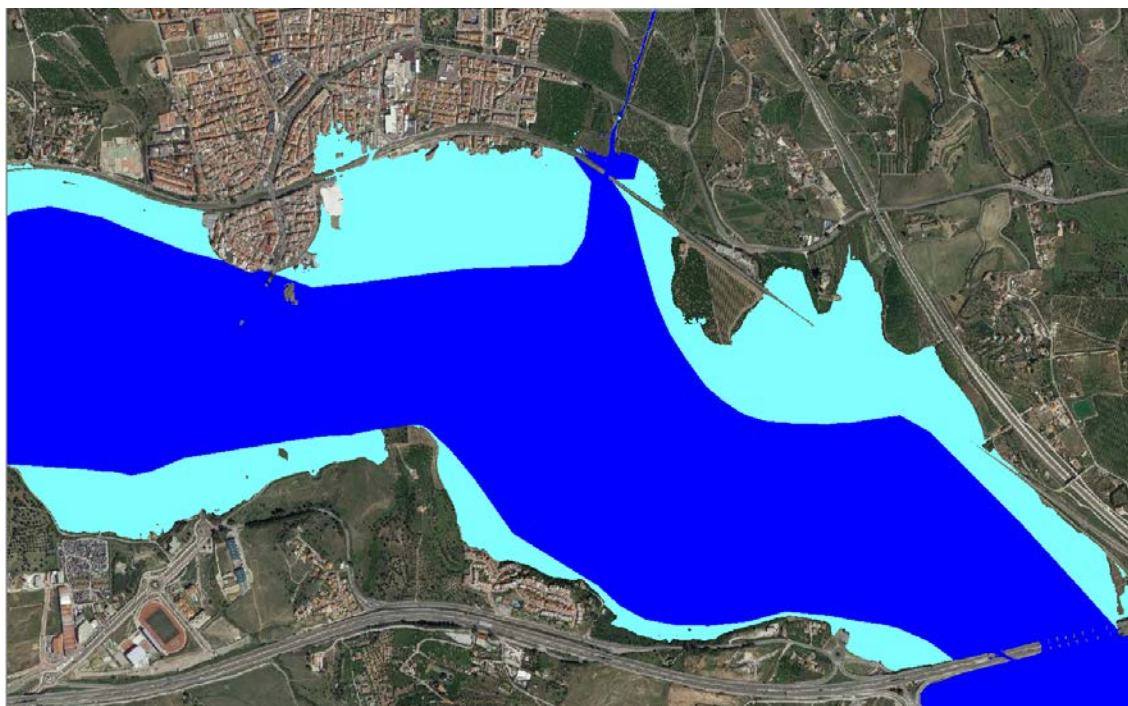
26 Vía de Intenso Desagüe del EHPIOG (amarillo continuo) y la Vía de Intenso Desagüe del arroyo Torres y del río Guadalupe determinadas en el presente Estudio (rosa discontinuo).



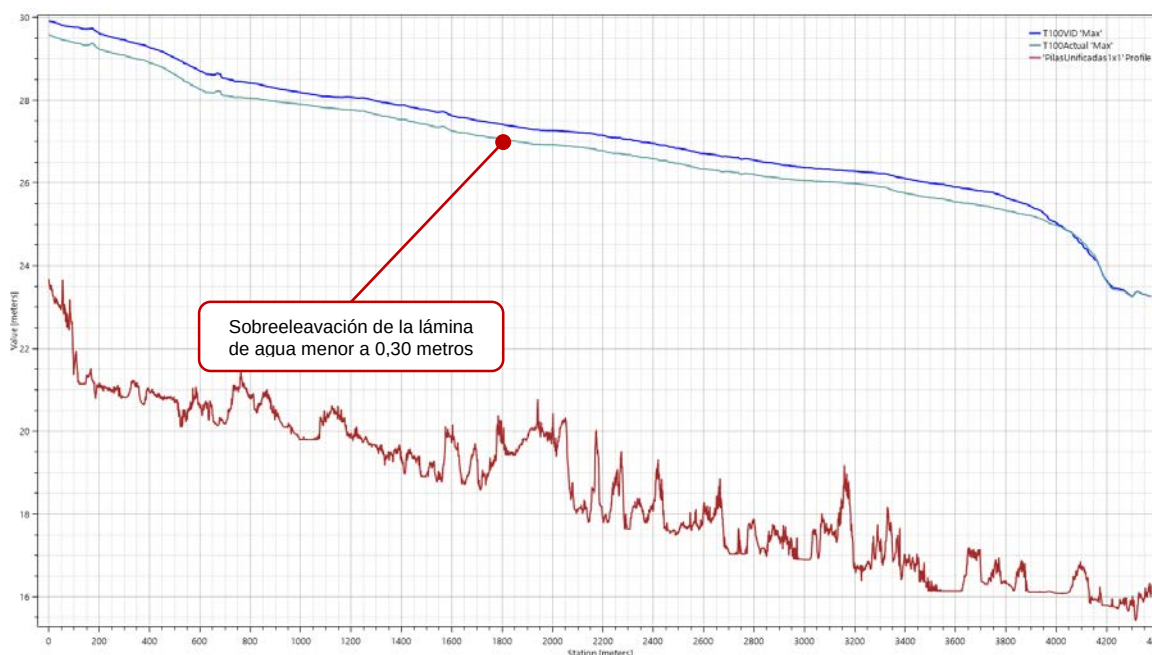
27 Planta de la extensión de la Avenida del período de retorno de 100 años para el arroyo Torres en el estado actual (celeste) y con el confinamiento de muros para determinar la VID (azul)



28 Perfil longitudinal del arroyo Torres con la situación actual (celeste) y con el confinamiento de muros para determinar la VID (azul). La sobreelevación es menor a los 0.30 metros



29 Planta de la extensión de la Avenida del período de retorno de 100 años para el río Guadalhorce en el estado actual (celestes) y con el confinamiento de muros para determinar la VID (azul)



30 Perfil longitudinal del río Guadalhorce con la situación actual (celeste) y con el confinamiento de muros para determinar la VID (azul).

5.3. PROPUESTA DE DEFENSA DE LA INNOVACIÓN-MODIFICACIÓN DE ELEMENTOS DEL PGOU DE CÁRTAMA RELATIVO AL ÁMBITO DE ACTUACIÓN SNU “ESTACIÓN DE CÁRTAMA”

Esta última simulación es la alternativa que se propone a la DGPGDHP para la defensa de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama”. En ella se ha procedido a mantener las condiciones de la simulación “Situación actual” aplicando las siguientes bases:

- Se ha ubicado la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” fuera de la VID tanto del arroyo Torres como del río Guadalhorce.
- En la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” se recoge un vial perimetral de gran anchura. Se propone dicho vial como elemento de defensa del futuro desarrollo frente a las avenidas del río Guadalhorce y arroyo Torres, por lo que tendrá una cota tal superior a la cota máxima de la lámina de agua del período de retorno de 500 años de ambos cauces.

- Se mejorará el coeficiente de rugosidad en el exterior de la VID hasta la zona de servidumbre del río Guadalhorce mediante la sustitución de plantaciones de naranjos (con un coeficiente de rugosidad de Manning de 0.06) por plantaciones herbáceas (coeficiente de rugosidad de Manning de 0.04).



