Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

ÍNDICE

ANEXO VII. ESTUDIO HIDROLÓGICO - HIDRÁULICO 1

1. ANTECEDENTES.....1
2. OBJETO 1
3. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO 2
4. INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA Y MODELO DEL TERRENO.....3
   - 4.1. CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RATO 4
   - 4.2. CAMPAÑA DE CAMPO DE LA ZONA DE ESTUDIO 4
   - 4.3. ELABORACIÓN DE MDT DEFINITIVO 6
   - 4.4. ESTRUCTURAS Y OBRAS DE FÁBRICA 7
   - 4.5. ORTOFOTOGRAFÍA 7
   - 4.6. MDT EMPLEADO EN EL SNCZI..... 8
5. HIDROLOGÍA. CAUDALES Y LLUVIAS DE DISEÑO.....9
   - 5.1. CAUDALES DE DISEÑO..... 10
   - 5.2. LLUVIAS DE DISEÑO..... 13
6. SÍNTESIS METODOLÓGICA.....16
7. MODELO DE RED. CARACTERÍSTICAS GENERALES Y CONSTRUCCIÓN.....18
   - 7.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO INFOWORKS ICM 18
   - 7.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO BIDIMENSIONAL 26
   - 7.3. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO UNIDIMENSIONAL 34
8. SIMULACIONES DE DISEÑO 37
   - 8.1. T500 SITUACIÓN ACTUAL. CAUCE PRINCIPAL 37
   - 8.2. T500 SITUACIÓN ACTUAL. INTERIOR SECTOR S.5-I..... 40
   - 8.3. T500. ALTERNATIVA A. ODT EXISTENTE + 1 X HA DN1800..... 45
   - 8.4. T500. ALTERNATIVA B. 2XHA DN1800 50
   - 8.5. T500. ALTERNATIVA C. 1XHA 6,00 X 2,50 (SOLUCIÓN PXOM) 53
   - 8.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS. PROPUESTA DE ALTERNATIVA SELECCIONADA 55
9. CONCLUSIONES.....66
   - 9.1. APÉNDICE Nº1. DOCUMENTACIÓN TOPOGRÁFICO 69

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

ANEXO VII. ESTUDIO HIDROLÓGICO - HIDRÁULICO

1. ANTECEDENTES

Se redacta el presente informe a petición de AVENTO CONSULTORES INMOBILIARIOS como documento de referencia, a incluir en la tramitación del Plan Parcial para el desarrollo del Sector S-5.I (según la denominación del PXOM del Concello de Lugo), en lo que a las afecciones por inundación se refiere y en aplicación de los criterios de diseño y zonificación de zonas inundables actualmente vigente que compete al organismo de cuenca (Confederación Hidrográfica del Miño-Sil, en adelante CHMS).

Como obrará en el expediente de la CHMS (A/27/35199), y sin entrar en detalle en el contenido de la documentación de solicitud de autorización, con fecha de 19/04/2021 la CHMS resuelve ***informar*** la inviabilidad del Plan Parcial, en los términos inicialmente planteados, en función de los siguientes criterios:

- Se debe incluir el respeto a los cauces informados en toda su longitud.
- No se aborda correctamente el estudio de zonas inundables y de flujo preferente.
- Se considera insuficiente la información facilitada para el diseño de la zona verde planificada.

A la vista de lo anteriormente expuesto, se redacta el presente informe de "E*studio hidrológico-hidráulico para la determinación de la inundabilidad de afección al Plan Parcial S.5-I*" de modo que, previo desarrollo de un modelo hidráulico detallado de la zona de actuación (con introducción de mejoras fundamentalmente de caracterización topográfica respecto de las empleadas para la determinación del SNCZI), se puedan plantear al organismo de cuenca alternativas adicionales de actuación que, previa introducción en el Plan Parcial de las modificaciones pertinentes, puedan derivar en una estimación de viabilidad favorable para el desarrollo del citado Plan Parcial S.5-I.

2. OBJETO

De forma resumida, y tal y como obra en el expediente de la CHMS, la problemática fundamental relativa a las condiciones de inundabilidad que afectan a los sectores ubicados aguas arriba del terraplén del ferrocarril sobre el río Rato, tiene que ver con la falta de capacidad de la obra de drenaje transversal existente lo que hace que, con un criterio que resulta inapelable, la CHMS considere inviable la zonificación del Plan Parcial inicialmente prevista para el sector de referencia en tanto en cuanto, no se aborde una ampliación de la citada ODT que, en consecuencia, faculte a su vez la modificación de la zonificación de áreas inundables actualmente prevista en el SNZCI que, en último término, derive en la correspondiente viabilidad del Sector S.5-I.

De este modo, el objeto del presente estudio consiste en abordar la construcción de un completo modelo hidrológico-hidráulico del río Rato, empleando como soporte el software de modelización de flujo bidimensional Infoworks ICM, desde aguas arriba del Sector S.5-I hasta aguas abajo del paso bajo la Ronda Norte (incluyendo además tanto la totalidad del propio Sector S.5-I como de las zonas que, según la zonificación actual, resultan afectadas como zonas inundables) al objeto de abordar tanto el planteamiento de soluciones alternativas para la ODT bajo la vía ferroviaria como las modificaciones de la zonificación de áreas inundables resultado de estas.

De forma resumida el estudio se estructura en distintas fases que comienzan con la definición de detalle del modelo de terreno (MDT) a emplear, la construcción de un modelo hidrológico y hidráulico de detalle para el ámbito de estudio, el análisis de la situación actual para los escenarios de diseño y la determinación de las zonas inundables resultantes en aplicación de los criterios técnicos vigentes tanto para la situación actual como para las alternativas de solución que se plantean para el incremento de capacidad de la ODT bajo la vía ferroviaria (infraestructura esta que, en última instancia, es claramente el factor limitante que determinará la viabilidad del Plan Parcial para el citado sector S.5-I.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

El objeto del presente documento es el de dar cuenta de las fases de construcción y desarrollo del modelo hidrológico – hidráulico del área de estudio hasta el establecimiento de las distintas zonas inundables (función de cada alternativa de solución para la ya citada ODT bajo la vía ferroviaria), analizando y motivando en última instancia las diferencias que se observen entre el deslinde que actualmente se detalla en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI), y el deslinde resultante del presente estudio.

Se trata de generar un documento en el que se desarrolle la modelación hidráulica que se ha llevado a cabo en el ámbito de estudio, se justifiquen los escenarios de diseño y se fundamenten adecuadamente los resultados que se obtengan para los distintos deslindes; el modelo hidráulico confeccionado permite la obtención, entre otros, de las variables de calado y velocidad alcanzados para eventos correspondientes a diferentes períodos de retorno hidrológicos.

A partir de los resultados obtenidos en el modelo, se llevará a cabo un análisis detallado tanto de los datos de partida como de las condiciones de contorno que, finalmente, deberán de sustanciar y justificar las diferencias que en su caso se observen entre el deslinde que actualmente se detalla en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI), y el deslinde resultante del presente estudio.

3. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

El modelo numérico desarrollado comprende el tramo del río Rato que va desde el paso inferior (bajo la vía ferroviaria) que da acceso al polígono de As Gándaras hasta aguas abajo del paso bajo la Ronda Norte.

El modelo incluye un tramo del río Rato de 1 Km. de longitud junto con toda la cuenca colindante que en la actualidad se encuentra en los límites de afección del SNCZI para el caso más desfavorable (correspondiente a T=500 años).

Para estudiar las condiciones de inundabilidad en la situación actual, se ha incluido una superficie superior a la que actualmente determina la afección para T500 en el SNCZI. De esta forma se podrá delimitar por una parte el alcance del deslinde de las zonas inundables en la situación actual según el modelo desarrollado en el presente estudio (a efectos de calibración/validación respecto de la zonificación de referencia) y, por otra parte, los deslindes resultantes de las alternativas de actuación para la ampliación de capacidad de la ODT bajo la vía ferroviaria (que como ya se ha indicado, resulta el factor limitante que condiciona el total de la zonificación aguas arriba de la indicada vía ferroviaria).

De esta manera se evita que la zona inundada se vea limitada por la extensión espacial del dominio de cálculo, permitiéndole al agua expandirse sin restricciones por toda su zona de afección.

La extensión resultante para el deslinde de la extensión de las zonas inundables, vendrá delimitada por el frente de inundación (frente seco-mojado) que se obtenga como resultado del cálculo hidráulico.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

Mapa de situación de la zona de estudio y área de modelización (zona 2D)

4. INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA Y MODELO DEL TERRENO

La información de partida más representativa para la construcción de un modelo de simulación hidráulica 2D es la cartografía base del terreno, ya que los modelos bidimensionales son muy sensibles a la cartografía empleada y es necesario disponer de información cartográfica con suficiente precisión para obtener unos buenos resultados.

El proceso comienza con el análisis de la información contenida en la cartografía para empezar a trabajar en el MDT, determinando las necesidades adicionales y la gestión de las capas que serán relevantes para la confección un modelo de terreno adecuado a las necesidades de Infoworks ICM; partiendo de los MDT´s ya disponibles, en el marco del presente modelo, se ha efectuado un levantamiento de detalle centrado en los puentes y ODT´s que atraviesa el cauce del río Rato en la zona de estudio.

Además, y tal y como se detalla en el ANEXO Nº1 del presente documento, se ha abordado una importante mejora en el tratamiento de los datos procedentes del LiDAR vigente (macros Terra Solid).