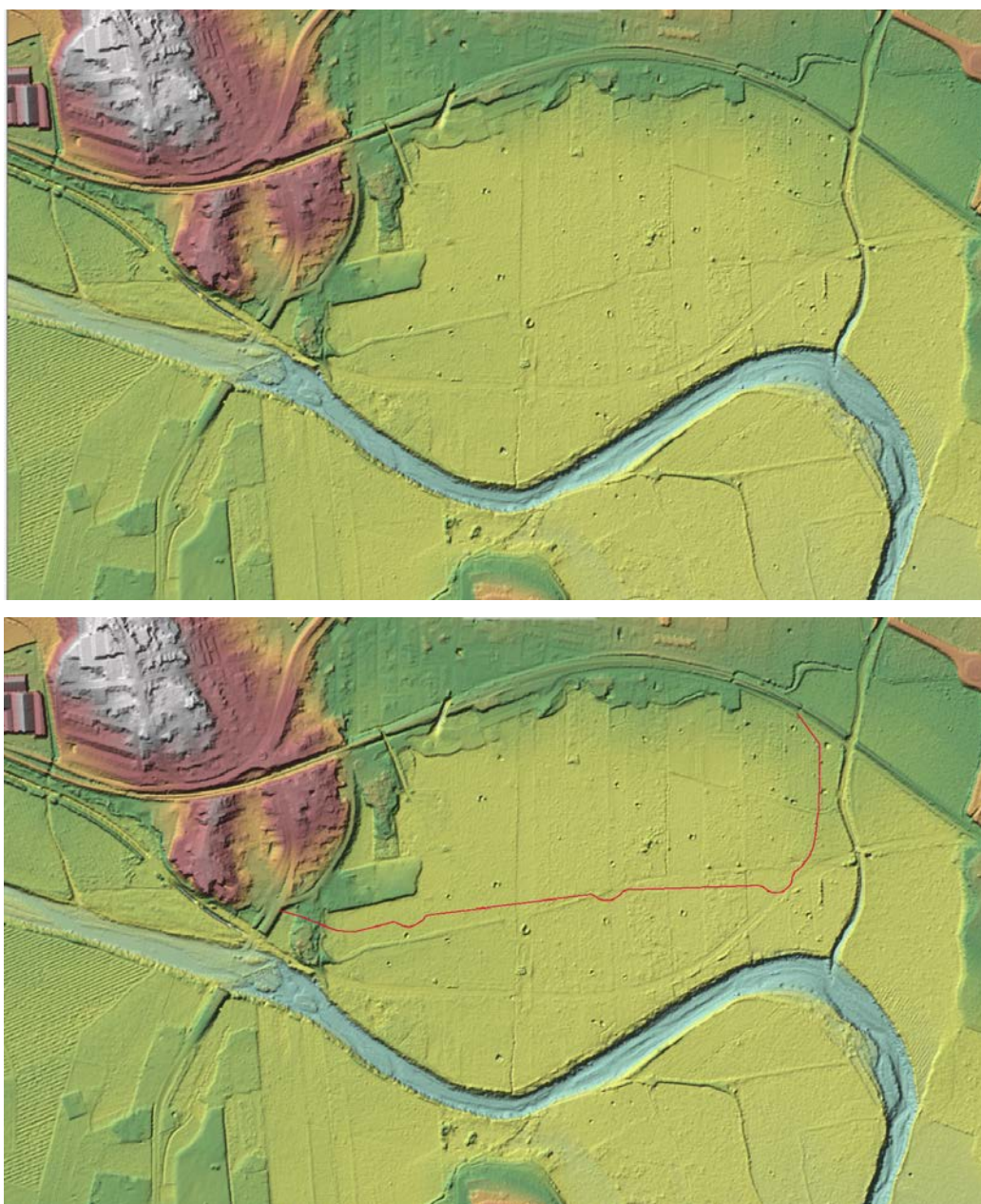
31 Propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU "Estación de Cártama", VID determinada por Irtene (morada punteada), Zona de Policía del EHPIOG (naranja) y Zona de Inundación Peligrosa del EHPIOG (azul)

- La plataforma sobre la que se propone implantar la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU "Estación de Cártama" se construirá con paramentos verticales, según ha transmitido el promotor.
- El resguardo entre la cota máxima de la lámina de agua de la avenida de los 500 años del río Guadalhorce y el arroyo Torres y la cota de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU "Estación de Cártama" será de 1 metro como mínimo.
- Con la configuración anterior, la altura de los paramentos verticales se encontrarían en un intervalo de 4 a 4.5 metros en el frente del río Guadalhorce, descendiendo a valores de 3 metros en el frente del arroyo Torres.



32 Contorno del vial de defensa y calados máximos del río Guadalhorce para el período de retorno de 500 años

Para la defensa de la plataforma propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” se realizó la simulación que se recoge en el presente apartado. Se adoptó para la correcta simulación de la plataforma de la ampliación de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” la implementación de unos muros a nivel de HEC RAS.



33 Terrains del Modelo Digital del Terreno. Arriba, Situación Actual; abajo, defensa mediante vial (magenta)

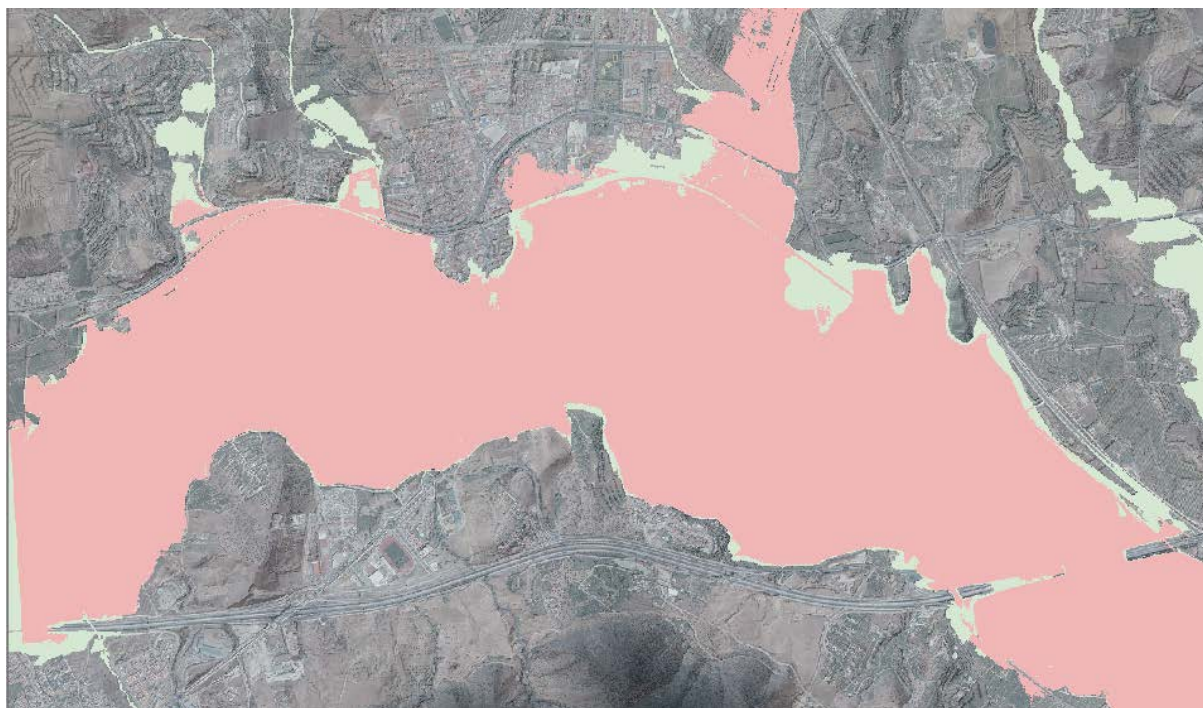
Para definir con precisión el modelo, se implementaron las líneas de ruptura y el mallado de mayor definición correspondiente a las mismas, al igual que de lo realizado para el modelo de la “Situación Actual”.

Por último, se muestra la Zona de Inundación Peligrosa del río Guadalhorce tras la implantación de las medidas de defensa. Posteriormente se discutirá si ha sufrido modificación con respecto a la Situación Actual.

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este último apartado se expondrán los resultados obtenidos en las dos simulaciones realizadas. Los resultados se basan en una altura de la lámina de agua y una velocidad de la corriente que se traducen en planta en una extensión de inundación para el período de retorno de 500 años.

Para comprobar la afección a terceros se analizará si existe en planta una mayor superficie de inundabilidad con respecto a la simulación “Situación Actual”. Recordemos que esta extensión de la inundabilidad no es la misma que la vigente a día de hoy, realizada en el EHPIOG, la cual tiene una extensión en algunas áreas mayor y diferente en otras, como se puede comprobar en la siguiente imagen.



34 Comparación de la extensión de la inundabilidad para el período de retorno de 500 años recogida en el EHPIOG (verde) y la simulación del presente estudio “Situación actual” (sepia)

A modo de conclusión, se comentarán los resultados obtenidos a partir de la simulación de las medidas propuestas, teniendo en cuenta que:

1. Las medidas propuestas de defensa pueden ser implementadas debido a que actualmente núcleos urbanos consolidados se ven afectados por la inundabilidad del período de retorno de 500 años