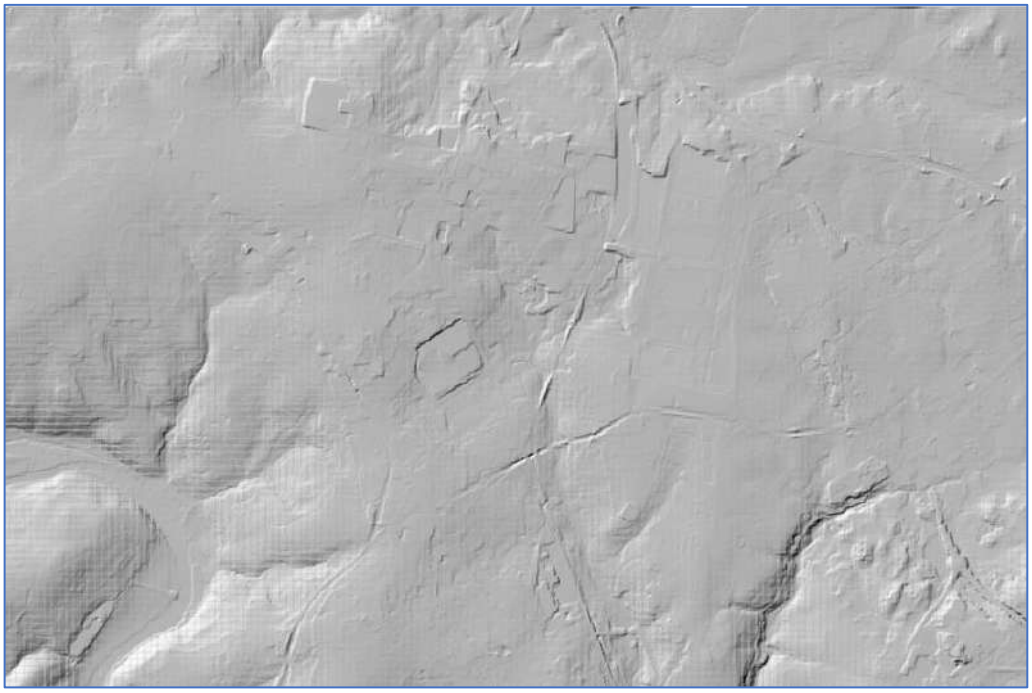
El objeto del presente apartado es el de relacionar la información de partida y los procesos necesarios para la realización del modelo digital del terreno en formato ráster en la zona de estudio, correspondiente al cauce del río Rato entre el polígono industrial de O Ceao y la Ronda Norte.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

4.1. CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RATO

Para la definición de la cuenca general de estudio del río Rato se ha utilizado el LiDAR que la Xunta de Galicia pone a disposición del usuario en el portal http://mapas.xunta.gal/visores/descargas/, que cuenta con una resolución de 0,5 metros, descargado en formado LAS.



LiDAR de la zona de actuación

Este LiDAR general (empleado en los estudios previos que delimitan en la actualidad la zonificación del SNCZI), se ha empleado únicamente para las zonas más alejadas del cauce estudiado (llanura de inundación), introduciendo las mejoras de definición del MDT que se detallan en los siguientes apartados.

4.2. CAMPAÑA DE CAMPO DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.2.1. TRATAMIENTO Y FILTRADO LiDAR

Con la finalidad de aumentar la precisión de los datos para la zona de estudio, se ha realizado un tratamiento específico de los archivos fuente del LiDAR actual, tal y como se define en el ANEXO Nº1 del presente estudio.

De forma general, el tratamiento avanzado de los archivos fuente ha consistido básicamente en las siguientes fases:

- **Datos de partida**: para el presente estudio se partió de los datos PNOA LiDAR de los años 2009 y 2016. Con una densidad de 0.5 puntos por m2 y 1 punto por m2 respectivamente.

- **Fusión de datos de partida:** con el fin de obtener una mayor densidad de puntos en las zonas vegetadas se llevó a cabo la fusión de los dos conjuntos de datos mencionados en el punto anterior. Antes de esta fusión se llevó a cabo un control calidad para detectar discrepancias altimétricas y planimétricas entre ambos conjuntos de datos en zonas aptas para este propósito como carreteras, explanadas, edificaciones…. Se detectó una diferencia de unos 5cm en cota, que fue ajustada. También se detectó en la zona occidental del área de estudio movimientos de tierras, así como construcción de carreteras y edificaciones. En estas zonas se conservaron los datos de 2016.

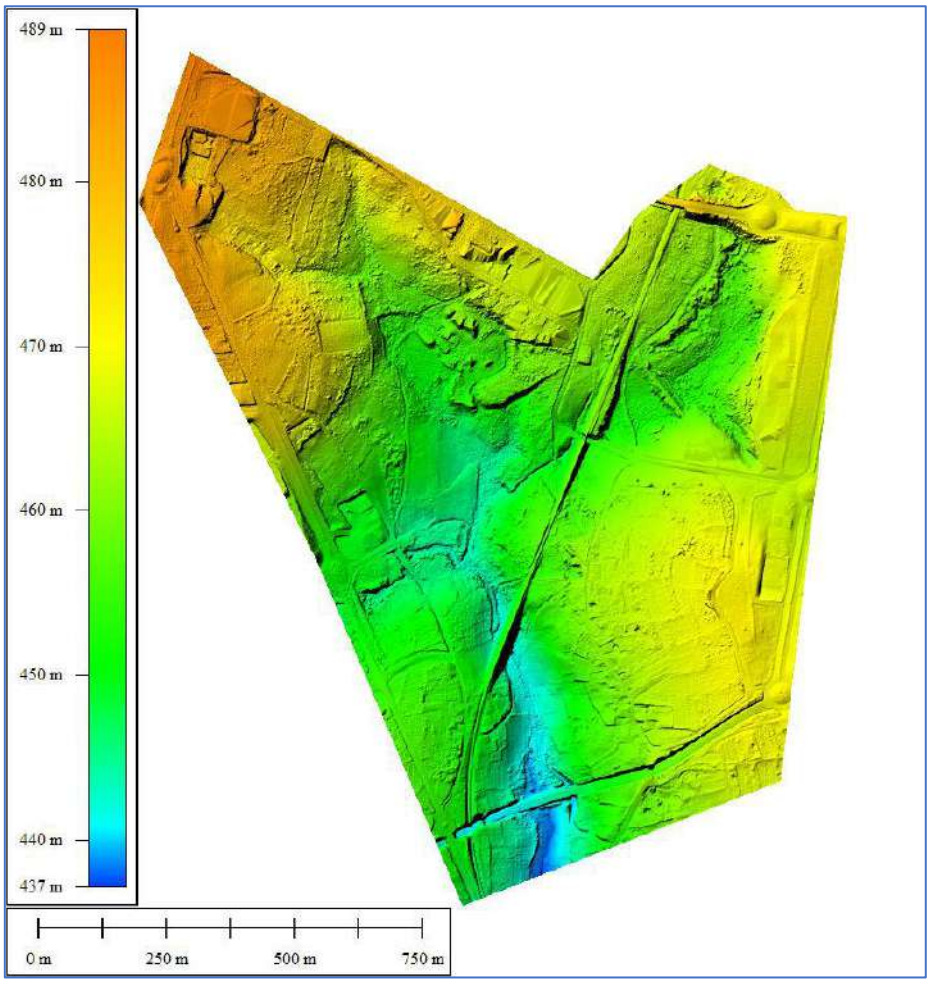
- **Filtrado de datos:** los archivos fueron filtrados de forma semi-automática utilizando Macros desarrolladas por Topcad para este propósito en el software Terra Solid. Las Macros son rutinas de filtrado que aplican parámetros matemáticos a la nube de puntos (dispersión, normales,

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

triangulaciones…) con el fin de discernir los diferentes elementos presentes en las mismas. Los archivos .las clasificados semi-automáticamente fueron editados para conseguir un porcentaje de errores mínimo. Al existir cartografía y ortofotos de la zona, se utilizaron como referencia para la edición. Se hizo especial hincapié en los puntos que presentaron mayores deficiencias: pasos elevados de infraestructuras, puentes, alcantarillas, así como zonas de vegetación densa y los cauces. Para estos procesos de edición se utilizaron los Programas Terra Scan y Global Mapper.

Finalmente interpolando, por medio de Global Mapper, los puntos clasificados como terreno, se obtuvo el modelo digital del terreno con una resolución de 1x1 m.



MDT (Modelo digital de terreno). Malla de 1x1 m interpolación solo con los puntos filtrados como terreno.

4.2.2. CAMPAÑA TOPOGRÁFICA TERRESTRE

Además, para mejorar la definición en las riberas del río y aquellas zonas en las que el MDT disponible no proporciona la precisión requerida, se lleva a cabo una campaña de topografía convencional en campo (GPS y Estación Total).

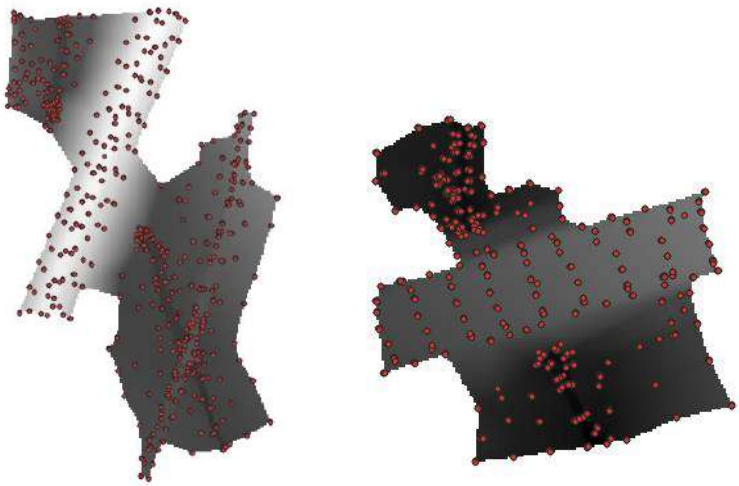
Las mediciones en campo se centran en los puentes que cruzan el río Rato en la zona de actuación, concretamente el puente de la vía del ferrocarril, el puente situado en la pista de acceso situada inmediatamente aguas abajo del anterior y el puente de la carretera N-640.

Además, durante los trabajos de campo se abordó la definición de detalle de todas las obras de paso existentes en el área de estudio, prestando especial atención a la ya citada ODT bajo la vía ferroviaria.

De esta campaña se toman un total de 754 puntos, que se pasan a un ráster con un tamaño de celda de 0,5x0,5 m

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023



Puntos y MDT de las zonas del puente del ferrocarril y pista sur y puente de la carretera N-640

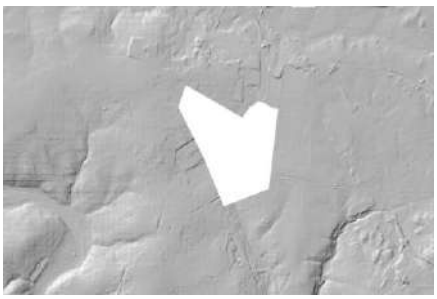
4.3. ELABORACIÓN DE MDT DEFINITIVO

Una vez analizados los datos obtenidos con el proceso de mejora del LiDAR existente y con la campaña de campo, se realiza la composición del modelo completo que se empleará como base para el modelo hidráulico objeto de este estudio.

Para su confección se lleva a cabo la unión de tres modelos digitales del terreno que han sido generados por separado:

- Zona de estudio completa delimitada por las dimensiones de la hoja del LiDAR
- Área en la que se ubican las actuaciones previstas en las inmediaciones del polígono de O Ceao (usando como base el LiDAR mejorado)
- Zonas correspondientes a los pasos que cruza el río Rato, obtenidos mediante topografía convencional de detalle y que constituyen las áreas más conflictivas a la hora de elaborar un modelo del terreno lo más fiel a la realidad posible.

Se unen los diversos modelos para obtener un único MDT que sirva como base para la construcción del modelo hidráulico que cuente con la mayor precisión posible en la zona de interés.

		
Raster correspondiente a zona exterior de la misma	Raster correspondiente al área circundante al cauce	Raster correspondiente a los puentes

Proceso de intersección y creación de MDT de proyecto

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

4.4. ESTRUCTURAS Y OBRAS DE FÁBRICA

Los trabajos de campo permiten obtener cuantiosa información sobre zonas sensibles y problemáticas que de otro modo no podría obtenerse, así como definir con detalle las estructuras (puentes y/o obras de fábrica) existentes en el ámbito de la modelación.

En este caso, se ha procedido a la identificación detallada de un total de 3 ODT´s en el tramo estudiado. Dichas estructuras de paso generan una pérdida importante de la capacidad de desagüe del río, y por lo tanto son fundamentales en el cálculo hidráulico de inundabilidad. Se ha realizado un levantamiento topográfico de cada uno de estos obstáculos con el fin de introducir su geometría de forma precisa en el modelo.

Los datos del terreno tomados en los trabajos de campo son convenientemente tratados e integrados en la información cartográfica de los MDTs, lo que permite mejorar y ampliar su nivel de detalle. Por otro lado, la información recopilada de las obras de fábrica es incluida en el modelo hidráulico con detalle lo que permite analizar su influencia hidráulica con mayor precisión.

Fotografía de detalle de la ODT bajo la vía ferroviaria

Además del levantamiento de las obras de fábrica, se han realizado trabajos adicionales con el objeto de incluir en el modelo hidráulico todos aquellos elementos, principalmente lineales, tipo muros, que condicionan de una manera muy significativa la inundabilidad de la zona de estudio.

4.5. ORTOFOTOGRAFÍA

En el modelo hidráulico elaborado se ha empleado la ortofoto de máxima actualidad obtenida por el Instituto Geográfico Nacional, en el marco del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). El tamaño del píxel proyectado de esta ortofoto es de 25 cm.

La ortofoto se ha utilizado, además de para representar los resultados, para valorar la calidad de los MDT´s utilizados, detectar zonas singulares y potencialmente problemáticas para ser expresamente modelizadas, identificar estructuras y núcleos de población y determinar los usos del suelo con precisión.

La ortofoto empleada ha sido la siguiente:

- PNOA_MA_OF_ETRS89_HU30h50_0072_2020.ecw

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

4.6. MDT EMPLEADO EN EL SNCZI

En los apartados anteriores se ha justificado claramente tanto el origen de los datos topográficos empleados para la confección del MDT empleado en el este estudio como la calidad resultante del mismo.

Tal y como se ha indicado anteriormente, la información de partida más representativa para la construcción de un modelo de simulación hidráulica 2D es la cartografía base del terreno, ya que los modelos bidimensionales son muy sensibles a la cartografía empleada y es necesario disponer de información cartográfica con suficiente precisión para obtener unos buenos resultados.

En este apartado se trata únicamente de concretar las diferencias (en forma de mejoras) entre el MDT que se va a emplear en el presente estudio y el MDT tomado como base para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI).

En la siguiente imagen, extraída de la documentación oficial publicada por el SNCZI, se presentan las características principales empleadas para la determinación de la zonificación de áreas inundables aplicable a la zona de estudio.

Zona de Flujo Preferente

Id. Zona	ES010-ZFP-LU-04-00-26494-10
Nombre zona	Lugo
Tipo zona	Zona de Flujo Preferente
Demarcación	Miño-Sil
Cauce	Río da Chanca
Longitud (Km)	0,33
Método hidrológico	Mapa de caudales máximos CEDEX (CAUMAX)
Precisión cartográfica	LIDAR 1x1 IGN PNOA
Método hidráulico	INFOWORKS ICM
Estudio	Zonas Inundables del Sistema Miño Alto
Tipo estudio	Estudio de Desarrollo del SNCZI
Escala representación	Planos digitales sin escala
Documento	Desarrollo del SNCZI en la Demarcación del Miño-Sil. Ciclo 2
Fecha documento	25/06/2020
Organismo	Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
Clave expediente	01.840-0012/0411
Caudal (m^3/s) T=100 UTILIZADO	26,4

Detalle de características estudio SNCZI

A continuación, se presenta un extracto 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, en el que se especifican las ventajas y desventajas de la tecnología LIDAR en relación a la calidad de los resultados obtenidos para la modelización hidráulica.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

Tabla 1. Ventajas e inconvenientes de la tecnología LIDAR frente a la cartografía tradicional.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
• Mayor precisión en cotas • Homogeneidad de resultados • Facilidad de manejo para la obtención de datos para la modelización hidráulica • Reducción considerable del trabajo de delineación posterior al cálculo hidráulico • Menor coste	• Necesidad de realización de batimetrías en aquellos casos en que los cauces lleven agua • Falta de información asociada (toponimia, etc...) • Dificultad de cartografiar superficies cubiertas de vegetación muy densa, lo que puede dar lugar a errores en MDTs finales • Fallos de precisión en la delineación de líneas, límites o aristas visibles en imágenes fotográficas (motas, orillas, etc.)

Extracto de Guía Metodológica para el desarrollo del SNCZI

Como se puede observar en la propia guía metodológica, se reconoce en primer lugar que la tecnología LIDAR empleada para la generación de los MDT´s a emplear en la modelización hidráulicas del SNCZI, puede dar lugar a errores en los MDT´s por la dificultad de cartografiar zonas con vegetación densa (habitual en las riberas de los cauces), por los fallos de precisión en la delimitación de líneas de rotura en las orillas y por la necesidad de realizar batimetrías en los cauces que lleven agua.

Del mismo modo, y como se resalta en la imagen de características del estudio de río da Chanca (o río Rato), se observa que el MDT empleado para la delimitación de zonas inundables (flujo preferente T100 y T500), parte del LIDAR 1x1 IGN PNOA sin, aparentemente, introducir mejoras sobre la definición concreta de zonas concretas por ejemplo mediante el empleo de topografía de detalle convencional.

A la vista de lo anteriormente expuesto, y sin que por ello suponga que el MDT empleado para el establecimiento de las zonas inundables en el SNCZI no sea válido, se evidencia en todo caso que la calidad del MDT que se empleará en el presente estudio dispondrá de una calidad superior (especialmente en el ámbito concreto de las ODT´s existentes).

5. HIDROLOGÍA. CAUDALES Y LLUVIAS DE DISEÑO

En el presente apartado se trata de establecer los caudales de diseño a emplear en la determinación de las zonas inundables, en sus distintas casuísticas, resultantes del presente estudio para cada una de las alternativas.

Se estructura el presente apartado en dos sub-apartados en función de los siguientes criterios:

- **Caudales de diseño:** en este apartado, se establecerán los hidrogramas de entrada a emplear en el modelo numérico para el río da Chanca (río Rato) en el punto de origen seleccionado (paso inferior bajo la vía ferroviaria de acceso al polígono de As Gándaras), empleando idénticos criterios a los previstos en el SNCZI. Además, *y como consecuencia de la reunión previa mantenida con la CHMS, a efectos de establecimiento de los criterios de diseño a emplear para el presente estudio (reunión de lanzamiento con Área Técnica y Comisaría de Aguas),* se enfocará el estudio de alternativas de solución específicamente al análisis de capacidad de evacuación para el escenario más restrictivo (período de retorno T=500 años). Además, y tal y como se verá más adelante, los hidrogramas de entrada a emplear se corresponderán exactamente con los ya utilizados en el SNZCI que, en este caso, tienen su punto de cierre aguas arriba de la ODT bajo la vía ferroviaria e incluyen la totalidad de la cuenca hidrográfica (y la totalidad del Sector S.5-I) con lo que, en definitiva, se aplicará un criterio de diseño de tipo conservador (se aplicará el caudal punta del hidrograma, correspondiente a la totalidad de la cuenca hidrográfica en su punto de cierre, en el punto de origen del tramo de río modelizado en este estudio). Por lo tanto, la aplicación de los caudales de diseño extraídos del SNCZI se emplearán para el estudio de alternativas de capacidad de las distintas ODT´s en su caso más desfavorable, obteniendo las áreas de inundación resultantes más restrictivas.

- **Lluvias de diseño:** se introduce adicionalmente un apartado de lluvias de diseño que tiene que ver con el estudio específico del interior del Sector S.5-I. En este sentido, se trata de dar respuesta al informe de la CHMS en cuanto a la necesidad de estudiar los cauces y surgencias interiores del Sector

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

S.5-I a efectos de asegurar su correcta integración en la zonificación del Plan Parcial. De este modo, en el presente estudio se opta por analizar el régimen hidráulico del interior del Sector S.5-I mediante un modelo de lluvia directa sobre malla tanto para la situación actual como para la situación proyectada; con este método, se podrán observar los flujos principales de escorrentía actuales de modo que, tal y como requiere la CHMS, se asegure el respeto e integración de los cauces y surgencias existentes en la zonificación diseñada para el Plan Parcial. Al igual que en el caso anterior, se prestará especial atención al escenario de diseño más restrictivo (T500) de modo que, en el diseño de la solución para el interior del Sector S.5-I, se asegure tanto la correcta integración de los cauces y surgencias en el Plan Parcial como la capacidad de desagüe necesaria según los criterios de diseño de aplicación.

De este modo, en los siguientes apartados se concretan los caudales de diseño a emplear para el estudio de la capacidad de desagüe asociada al cauce principal y las lluvias de diseño a emplear para el estudio de los flujos de escorrentía y capacidad de desagüe para los cauces y surgencias existentes en el interior del propio Sector S.5-I.