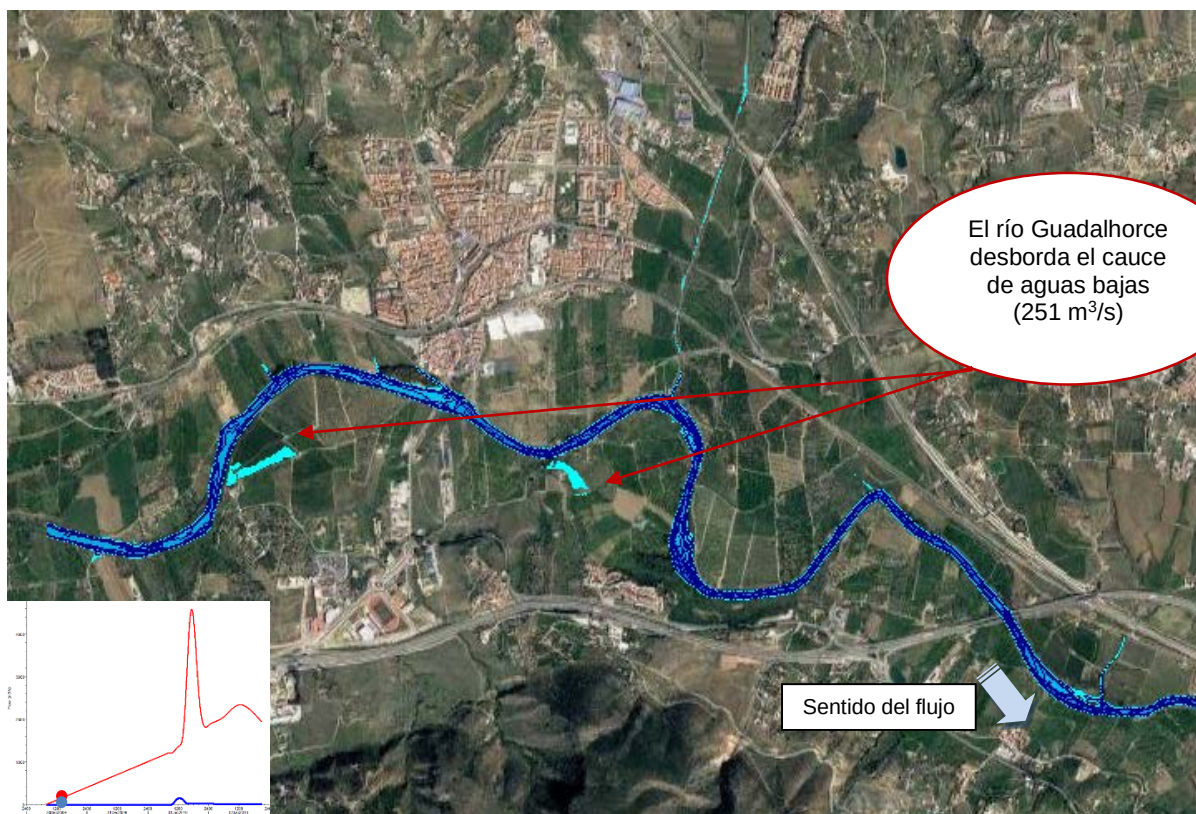
2. No se afecta a los cauces del río Guadalhorce ni del arroyo Torres
3. Las medidas propuestas, como se ha demostrado previamente, cumplen con los criterios siguientes:
 - a. Las soluciones deben ser respetuosas con el Medio Ambiente. Por ello, las soluciones deben ser de tipo “blando”, es decir, no degradan el Dominio Público Hidráulico
 - b. Las medidas no deben afectar a terceros, empeorando sus condiciones actuales.

6.1. DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL RÍO GUADALHORCE Y DEL ARROYO TORRES (SIMULACIÓN “SITUACIÓN ACTUAL”)

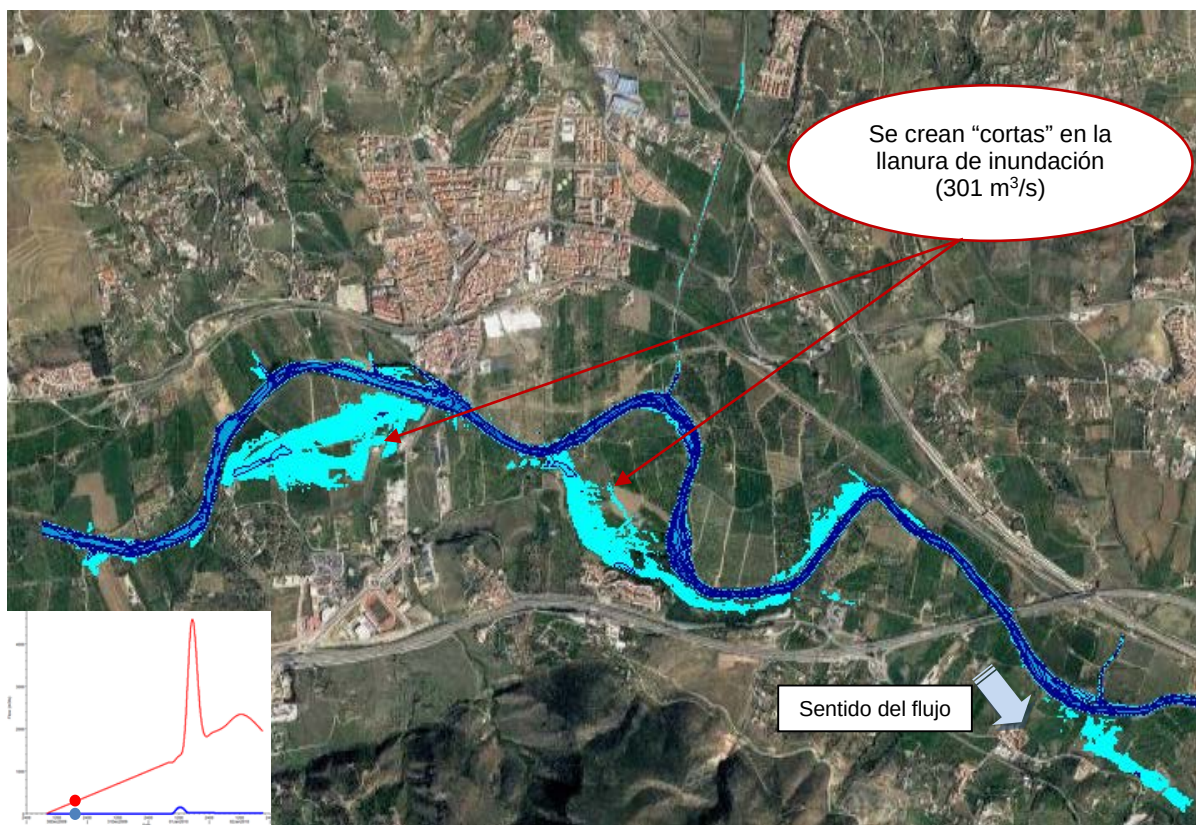
Aprovechando que se ha realizado una simulación con régimen variable, se ha estimado oportuno mostrar una serie de imágenes que recogen, en sentido cronológico con respecto al hidrograma de avenida, el comportamiento del cauce y la llanura de inundación del río Guadalhorce y el arroyo de Torres a su paso por la zona de influencia del ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” ante un episodio de avenida para el período de retorno de 500 años. Se recuerda que las fechas son ficticias y son heredadas del Estudio hidrológico.

Estas ilustraciones se han seleccionado atendiendo a su representatividad, pues en ellas se muestran comportamientos claves desde el punto de vista hidráulico. Ello puede ayudar a comprender cómo se distribuye el flujo actualmente y entender más fácilmente la estrategia elegida para su defensa.

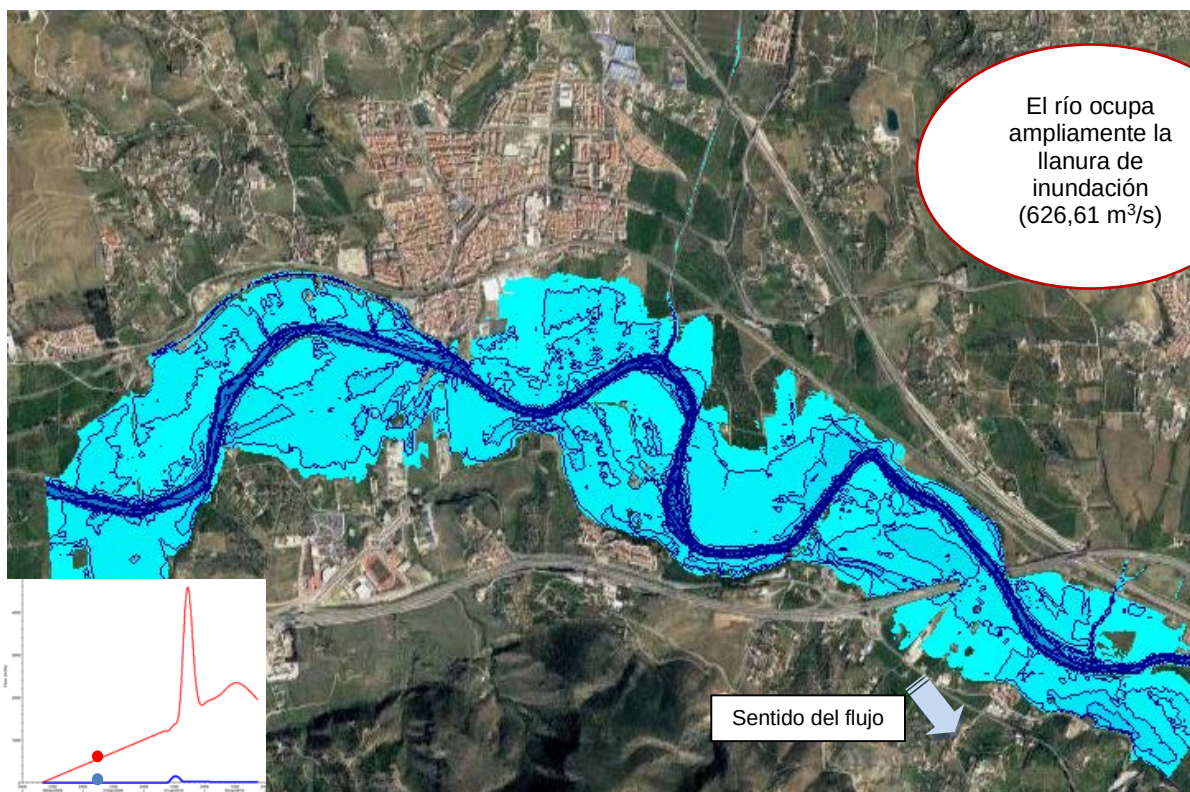
A continuación se muestran dichas ilustraciones. En el ángulo inferior izquierdo se ha representado el punto del hidrograma de avenida correspondiente. En rojo el del río Guadalhorce y en azul el del arroyo de Torres.



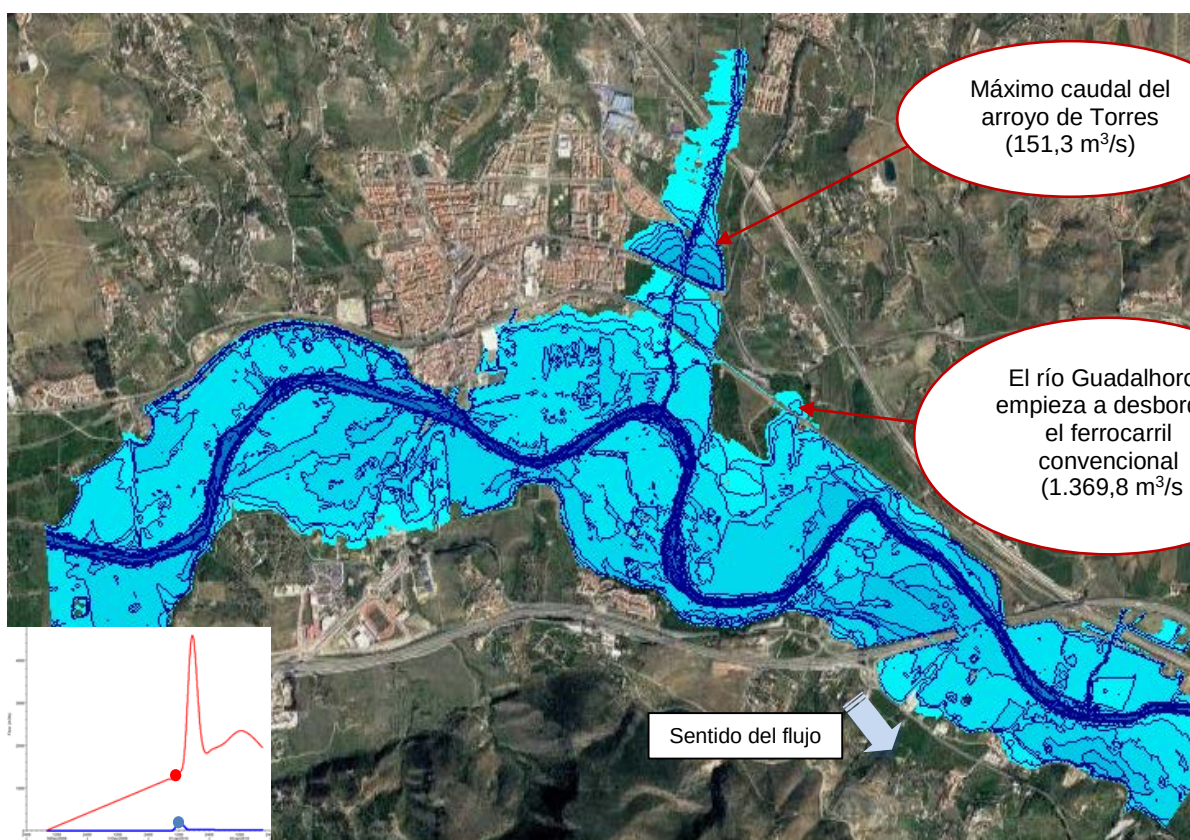
35 30 de diciembre de 2009 18:00 (251 m³/s)



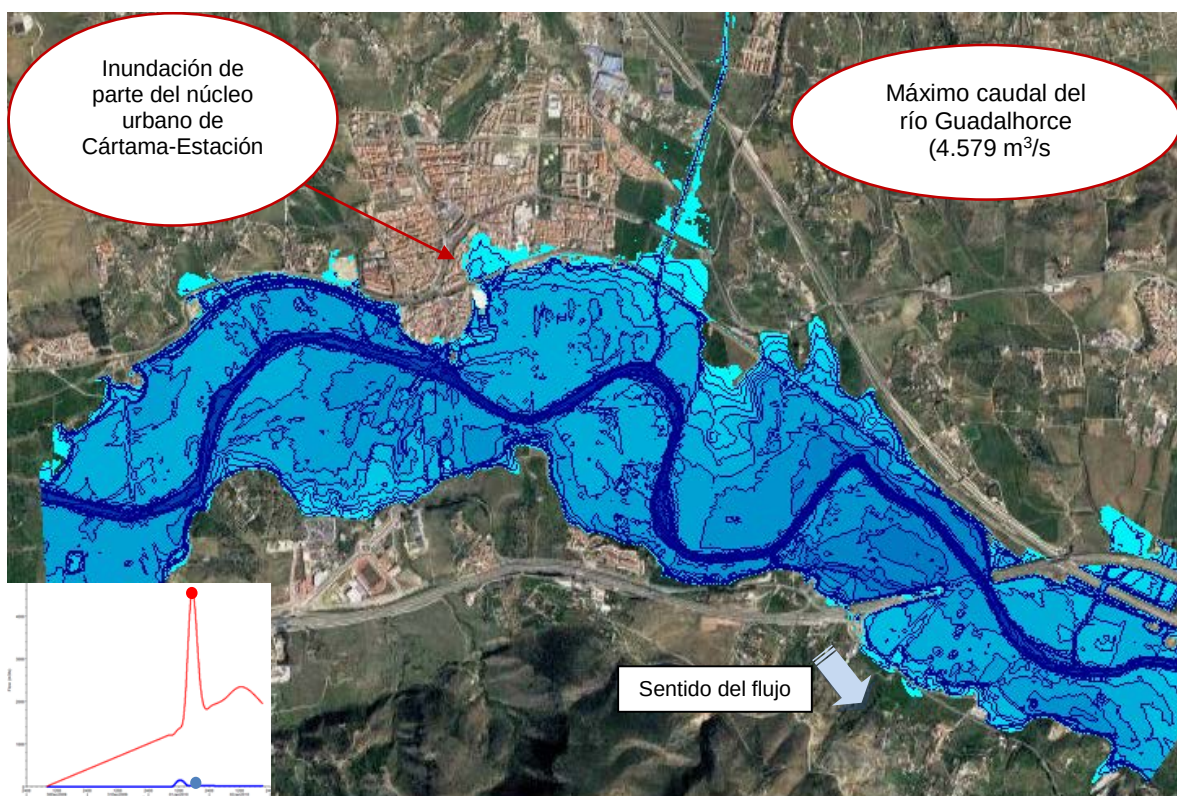
36 30 de diciembre de 2009 20:00. (301 m³/s)



37 31 de diciembre de 2009 9:00 (626,31 m³/s)



38 1 de enero de 2010 12:30 (arroyo de Torres 151,3 m³/s) (río Guadalhorce 1.369,8 m³/s)



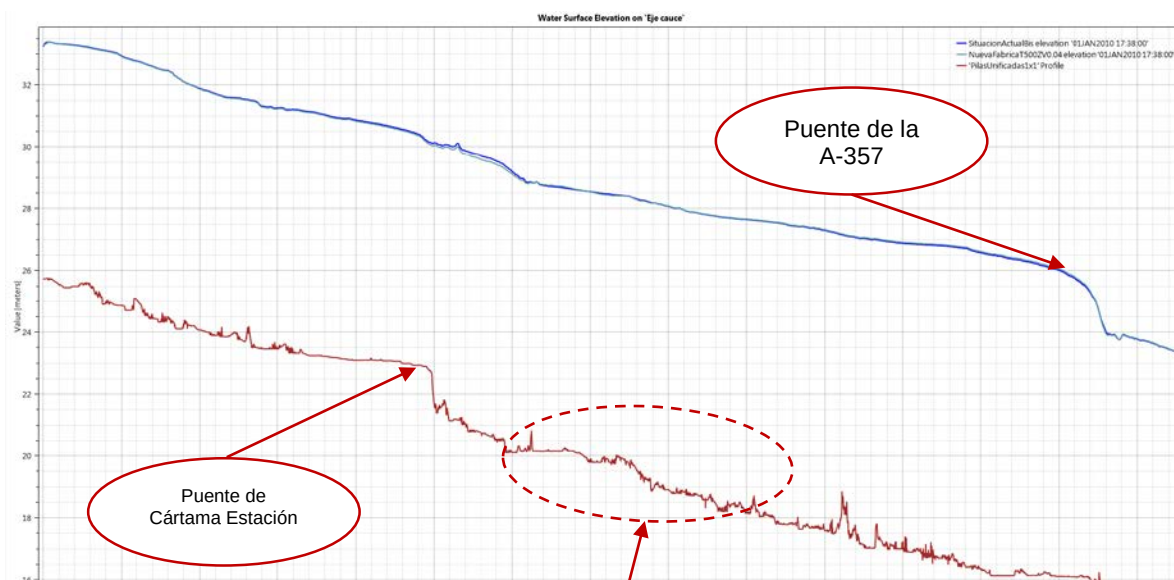
39 1 de enero de 2010 18:02 (4.579 m³/s)

Las determinaciones gráficas correspondientes a esta simulación “Situación actual” se han incluido en el documento N°2 Planos de este Estudio.