5.1. CAUDALES DE DISEÑO

Tal y como se ha indicado anteriormente, en este apartado se establecerán los hidrogramas de entrada a emplear en el modelo numérico para el río da Chanca (río Rato) en el punto de origen seleccionado (paso inferior bajo la vía ferroviaria de acceso al polígono de As Gándaras), empleando idénticos criterios a los previstos en el SNCZI.

Además, *los hidrogramas de entrada a emplear se corresponderán exactamente con los ya utilizados en el SNZCI que, en este caso, tienen su punto de cierre aguas arriba de la ODT bajo la vía ferroviaria e incluyen la totalidad de la cuenca hidrográfica (y la totalidad del Sector S.5-I) con lo que, en definitiva, se aplicará un criterio de diseño de tipo conservador (se aplicará el caudal punta del hidrograma, correspondiente a la totalidad de la cuenca hidrográfica en su punto de cierre, en el punto de origen del tramo de río modelizado en este estudio).*

Según se desprende de las imágenes extraídas de la documentación oficial publicada por el SNCZI para la determinación de las zonas inundables, los caudales correspondientes a T=500 años (zona inundable con probabilidad baja o excepcional) y T=100 años (zona inundable con probabilidad media u ocasional) empleados para la determinación del deslinde oficial contenido en el SNCZI, son los que se detallan en las siguientes imágenes.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

Zona Inundable con Probabilidad Baja o Excepcional (T=500 años)	
Id. Zona	ES010-T500-LU-04-00-26494-10
Nombre zona	Lugo
Tipo zona	Q Periodo de retorno T500
Cauce	Río da Chanca
Longitud (Km)	0,33
Zona inundable directiva de inundaciones	ES010-LU-04-02
Ciclo ARPSI	1
Hipótesis	Q500 régimen natural
Método hidrológico	Mapa de caudales máximos CEDEX (CAUMAX)
Caudal (m^3/s)	35,3
Precisión cartográfica	LIDAR 1x1 IGN PNOA
Método hidráulico	INFOWORKS ICM
Estudio	Zonas Inundables del Sistema Miño Alto
Tipo estudio	Estudio de Desarrollo del SNCZI
Documento	Desarrollo del SNCZI en la Demarcación del Miño-Sil. Ciclo 2
Clave expediente	01.840-0012/0411
Fecha de aprobación	25/06/2020
Fecha de la información geográfica de base	09/2019
Organismo	Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
Demarcación hidrográfica	Miño-Sil

Detalle de características SNCZI río da Chanca (caudal T500)

Zona Inundable con Probabilidad Media u Ocasional (T=100 años)	
Id. Zona	ES010-T100-LU-04-00-26494-10
Nombre zona	Lugo
Tipo zona	Q Periodo de retorno T100
Cauce	Río da Chanca
Longitud (Km)	0,33
Zona inundable directiva de inundaciones	ES010-LU-04-02
Ciclo ARPSI	1
Hipótesis	Q100 régimen natural
Método hidrológico	Mapa de caudales máximos CEDEX (CAUMAX)
Caudal (m^3/s)	26,4
Precisión cartográfica	LIDAR 1x1 IGN PNOA
Método hidráulico	INFOWORKS ICM
Estudio	Zonas Inundables del Sistema Miño Alto
Tipo estudio	Estudio de Desarrollo del SNCZI
Documento	Desarrollo del SNCZI en la Demarcación del Miño-Sil. Ciclo 2
Clave expediente	01.840-0012/0411
Fecha de aprobación	25/06/2020
Fecha de la información geográfica de base	09/2019
Organismo	Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
Demarcación hidrográfica	Miño-Sil

Detalle de características SNCZI río da Chanca (caudal T100)

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

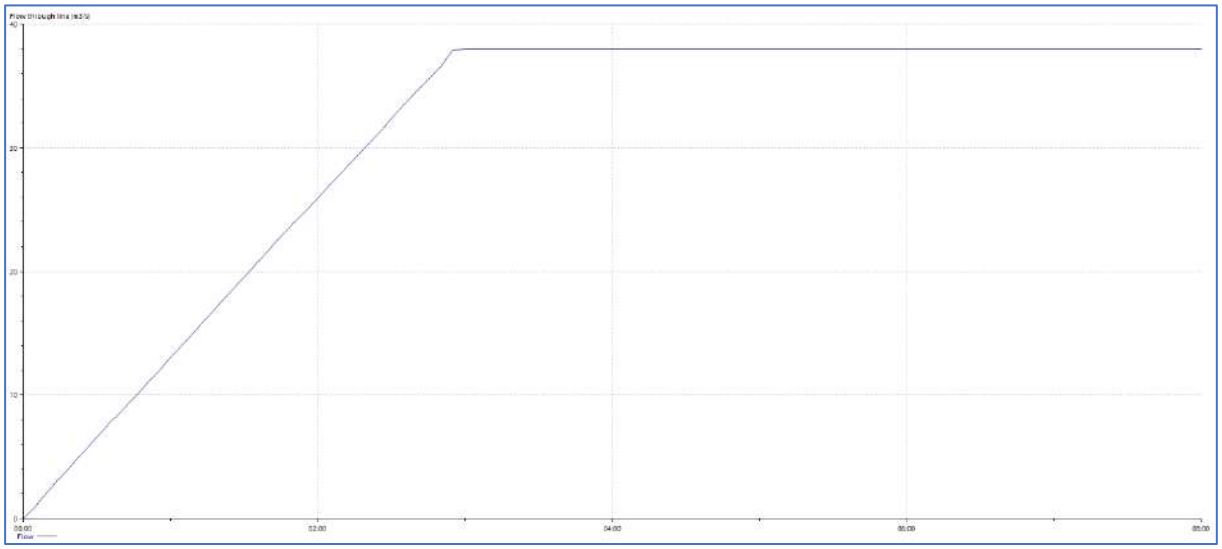
De este modo, y tal y como se ha indicado con anterioridad, en el presente estudio se adoptan idénticos caudales de diseño para el estudio de alternativas del incremento de capacidad de evacuación, especialmente de la ODT existente bajo la vía ferroviaria y, por consiguiente, para la determinación de las zonas inundables modificadas que se deriven de las distintas alternativas de actuación.

La forma de introducción de los hidrogramas de diseño consiste en la generación de un grupo de caudales entrantes en Infoworks ICM que se asocia a la línea de condición de contorno 2D que se emplea para la introducción de estos hidrogramas; en este caso, los hidrogramas principales de entrada se corresponden con los valores de T100 y T500 aplicados en la línea de entrada del modelo situada en el paso inferior bajo la vía ferroviaria de acceso al polígono de As Gándaras (cabecera del río Rato en el tramo de estudio).

Para componer los hidrogramas de entrada en el tiempo se ha considerado el tiempo de concentración de cada cuenca en el punto de cálculo del hidrograma correspondiente, *asegurando en todo caso que se alcanza la estabilidad del modelo para los caudales punta de diseño sostenidos en el tiempo*; de este modo, se ha compuesto un grupo de caudales entrantes que contempla el caudal correspondiente a T100 (máximo de 26,4 m^3/s) y para T500 (máximo de 35,3 m^3/s).

En cuanto a la duración de los hidrogramas de diseño empleados, se trata de generar rampas ascendentes de incremento de caudales de entrada que, manteniendo la convergencia y estabilidad del modelo hidráulico, permitan analizar con la suficiente precisión los resultados de inundación obtenidos para cada uno de los eventos de diseño empleados.

A modo de ejemplo, se presenta a continuación el gráfico de caudales entrantes empleados para T500 en el modelo hidráulico del presente estudio.



Hidrograma de entrada cabecera río Rato tramo de estudio (T=500 años)

Como se puede observar, se introduce un hidrograma de rampa ascendente que alcanza el caudal punta de diseño (máximo de 35,3 m^3/s) a las 3 horas, manteniéndose desde este punto el caudal máximo durante un período suficiente para asegurar la estabilidad del modelo (50 horas para la situación actual y 8 horas para las alternativas de solución estudiadas).

El concepto de estabilidad del modelo se refiere al punto dónde se alcanza el régimen estacionario (se estabiliza la altura de inundación en función de las distintas alternativas de incremento de capacidad de evacuación) lo que supone en definitiva que, a partir de este punto, *la lámina máxima de inundación alcanzada se estabiliza y los caudales de entrada y salida del modelo se igualan.*

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

5.2. LLUVIAS DE DISEÑO

Tal y como se ha indicado anteriormente, en el presente estudio se opta por analizar el régimen hidráulico del interior del Sector S.5-I mediante un modelo de lluvia directa sobre malla tanto para la situación actual como para la situación proyectada; con este método, se podrán observar los flujos principales de escorrentía actuales de modo que, tal y como requiere la CHMS, se asegure el respeto e integración de los cauces y surgencias existentes en la zonificación diseñada para el Plan Parcial.

Al igual que en el caso anterior, se prestará especial atención al escenario de diseño más restrictivo (T500) de modo que, en el diseño de la solución para el interior del Sector S.5-I, se asegure tanto la correcta integración de los cauces y surgencias en el Plan Parcial como la capacidad de desagüe necesaria según los criterios de diseño de aplicación.

5.2.1. CURVAS IDF

Se obtienen las precipitaciones máximas diarias y sus periodos de retorno para la estación más próxima a nuestra zona de estudio (Lugo), estos datos se obtienen del texto "Las precipitaciones máximas en 24 horas y sus periodos de retorno en España. Volumen 1. Galicia".

	PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS							
T (años)	**2**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	**200**	**500**
P (mm.)	57	76	89	108	123	138	155	177

Precipitaciones máximas diarias por período de retorno

Para elaborar las curvas Intensidad-Duración-frecuencia (IDF) se emplea la ecuación de la Instrucción 5.2 IC.

$$\frac{I_t}{I_d} = \left(\frac{I_1}{I_d}\right)^{\frac{28^{0,1}-t^{0,1}}{28^{0,1}-1}} \quad ; \quad I_d = \frac{P_d}{24}$$

Siendo:

I_t : Intensidad media de precipitación correspondiente a la duración de t horas (mm/h).

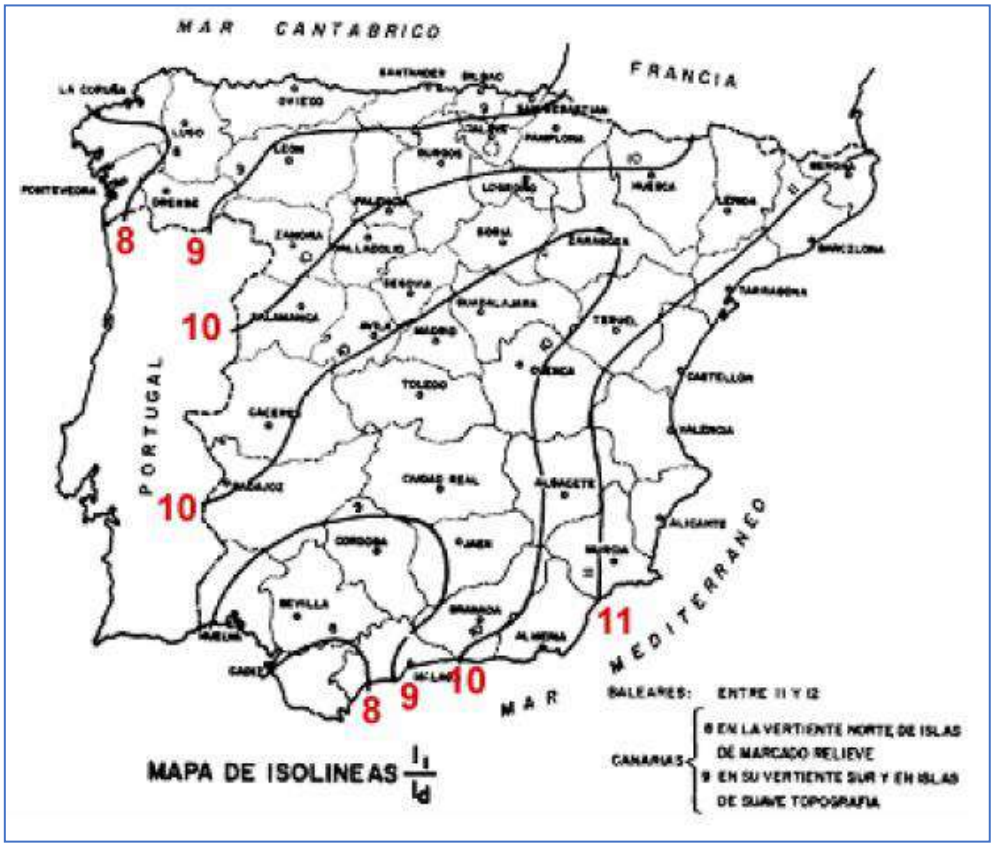
I_d : Intensidad media de precipitación correspondiente al periodo de retorno considerado (mm/h).

P_d : Precipitación máxima diaria correspondiente al periodo de retorno considerado (mm/h).

$\frac{I_1}{I_d}$: Cociente entre la intensidad horaria y diaria, que se puede extraer de la imagen adjunta, que para nuestra zona de estudio es aproximadamente 8

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023



Mapa de isolíneas I1 / Id.

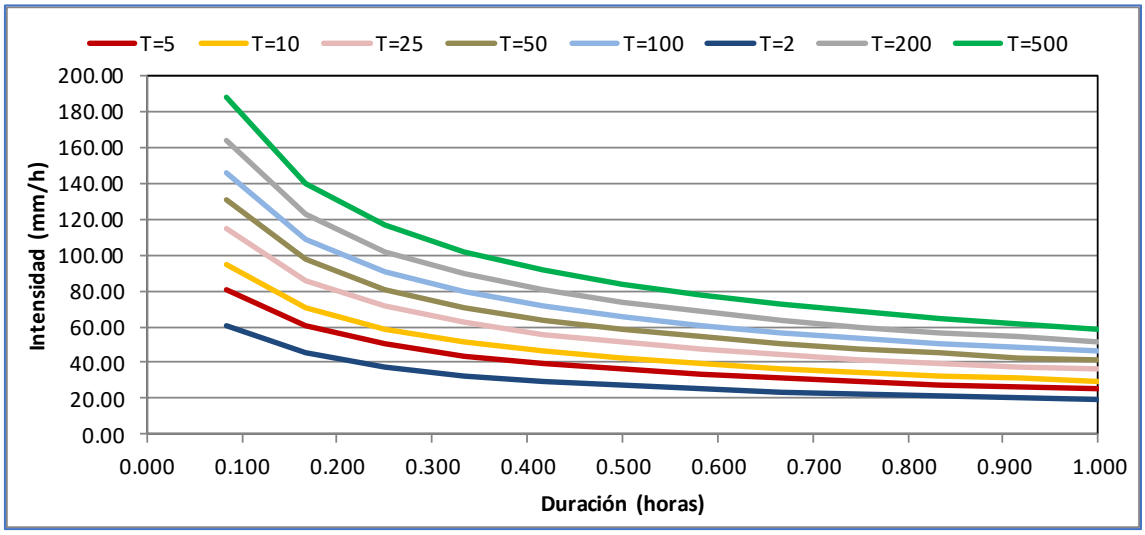
De esta manera se pueden calcular los pares Duración-Intensidad tal como se muestra en la tabla adjunta y de forma gráfica para intervalos de 5 minutos para el tiempo de concentración determinado que en este caso, dada las características de orografía y cartografía de la cuenca a analizar, se estima en 1 hora.

It (mm/h)									
MINUTOS	**HORAS**	**T=2**	**T=5**	**T=10**	**T=25**	**T=50**	**T=100**	**T=200**	**T=500**
60	**1.000**	19.00	25.33	29.67	36.00	41.00	46.00	51.67	59.00
5	**0.083**	60.42	80.57	94.35	114.49	130.39	146.29	164.31	187.63
10	**0.167**	45.02	60.02	70.29	85.29	97.14	108.99	122.41	139.79
15	**0.250**	37.53	50.04	58.60	71.11	80.98	90.86	102.05	116.54
20	**0.333**	32.84	43.78	51.27	62.22	70.86	79.50	89.29	101.96
25	**0.417**	29.52	39.37	46.10	55.94	63.71	71.48	80.29	91.68
30	**0.500**	27.02	36.03	42.19	51.20	58.31	65.42	73.48	83.90
35	**0.583**	25.04	33.38	39.09	47.44	54.03	60.62	68.08	77.75
40	**0.667**	23.42	31.22	36.56	44.37	50.53	56.69	63.67	72.71
45	**0.750**	22.06	29.41	34.44	41.79	47.59	53.40	59.98	68.49
50	**0.833**	20.89	27.86	32.62	39.59	45.09	50.58	56.82	64.88
55	**0.917**	19.89	26.51	31.05	37.68	42.91	48.14	54.07	61.75
60	**1.000**	19.00	25.33	29.67	36.00	41.00	46.00	51.67	59.00

Pares duración – intensidad por período de retorno

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023



Curvas IDF por período de retorno

5.2.2. HIETROGRAMAS DE DISEÑO

Un hietograma es una representación de la distribución temporal de la intensidad de precipitación ocurrida en un punto durante un evento de lluvia.

Se representan a continuación las intensidades de lluvia para un intervalo de 5 minutos para un evento de 1 hora de duración. Se ha elegido esta duración por ser el más aproximado al tiempo de concentración estimado para la cuenca estudiada, de manera que los resultados quedarán del lado de la seguridad.

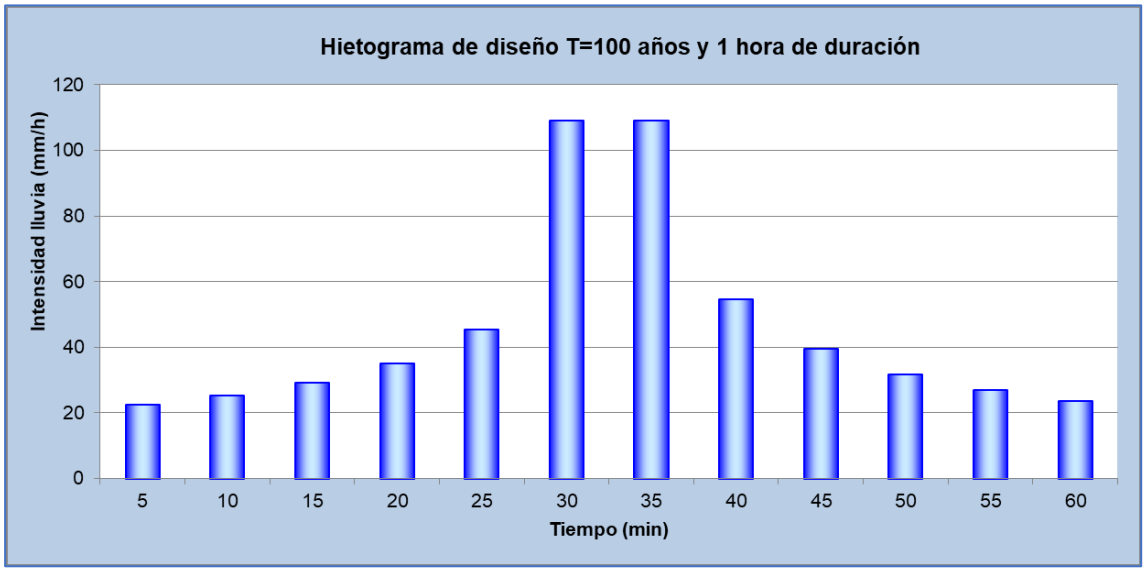
Para la obtención del patrón de precipitación sintético se emplea el "Método de los Bloques Alternos", que evita que queden picos muy altos en la representación de las lluvias, al realizar la media de los valores de los dos bloques más importantes.