Asimismo, si se requiere más detalle de los mismos, en los ficheros informáticos que se adjuntan de puede alcanzar mayor detalle.

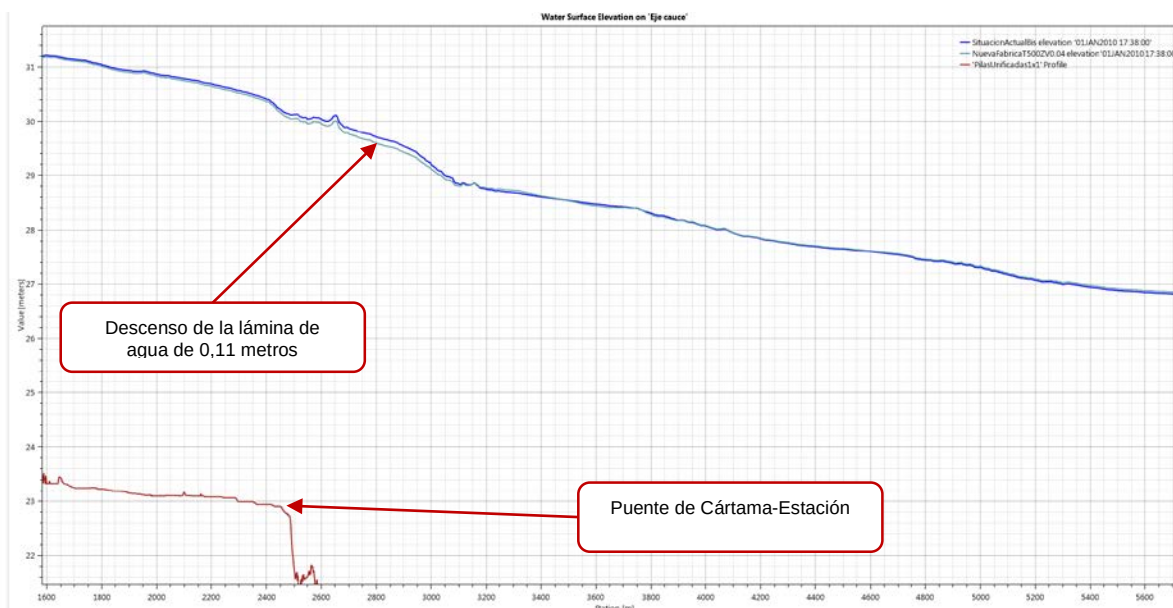
6.2. ANÁLISIS DE LA SIMULACIÓN “PROPUESTA DE DEFENSA SNU T500”

La metodología para la comparación de esta simulación se basa en comparar el perfil longitudinal tanto del río Guadalhorce como del arroyo Torres de las modelizaciones “Situación Actual” y “Propuesta de defensa SNU T500” es la misma que la realizada en los dos apartados anteriores. Para iniciar el análisis, antes de exponer en planta la superficie de inundabilidad para ambas simulaciones, se presenta el perfil longitudinal del río Guadalhorce en el tramo de estudio para la avenida de período de retorno de 500 años.



Ámbito del Área propuesta para la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU "Estación de Cártama"

40 Perfil longitudinal del río Guadalhorce (marrón) a su paso por el Área propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU "Estación de Cártama" con representación de la altura de la lámina de agua para "Situación Actual"(azul) y "Propuesta de defensa SNU T500"(celeste)

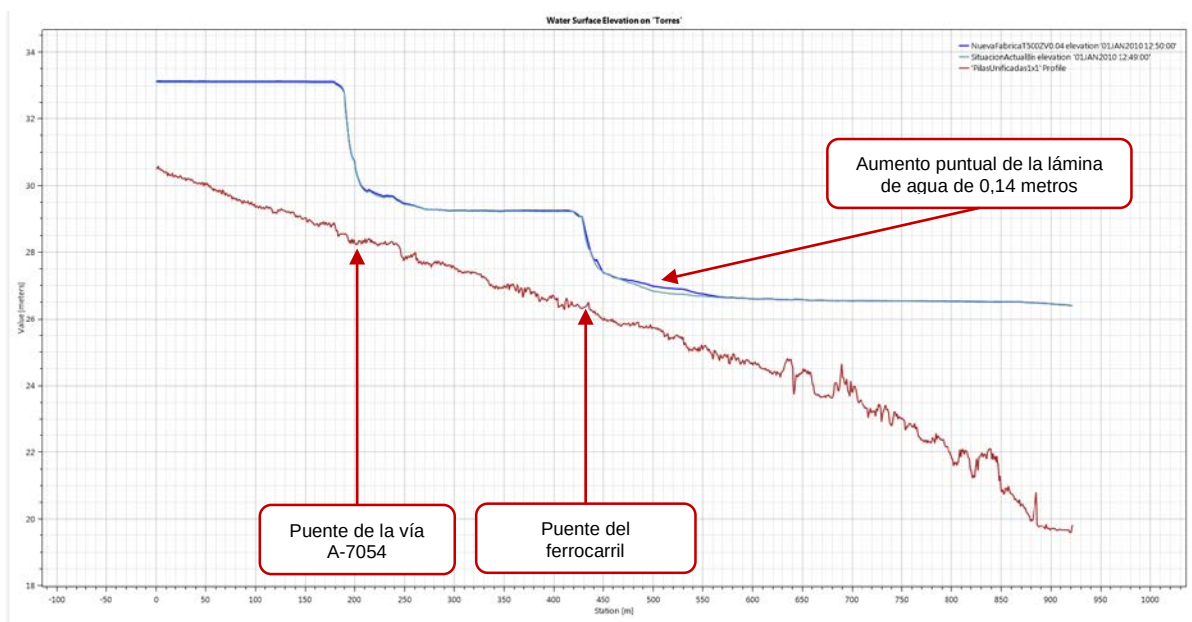


41 Detalle de la diferencia de la altura de la lámina de agua para "Situación Actual"(azul) y "Propuesta de defensa SNU T500"(celeste)

En la imagen mostrada se puede apreciar que los calados son prácticamente idénticos en las dos simulaciones, incluso que es menor en las inmediaciones del puente de Cártama la lámina de agua de la "Propuesta de defensa). Esto es debido a la disminución del rozamiento en la margen izquierda, al sustituir cultivos de cítricos por herbáceos (parque fluvial).

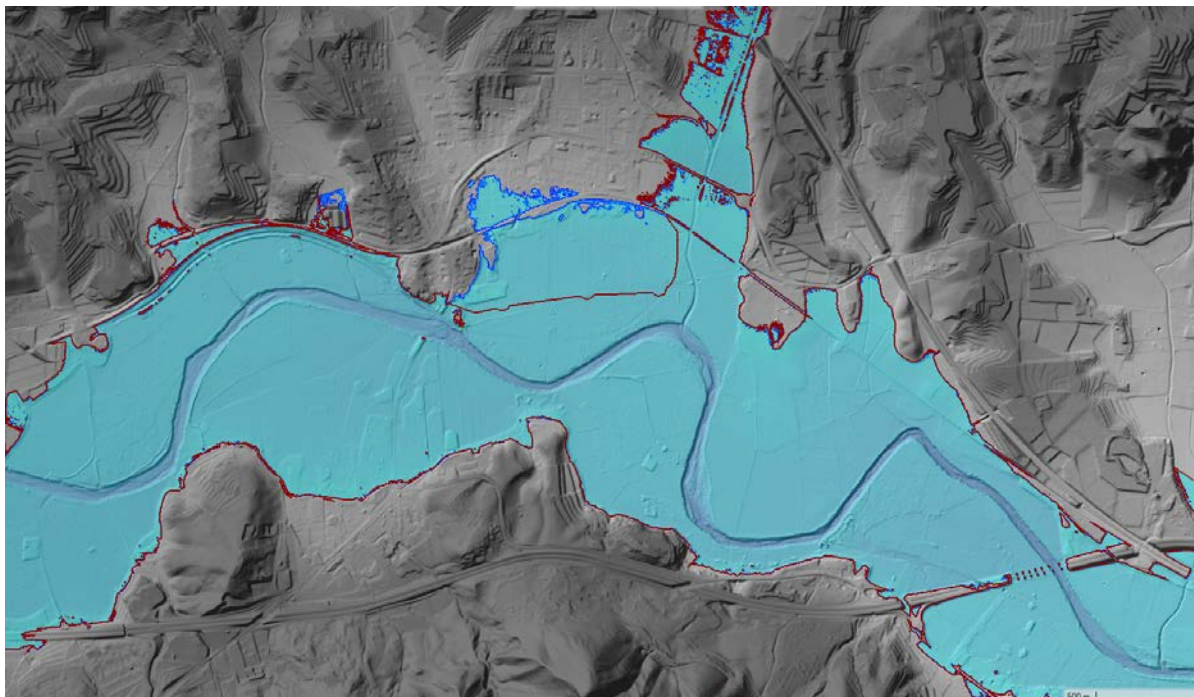
Esto, unido a que la margen derecha del río Guadalhorce en el ámbito en que se produce dicha diferencia tiene una orografía muy escarpada, se traduce en que la diferencia en planta de la extensión de la superficie de inundabilidad es inapreciable.