Se adjuntan a continuación los hietogramas para una duración de 1 hora y para los períodos de retorno de 100 y 500 años

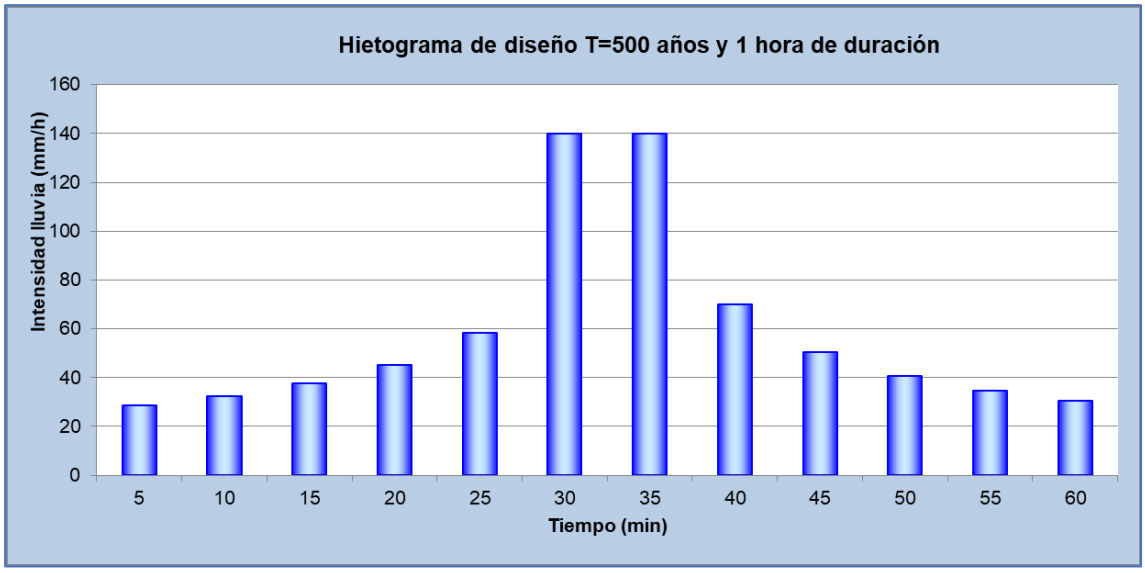
I (mm/h)						
MINUTOS	T100			T500		
	I (mm/h)	P (mm)	ΔP (mm)	I (mm/h)	P (mm)	ΔP (mm)
5	22.42	12.19	12.19	28.75	15.64	15.64
10	25.27	18.16	5.97	32.41	23.30	7.66
15	29.20	22.72	4.55	37.45	29.13	5.84
20	35.10	26.50	3.78	45.02	33.99	4.85
25	45.41	29.78	3.28	58.24	38.20	4.21
30	71.68	32.71	2.93	91.94	41.95	3.75
35	146.29	35.36	2.65	187.63	45.35	3.40
40	54.61	37.79	2.43	70.04	48.47	3.12
45	39.41	40.05	2.26	50.55	51.37	2.89
50	31.81	42.15	2.11	40.80	54.07	2.70
55	27.06	44.13	1.98	34.71	56.60	2.54
60	23.74	46.00	1.87	30.45	59.00	2.40

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P.D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023



Hietograma T=100 años



Hietograma T=500 años

6. SÍNTESIS METODOLÓGICA

El modelo numérico desarrollado comprende el tramo del río Rato que va desde el paso inferior (bajo la vía ferroviaria) que da acceso al polígono de As Gándaras hasta aguas abajo del paso bajo la Ronda Norte.

El modelo incluye un tramo del río Rato de 1 Km. de longitud junto con toda la cuenca colindante que en la actualidad se encuentra en los límites de afección del SNCZI para el caso más desfavorable (correspondiente a T=500 años).

En su parte inicial (tramo desde el origen hasta la ODT existente bajo la vía ferroviaria), el cauce discurre por terrenos de bosque y fincas de labradío en estado prácticamente de abandono y se caracteriza por discurrir, en su margen izquierda, "encajonado o limitado" por la vía ferroviaria mientras que, en su margen derecha, dispone de una llanura aluvial de poca pendiente que se extiende hasta la zona Sur del Sector S.5-I (a través de esta llanura de inundación se incorporan los flujos de escorrentía que proceden de los cauces y surgencias existentes en el interior del sector).

En su parte final (tramo desde la ODT existente bajo la vía ferroviaria hasta el punto de salida del modelo que se ha fijado aguas abajo del cruce con la Ronda Norte), el cauce discurre entre fincas de labradío

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

que conforman su llanura aluvial en ambas márgenes. Además, en este tramo existen sendos pasos / ODT´s que se corresponden con los cruzamientos bajo un vial secundario municipal (sección marco HA 2,00 x 1,60 m.) y bajo la ya citada Ronda Norte (sección marco HA 3,00 x 2,00 m.)

Debido a las especiales características de estos tramos, con grandes llanuras aluviales y/o zonas en las que se producen desbordamientos laterales de importancia, se hace necesaria la aplicación de modelos bidimensionales.

El uso de modelos bidimensionales se hace indispensable en zonas en las que ambas componentes de la velocidad, en el sentido de flujo y en el sentido transversal, son importantes.

Para la simulación hidráulica el software utilizado ha sido el modelo bidimensional InfoWorks ICM.

El estudio hidráulico realizado permite un alto nivel de detalle, pudiendo estudiar con precisión los calados y velocidades que alcanza el flujo de la lámina de agua en cada punto de la zona de simulación.

El proceso de análisis y planteamiento de resultados seguido en el presente estudio ha sido el siguiente:

- Análisis de los tramos de estudio.
- Determinación de la zona de simulación, con inclusión de las longitudes de acomodamiento.
- Asignación y estimación de rugosidades (números de Manning), previo análisis detallado de la zona.
- Montaje del modelo hidráulico.
- Simulaciones de situación actual (calibración del modelo respecto del SNCZI con el método de caudales entrantes).
- Simulación de situación actual (asociada al interior del Sector S.5-I con el método de lluvia de directa sobre malla).
- Ajuste y validación de los modelos hidráulicos con la información disponible.
- Simulaciones de variantes de diseño asociadas al cauce principal (método de caudales entrantes) para período de retorno T=500 años.
- Integración de simulaciones (variantes del cauce principal e interior del Sector S.5-I)
- Post-proceso de los resultados generados por el modelo hidráulico.
- Análisis de la situación actual y resultados de estudio de alternativas.
- Propuesta de alternativa seleccionada e integración de esta con el Plan Parcial del Sector S.5-I.

En los siguientes apartados se desarrollan ampliamente las características concretas del software empleado como base para el desarrollo del estudio (Infoworks ICM), prestando especial atención a su proceso de construcción (en versión 2D y 1D) con el objetivo último de conseguir una herramienta de base fiable que soporte tanto el análisis de la situación actual como el establecimiento de las distintas zonas inundables para cada alternativa estudiada objeto de este estudio y por tanto, permita determinar de forma claramente fundamentada las conclusiones finales a extraer del propio trabajo de diseño hidráulico y que justificarán la comparación resultante entre el deslinde de zonas inundables que actualmente se detalla en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI), y el deslinde resultante del presente estudio para cada una de las alternativas analizadas.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

7. MODELO DE RED. CARACTERÍSTICAS GENERALES Y CONSTRUCCIÓN

En el presente apartado se detallarán las características generales del modelo hidráulico empleado para el establecimiento de soluciones a desarrollar a lo largo del presente estudio; se trata de explicar las características fundamentales y los principios matemáticos que rigen la operación del modelo numérico a fin de establecer las bases teóricas de sustentan el proceso de creación y operación del modelo que se desarrollarán en apartados posteriores.

Si bien este apartado puede resultar excesivamente teórico se estima como necesaria su inclusión a efectos de presentar en el mismo documento el conjunto de aspectos teóricos y prácticos que sustentan el conjunto del estudio, resultando de especial interés para aquel lector de perfil técnico que pueda mostrar un especial interés por los principios matemáticos que emplea el modelo para la resolución de las ecuaciones comprometidas en su parte 1D y 2D.

7.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO INFOWORKS ICM

El modelo utilizado (InfoWorks ICM) ha sido desarrollado por Innovyze, dentro de su filial inglesa de carácter privado dedicada a la investigación y consultoría en el marco de la ingeniería hidráulica y temas relacionados con el agua en general en todo el mundo. Fundada hace más de 50 años está formada por más de 200 ingenieros, científicos, matemáticos y personal logístico. Sus ensayos físicos, modelos numéricos, estudios de gabinete y toma de datos se respaldan con una amplia investigación de laboratorio. Entre sus mayores clientes se encuentran el Gobierno del Reino Unido, la Comisión Europea y Fundaciones Internacionales.

Desarrollado en inicio para el análisis de Redes de Alcantarillado, es asimismo, aplicable a prácticas asociadas como Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales y Canales Fluviales, siendo objeto de continuas mejoras.

Además, ICM simula el flujo bidimensional en superficie mediante la integración numérica de las ecuaciones de Saint-Venant en elementos prismáticos de base triangular bajo la hipótesis de aguas poco profundas que permite aproximar correctamente la velocidad total del agua en cada elemento sin considerar la componente vertical.

Finalmente, la interacción entre la red de saneamiento y el modelo bidimensional en superficie es total, permitiendo el intercambio de agua en ambos sentidos según evoluciona el evento de lluvia en el tiempo.

Cabe destacar que los cálculos se realizan siempre en régimen variable con integración completa de las ecuaciones de Saint Venant. El programa es capaz de pasar en las tuberías de lámina libre a presión y viceversa automáticamente, permitiendo la modelización de sifones, compuertas, bombeos y todos los elementos de una red de saneamiento uni-dimensional. Tanto para los cálculos hidráulicos como hidrológicos hay que indicar que se basa en el uso de SIG (MapInfo; ArcView, etc.) y permite el uso de datos de telemetría y SCADA.

El motor de simulación de InfoWorks ICM es reconocido mundialmente por su rapidez, y por el control que proporciona al usuario a lo largo del proceso de la simulación.