Para el arroyo Torres, el resultado de la comparación es también similar, como se puede comprobar en las imágenes siguientes, habiendo únicamente una zona puntual aguas abajo del cruce con la vía férrea donde la lámina de agua aumenta 14 centímetros, los cuales no se traducen en un aumento de la superficie inundable.



42 Perfil longitudinal del arroyo Torres (marrón) a su paso por el Área propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” con representación de la altura de la lámina de agua para “Situación Actual”(azul) y “Propuesta de defensa SNU T500”(celeste)

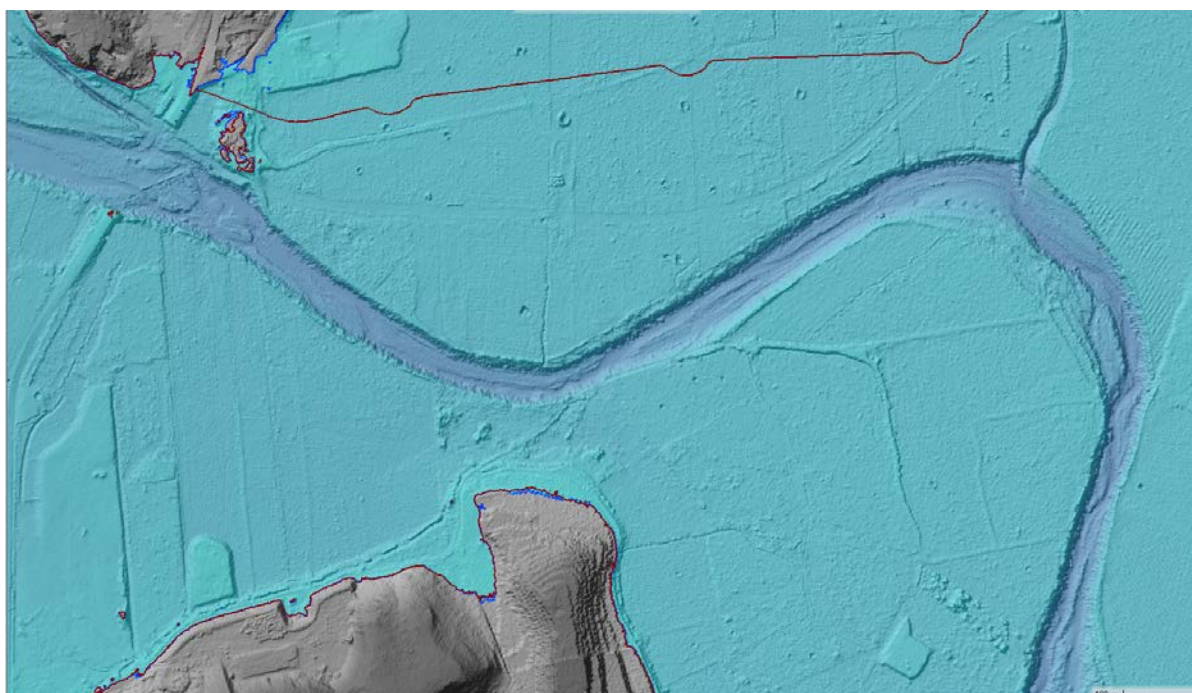
A continuación se muestra dicha extensión de la superficie de inundabilidad para el período de retorno de 500 años entre la “Situación actual” y “Propuesta de defensa SNU T500” con objeto de estudiar si existe afección a terceros.



43 Máxima extensión de la superficie de inundabilidad para el período de retorno de 500 años en la “Situación actual” (contorno azul) y “Propuesta de defensa SNU T500” (contorno rojo)

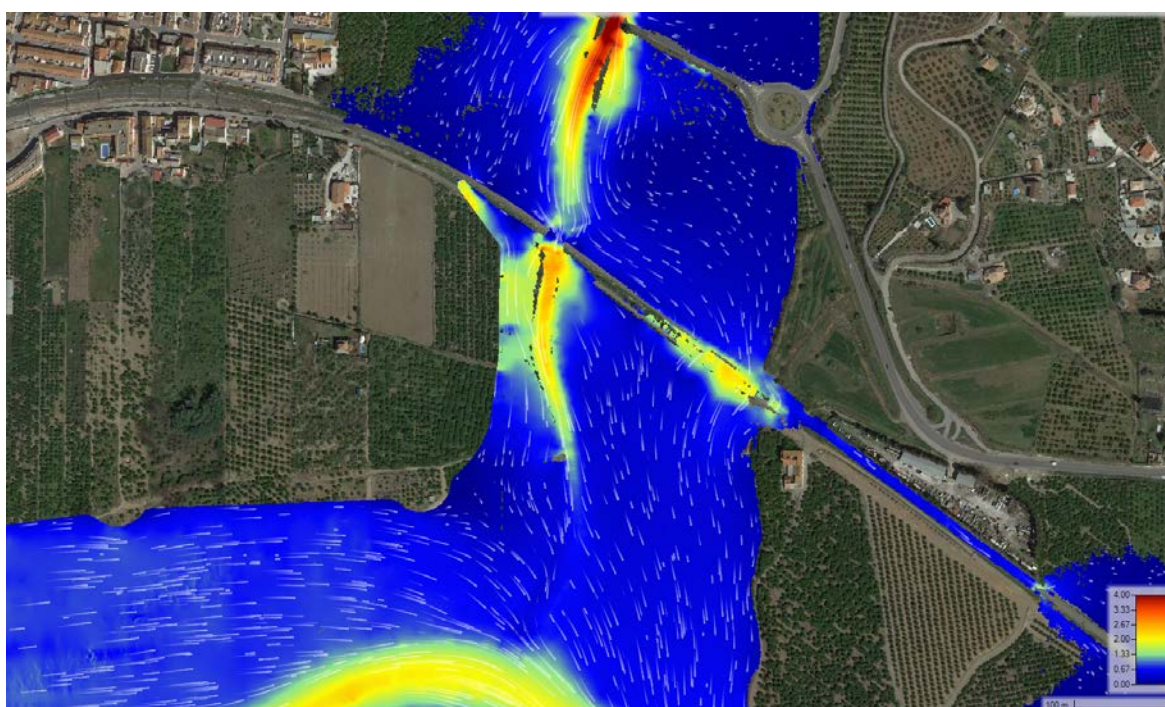
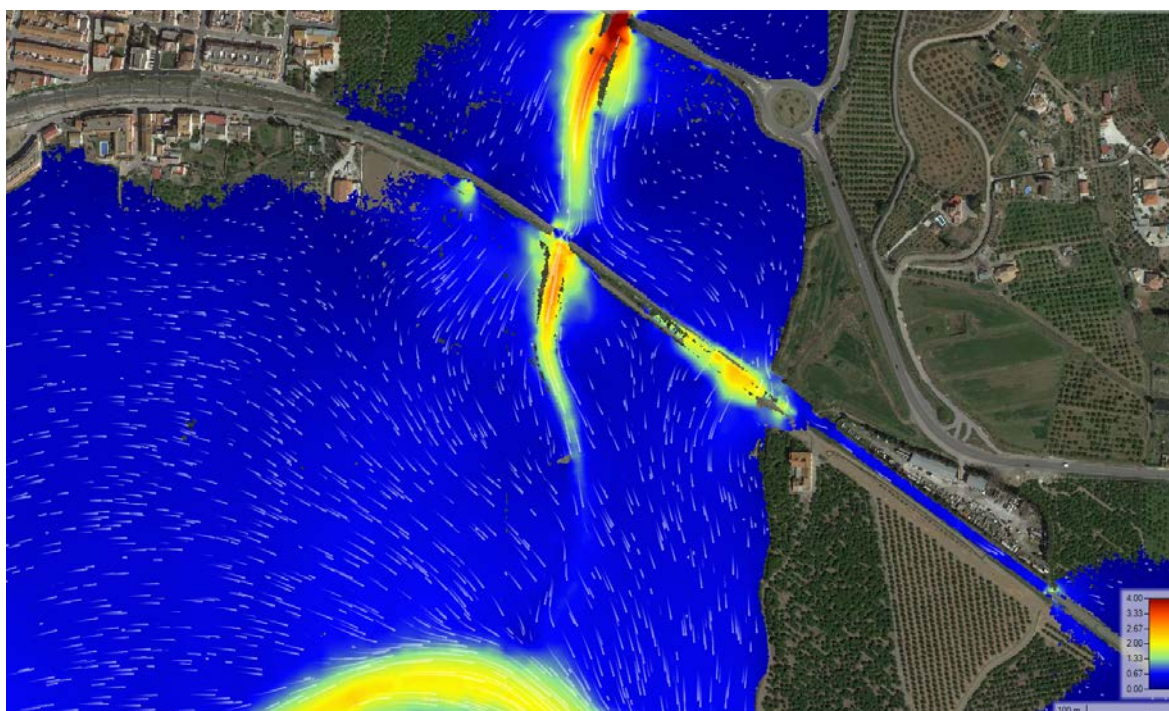
En la imagen anterior se comprueba que en planta no hay mayor extensión de la inundabilidad para la simulación “Propuesta de defensa SNU T500” que para la “Situación actual”, si bien, la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama” queda protegida.

Si se disminuye la escala para visualizar la afección a terceros en el ámbito de interés, se comprobará que la diferencia es inapreciable.



44 “Situación actual” (contorno azul) y “Propuesta de defensa SNU T500” (contorno rojo) para el período de retorno de 500 años.

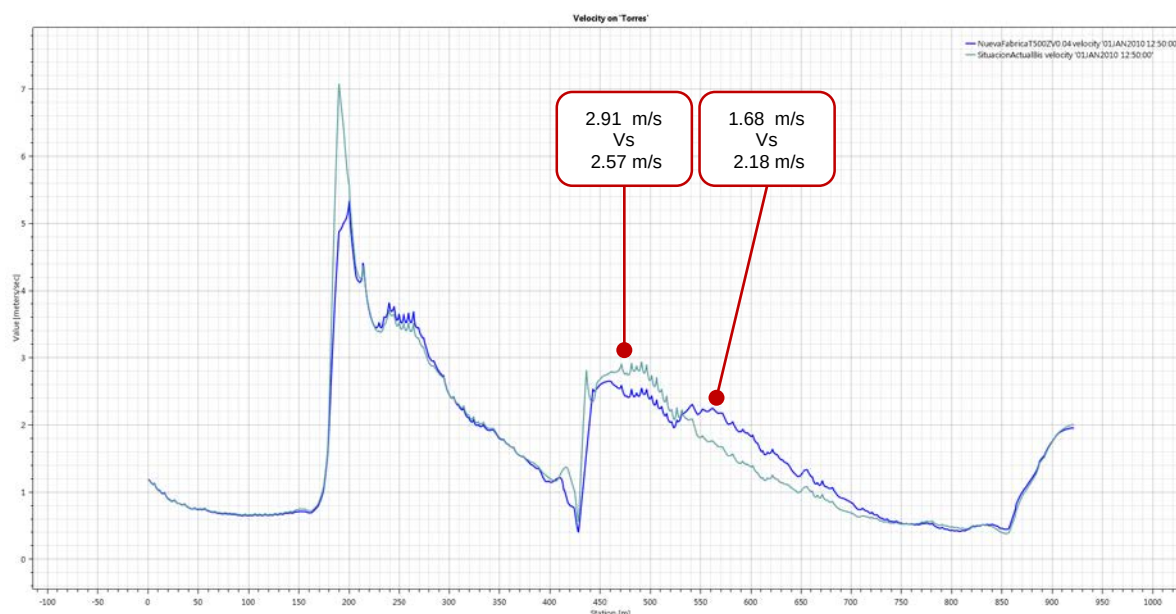
Es muy interesante estudiar el comportamiento del flujo a nivel de velocidades y la distribución de la misma para observar el grado de alteración motivado por la perturbación de la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU “Estación de Cártama. En las siguientes imágenes se recoge por parejas la “Situación actual” y la “Propuesta de defensa SNU T500” para el momento del máximo caudal de la avenida de 500 años para el arroyo Torres y el río Guadalhorce.



45 Distribución de velocidades para el período de retorno de 500 años del arroyo Torres en la "Situación actual" (arriba) y "Propuesta de defensa SNU T500" (abajo)

Para el arroyo Torres, en las imágenes superiores se aprecia claramente la laminación de la escorrentía provocada por las vías férreas y la vía A-7054. Los colores rojo, naranja y amarillo representan zonas donde la velocidad del agua es más alta, mientras que cuanto la tonalidad del azul es más oscura, la velocidad del agua es menor. Ayuda también a

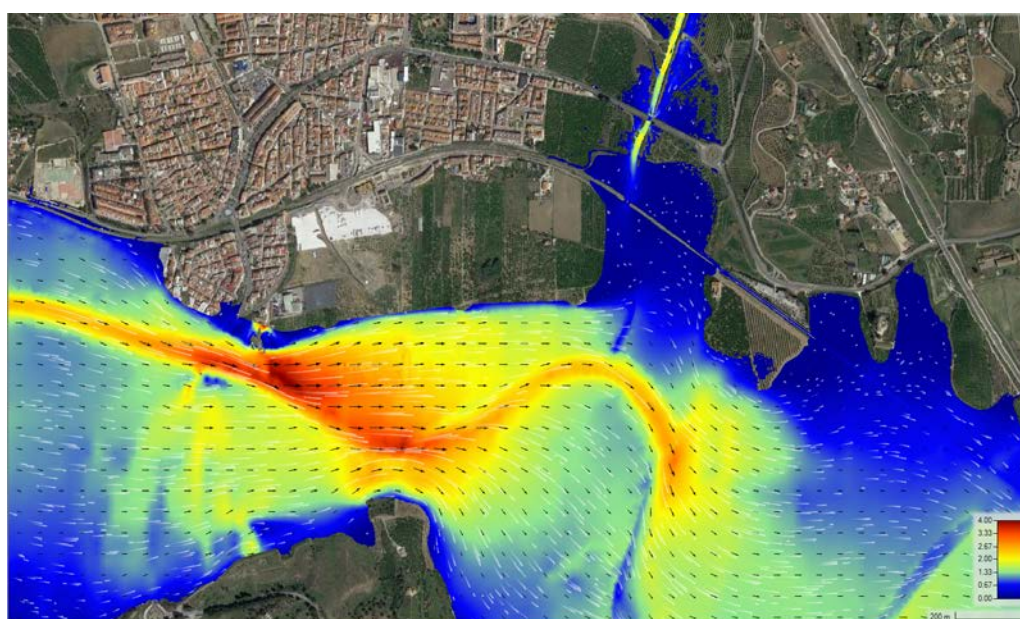
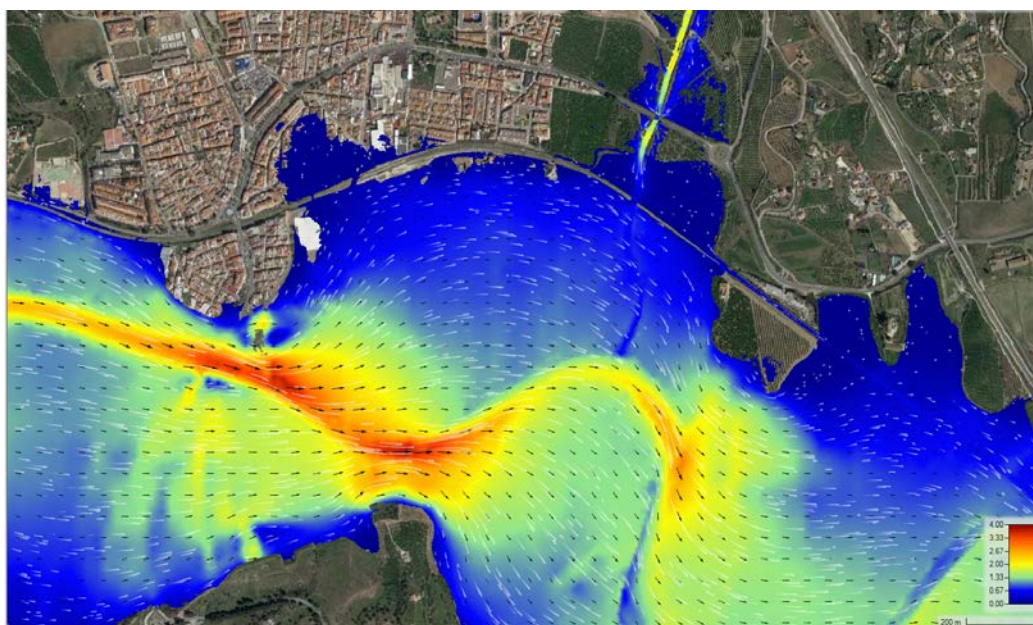
comprender la trayectoria del flujo las flechas de color blanco. Dado que existe una Obra de Drenaje Transversal (ODT) al oeste del paso principal del arroyo Torres bajo el ferrocarril y que existe un punto bajo de la plataforma de la vía al Oeste, no todo el flujo discurre por el cauce para la avenida de 500 años. La perturbación producida por la propuesta de innovación-modificación de elementos del PGOU de Cártama relativo al ámbito de actuación SNU "Estación de Cártama en cuanto a la velocidad se aprecia claramente, siendo de un orden de magnitud menor. Por un lado, la expansión del flujo al abandonar la ODT del cauce se ve algo mermada por su margen derecha, si bien el flujo tiende a dirigirse en su mayoría hacia aguas abajo por su margen izquierda. La salida de caudal por la ODT Oeste se perturba, pues debe rodear la plataforma. Debemos recordar, como se ha expuesto previamente, que no existe sobreelevación de la lámina de agua ni afección a terceros.