En la actualidad, Infoworks ICM es el software empleado por la Confederación Hidrográfica del Miño-Sil (CHMS) como referencia de simulación con lo que el desarrollo de todo el modelo se encuadra en las premisas técnicas establecidas y facilita la integración de las soluciones para su correcto desarrollo y proceso de implementación en el sistema general de seguimiento de la CHMS.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

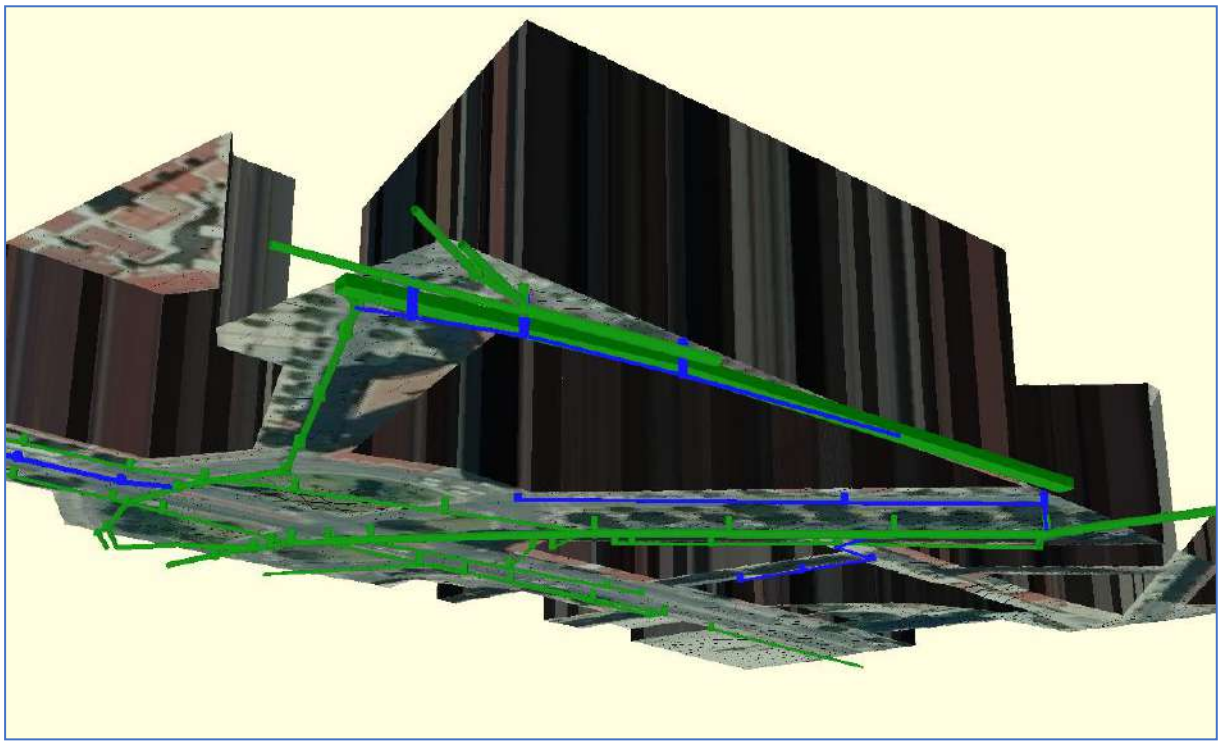
7.1.1. INFOWORKS ICM 1D – ECUACIONES HIDRÁULICAS EN RED UNIDIMENSIONAL

Independientemente de que la mayor parte del estudio se desarrolla en la parte bidimensional del Infoworks ICM, se introducen elementos de interés de tipo unidimensional (ODT´s de paso bajo infraestructuras) que fundamentan la inclusión en el documento de esta primera parte teórica sobre el modelo 1D.

En InfoWorks ICM los elementos del modelo de la red de drenaje se representan mediante nodos (pozos de registro y sumideros), conductos (tuberías) y sub-cuencas (que recogen la escorrentía de manzanas y viales), si bien estas últimas pueden obviarse o simplificarse en el caso de optar por un modelo con lluvia directa en malla o con introducción de grupos de caudales entrantes (solución esta última adoptada en el caso del río Saja que nos ocupa).

Estos elementos se denominan unidimensionales pues presentan sección constante y la resolución de las ecuaciones hidráulicas se realiza con la condición implícita de que el flujo en ellos solo puede ser paralelo a su eje (caso de tuberías de la red subterránea).

En la imagen adjunta se representan nodos y conductos del modelo unidimensional bajo la superficie de los viales, observándose al mismo tiempo el aspecto del modelo 2D en superficie.



Ejemplo de red 1D bajo malla del modelo 2D

<u>Principales características del cálculo unidimensional</u>

- Resuelve las ecuaciones completas de Saint Venant.
- Resuelve las ecuaciones mediante iteraciones, lo cual le da la mayor precisión, asegurando la convergencia de la solución.
- No está restringido por el criterio de estabilidad de Courant (CFL), lo cual asegura la estabilidad del modelo.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

Ecuaciones empleadas y resolución numérica

Como ya se ha indicado, las ecuaciones empleadas en la resolución del modelo hidráulico en lámina libre son las ecuaciones de Saint-Venant (Yen, 1973). Éstas se corresponden con las ecuaciones de conservación de masa y cantidad de movimiento:

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}v=0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{A}\right)+gA\left(\cos\theta\frac{\partial y}{\partial x}-S_0+\frac{Q|Q|}{K^2}\right)=0$$

Donde:

Q - caudal (m^3/s)

A – área de la sección transversal (m^2)

g – aceleración de la gravedad (m/s^2)

 - inclinación del lecho respecto a la horizontal (grados)

S_0 – pendiente del lecho

K - transporte

La ecuación del transporte se basa en las expresiones de Colebrook-White o de Manning, dependiendo del tipo de rugosidad escogida.

El modelo de ecuaciones que gobiernan el flujo en las tuberías en presión difiere en que el ancho de la superficie libre se sustituye conceptualmente por un término relativamente pequeño:

$$B=\frac{gA_f}{C_p^2}$$

Donde:

B – ancho de la superficie libre (m)

g – aceleración de la gravedad (m/s^2)

A_f – área completa de la tubería (m^2)

Cp – velocidad completa de la onda de presión en la tubería (m/s)

Transición del flujo en lámina libre a flujo en presión

La solución de las ecuaciones de Saint-Venant puede extenderse al flujo en presión mediante la introducción de una ranura estrecha (ranura Preissmann) en la parte superior de la tubería (Cunge y Wegner, 1964). Se permite así una transición suave entre el flujo en superficie libre y en presión. La ranura Preissmann es una ranura imaginaria, vertical y estrecha, que proporciona una superficie libre simulada del flujo cuando el nivel del agua se halla por encima de la parte superior de un conducto cerrado.

La anchura de la ranura en sí se define de tal manera que la celeridad de la onda en la ranura es diez veces mayor que en la mitad de la altura del conducto. Esto permite la modelización precisa del flujo a presión (Gómez, 1992) para una anchura de la ranura que es del 2% de la total del conducto.

En el caso de un canal abierto de la geometría se extrapola si el nivel en el conducto excede la altura del revestimiento.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

Adicionalmente, cada conducto se divide en N puntos computacionales discretos espaciados regularmente cada 20 veces el diámetro del conducto.

El esquema de 4 puntos de Preissmann (Preissmann, 1961) se utiliza para aproximar las ecuaciones de Saint-Venant, en el que las funciones y sus derivadas son reemplazadas por los promedios ponderados en las cuatro esquinas de un cubo en el espacio:

$$f = \frac{\theta}{2}\left(f_{i+1}^{n+1} + f_i^{n+1}\right) + \frac{(1-\theta)}{2}\left(f_{i+1}^{n} + f_i^{n}\right)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{\theta}{\Delta x}\left(f_{i+1}^{n+1} - f_i^{n+1}\right) + \frac{(1-\theta)}{\Delta x}\left(f_{i+1}^{n} - f_i^{n}\right)$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{1}{2\Delta t}\left(f_{i+1}^{n+1} + f_i^{n+1} - f_{i+1}^{n} - f_i^{n}\right)$$

Donde f_i^n significa $f(i\Delta x, n\Delta t)$.

Por tanto, cada par de puntos adyacentes en un conducto se relaciona por la forma discreta de las ecuaciones de Saint-Venant, lo que resulta en 2N-2 ecuaciones disponibles en cada conducto para describir el estado del flujo. En el caso de elementos de control, como vertederos, rejillas, bombeos, la vinculación entre ambos extremos se define mediante su ecuación de descarga.

Elección de Ecuaciones para tuberías siempre en Presión

También es posible emplear el modelo en presión en lugar de las ecuaciones completas de Saint-Venant en las tuberías que se deseen, por ejemplo, para modelizar tuberías forzadas o sifones invertidos.

Las ecuaciones que gobiernan las tuberías en presión son:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA\left(\frac{\partial h}{\partial x} - S_0 + \frac{Q|Q|}{K^2}\right) = 0$$

Donde:

Q - caudal (m^3/s)

A – sección completa de la tubería (m^2)

g – aceleración de la gravedad (m/s^2)

S_0 – pendiente del lecho

K – transporte de la sección completa

Este modelo resulta más preciso que el de las ecuaciones completas de St. Venant, ya que determina perfectamente las velocidades y volúmenes, pues no asigna caudales de base o ranura de Preissmann a cada tubería.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

Condición de Contorno y Ecuación de Continuidad

El sistema de ecuaciones locales para cada conducto se completa mediante la especificación de una condición de contorno en cada extremo, en la forma:

$$f(Q_i, y_i, \mathrm{Y}_i) = 0$$

El sistema de ecuaciones se completa con la ecuación de continuidad, que ha de cumplirse en cada nodo interno del conducto:

$$Q_{\mathrm{I}} + \Sigma\beta_j Q_j = A_{\mathrm{I}} \frac{d\mathrm{Y}_{\mathrm{I}}}{dt}$$