46 Perfil longitudinal de la distribución de velocidades para el periodo de retorno de 500 años del arroyo Torres en la "Situación Actual" (celeste) y "Propuesta de Defensa SNU T500" (azul)

En cuanto para el río Guadalhorce, en las imágenes siguientes, análogas a las expuestas previamente para el arroyo Torres, se muestra la distribución de velocidades para el momento de caudal máximo de la avenida de 500 años del río Guadalhorce. En la imagen superior se aprecia que incluso el flujo libre del arroyo Torres (que en este momento no transporta su máximo caudal de referencia para la avenida de 500 años) se ve obstaculizado por el flujo del río Guadalhorce. En cualquier caso la distribución de velocidades describe una curva paralela a las vías del ferrocarril, siendo la velocidad menor cuanto más alejada se encuentre del cauce y más próxima a las vías férreas.

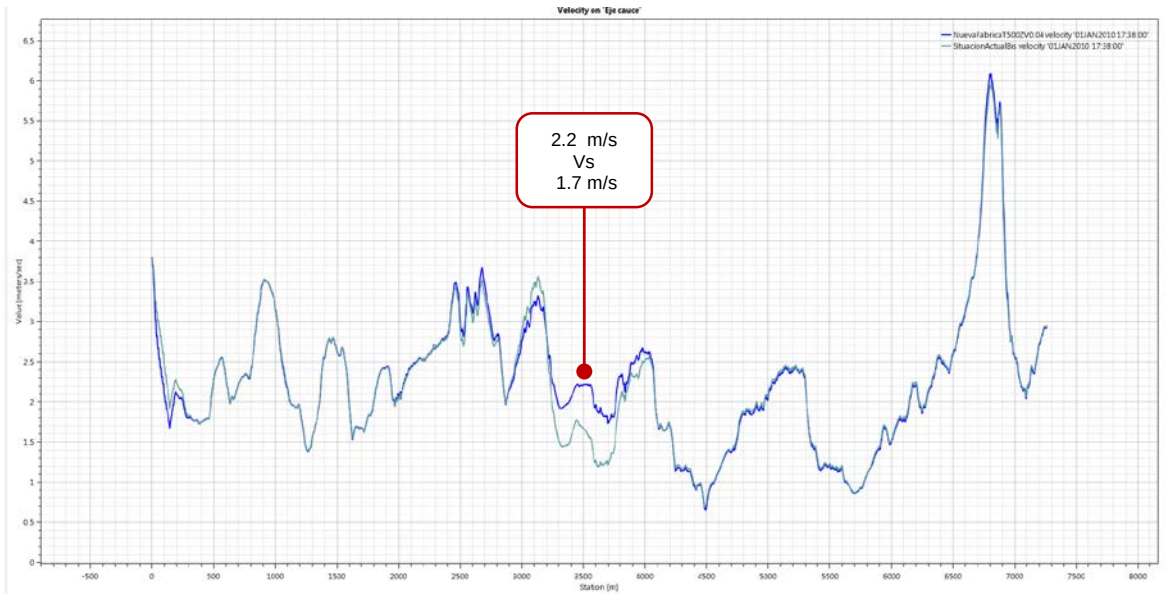
En la imagen inferior se aprecia claramente la perturbación producida en el campo de velocidades (colores verdes y amarillos).



47 48 Distribución de velocidades para el período de retorno de 500 años del río Guadalhorce en la “Situación actual” (arriba) y “Propuesta de defensa SNU T500” (abajo)

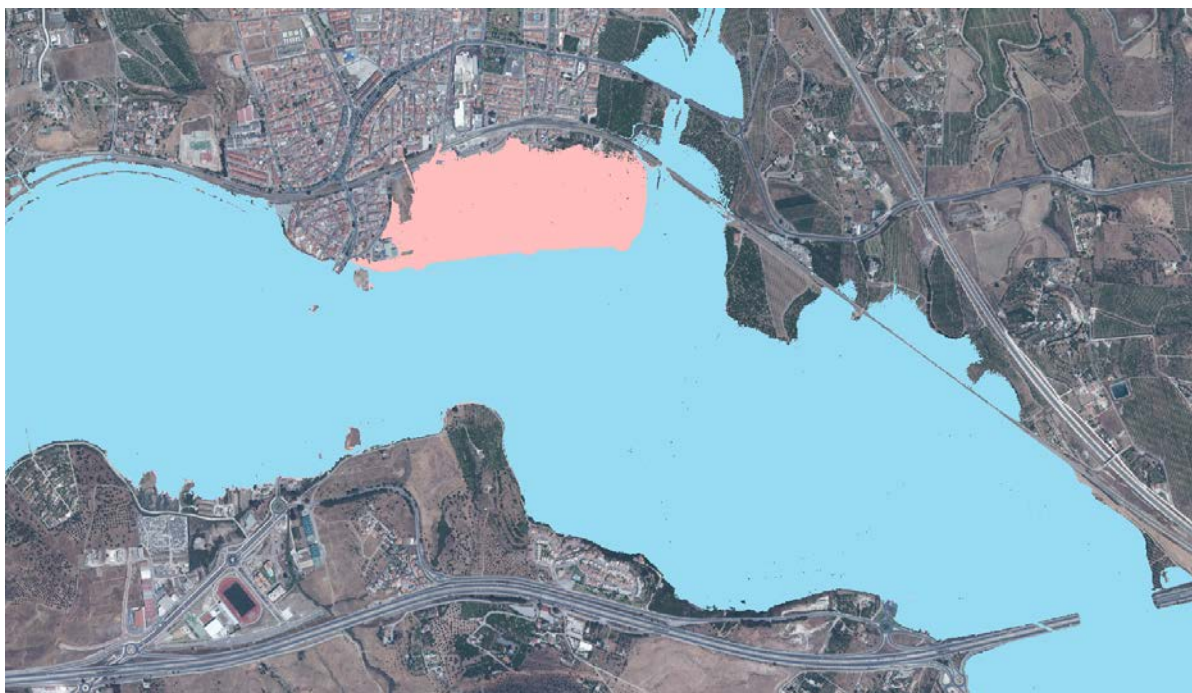
En cualquier caso la velocidad máxima en la zona de mayor intensidad de color naranja, en la zona próxima al vial perimetral, es de 4,18 m/s, siendo de 3,75 m/s en el mismo punto sin la perturbación de la plataforma. Si se analiza la distribución de velocidades a lo largo del cauce, se observa que las velocidades son similares, salvo a 250 metros aguas

arriba de la confluencia del río Guadalhorce con el arroyo Torres, donde hay un aumento de velocidad tras la implementación de las medidas propuestas de 0,5 m/s, si bien, unos 500 metros aguas arriba, se produce una ligera disminución con respecto a la situación actual.



49 Perfil longitudinal de la distribución de velocidades para el período de retorno de 500 años del río Guadalhorce en la “Situación Actual” (celeste) y “Propuesta de Defensa SNU T500” (azul)

A continuación se expondrá la diferencia entre la Zona de Flujo Preferente de la “Situación Actual” y tras la “Propuesta de Defensa SNU T500”



50 ZFP Situación Actual (Sepia) y ZFP de “Propuesta de Defensa SNU T500” (Azul)

Como puede observarse, no existe aumento de la ZFP tras la implementación de las Medidas de Defensa con respecto a la Situación Actual.

Las determinaciones gráficas correspondientes a las simulaciones “Situación Actual” y “Propuesta de Defensa SNU T500” se han incluido en el documento N°2 Planos de este Estudio

Asimismo, si se requiere más detalle de los mismos, en los ficheros informáticos que se adjuntan de puede alcanzar mayor detalle.

Málaga, enero de 2022

EL AUTOR DEL ANEJO

Fdo.: Manuel Aldeanueva López