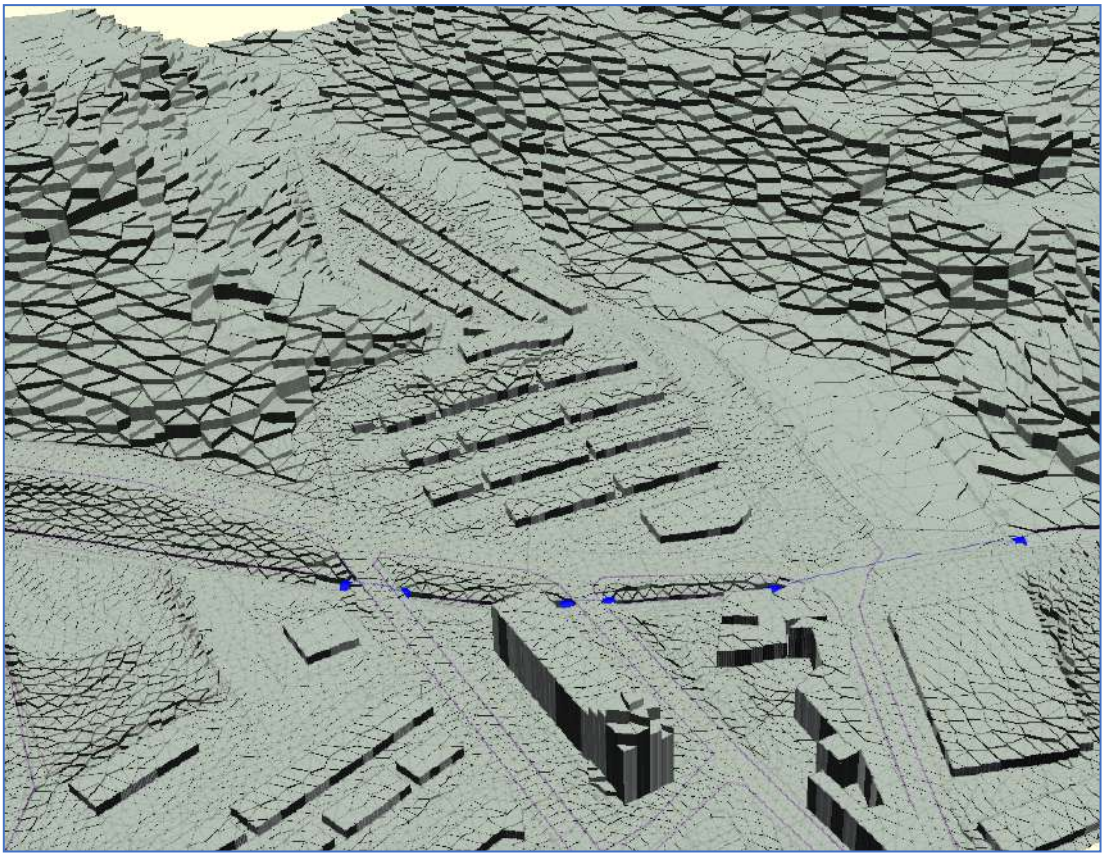
Esta última expresión se resuelve mediante el método de Euler implícito.

7.1.2. INFOWORKS ICM 2D –MALLADO TRIANGULAR SUPERFICIAL (ZONA 2D)

El flujo bidimensional, denominado así porque se produce en todas las direcciones de un plano se resuelve mediante la utilización de una malla de elementos triangulares que abarca toda la superficie en la que se va a modelizar el flujo. Dicha malla se apoya sobre el modelo del terreno empleado, disponiendo cada elemento triangular con solera igual a la media de las cotas de los vértices, de manera que el fondo es horizontal, como se puede apreciar en la imagen 3D adjunta.

Las ecuaciones de energía del agua se resuelven asumiendo que se trata de un flujo poco profundo y plano.

De este modo, cada elemento de la malla tiene, en todo su prisma de agua (producto de su superficie Z_B por su calado h) la misma velocidad V.



Modelo de elementos triangulares (zona transición de malla rural a urbana)

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

Ecuaciones Fundamentales

El movimiento del agua sobre la superficie terrestre tiene fundamentalmente dos componentes, por lo que se puede considerar el movimiento en un plano; este tipo de movimiento si se considera de poco espesor, no está afectado de forma sustancial por la componente vertical del movimiento, de forma que el vector velocidad V (u,v,w) puede ser aproximado por su variante bidimensional V (u,v).

Para exponer las consideraciones teóricas de este tipo de movimiento se puede utilizar la siguiente notación:

Coordenadas cartesianas con ejes x, y horizontales, z vertical.

Velocidad *V (x,y)*

Superficie del fondo Z_B *(x,y)*

Calado *h (x,y)*

Superficie libre del agua $L = Z_B + h$

Aceleración de la gravedad *g*

"n" de Manning *n*

La ecuación general del movimiento de un flujo poco profundo con superficie libre puede escribirse en la forma.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \nabla F = S_b + S_f \qquad (1)$$

Donde los vectores de flujo *U, Sb y* S_f tienen la expresión:

$$U = \begin{bmatrix} h \\ hu \\ hv \end{bmatrix} \qquad S_b = -gh \begin{bmatrix} 0 \\ \partial Z_b / \partial x \\ \partial Z_b / \partial y \end{bmatrix} \qquad S_f = -\frac{g\, n^2 \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \begin{bmatrix} 0 \\ u \\ v \end{bmatrix}$$

Y F tiene la expresión:

$$F = (E, G) = \begin{bmatrix} hu & hv \\ h\,u^2 + g\,h^2/2 & h\,u\,v \\ h\,u\,v & h\,u^2 + g\,h^2/2 \end{bmatrix}$$

La ecuación de conservación de energía es:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + v \cdot grad\, H = g\,\frac{\partial h}{\partial t}$$

Siendo *H (x,y)* la energía según la expresión:

$$H = \frac{1}{2}\, V \cdot V + g(Z_B + \mathrm{h})$$

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

Integración numérica

La integración de la ecuación (1) en un volumen finito $\mathbf{V_k}$ se puede escribir (según F. Alcrudo y J. Mulet), en la forma:

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_{V_k} \mathbf{U} + dV + \oint_{S_k} \mathbf{F}\cdot\mathbf{n}\, dS = \int_{V_k} (\mathbf{S_b} + \mathbf{S_f})\, dV \qquad (2)$$

Los autores usan el método clásico de TVD (Total Variation Dismishing), empleado para resolver ecuaciones diferenciales parciales a partir de la aproximación Roe de la solución de Riemann para extrapolar volúmenes finitos de doble paso, con precisión de segundo orden e integración explicita en el tiempo. Se ha comprobado que el método es estable y preciso en muchas aplicaciones, pudiéndose aplicar en mallas estructuradas y no estructuradas de elementos tanto triangulares como rectangulares.

La ecuación anterior puede discretizarse en la forma:

$$\mathbf{U}_k^{n+1/2} = \mathbf{U}_k^n - \frac{\Delta t}{2V_k}\sum_{wk=1}^{wk=nk} \mathbf{F}_{wk}^{*n}\cdot\mathbf{n}_{wk}\Delta s_{wk} + \frac{\Delta t}{2}\left(\mathbf{S}_{bk}^{*n} + \mathbf{S}_{fk}^{n+1/2}\right)$$

$$\mathbf{U}_k^{n+1} = \mathbf{U}_k^n - \frac{\Delta t}{V_k}\sum_{wk=1}^{wk=nk} \mathbf{F}_{wk}^{*n+1/2}\cdot\mathbf{n}_{wk}\Delta s_{wk} + \Delta t\left(\mathbf{S}_{bk}^{*n+1/2} + \mathbf{S}_{fk}^{n+1}\right) \qquad (3)$$

Donde U_k es el valor medio de las variables conservativas sobre el volumen finito V_k (ya que en el plano bidimensional, V_k es el área de una superficie), que está limitada por la superficie S_k (en el plano bidimensional, una línea).

S_k se descompone en muros planos (segmentos de líneas en 2D) con áreas de superficie $\Delta_{swk.}$ El subíndice wk se refiere al muro del plano correspondiente en el que S_k se subdivide. El vector normal en sentido exterior de wk es nwk.

Los superíndices n, n+1/2 y n+1, se refieren a sucesivos pasos temporales, con Δt el incremento de tiempo entre los niveles n y n+1.

F* representa el tensor numérico y S_{b*} el vector numérico fuente, que corresponde sólo a la pendiente del lecho.

Las fuerzas de fricción S_f son directamente calculadas a partir de la expresión (4), que primero tiene que ser linealizada para evitar resolver un sistema no lineal; así:

$$S_{fk}^{n+1} \approx S_{fk}^n + \left[\frac{\partial S_f}{\partial U}\right]_k^n \left(U_k^{n+1} - U_k^n\right) \qquad (4)$$

El tensor numérico proyectado sobre el vector unitario normal al muro de la celda wk, puede expresarse como:

$$F_{wk}^{*n}\cdot n_{wk} = \frac{1}{2}\left[\left(F_R^n\cdot n\right)_{wk} + \left(F_L^n\cdot n\right)_{wk} - \left|\tilde{A}_{RL_{wk}}\right|\left(U_R^n - U_L^n\right)_{wk}\right]$$

con:

$$F\cdot n = En_x + Gn_y$$

Donde $n_{x,y}$ son los componentes x e y del vector unitario usual en las formulaciones de volúmenes finitos, y:

$$F_{R,L}^n = F\left(U_{R,L}^n\right)$$

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

$U^n_{R,L}$ es apropiado para aproximaciones al valor de U, respectivamente a la derecha (R) y a la izquierda (L) del punto medio del muro de la celda wk. Estas aproximaciones se calculan a partir de las medias de las celdas de las celdas adyacentes y las pendientes tienen que ser limitadas para asegurar que la solución no tenga un comportamiento oscilatorio. En la literatura (Sleigh P.A., Gaskell P.H., Berzins M., Wright N.G., " An unstructured finite-volume algorithm for predicting flow in rivers and estuaries", Computers & Fluids 1998), (Darwish M.S., Moukalled F., "TVD schemes for unstructured grids", In.j. Heat & Mass Transfer. 2003) se pueden encontrar diferentes esquemas que respeten esas condiciones para mallas sin estructura. Se ha considerado que el lado izquierdo, L, del muro de la celda wk, se encuentra dentro del volumen finito k, mientras que el derecho, R, es externo a éste. Esto equivale a recorrer los bordes del volumen finito en el sentido de las agujas del reloj para numerarlos.

$|ARLwk|$ es la matriz cuyos autovalores son los módulos de los que en la matriz Roe (aproximación Roe de la solución de Riemann) corresponden al flujo normal y las diferencias variables a lo largo del muro de la celda wk, habitualmente en esquema implícito:

$$\left(F_R^n \cdot n\right)_{wk} - \left(F_L^n \cdot n\right)_{wk} = \tilde{A}_{RL_{wk}} \cdot \left(U_R - U_L\right)_{wk}$$

Para poder obtener el balance correcto entre la variación del primer término y el segundo término de la ecuación anterior, la función de la pendiente del lecho queda en la forma de la expresión siguiente:

$$S_{bk}^{*n} = \sum_{wk=1}^{wk=nk} \left[\frac{1}{2} \left(I - \left| \tilde{A}_{RL_{wk}} \right| \cdot \tilde{A}_{RL_{wk}}^{-1} \right) \cdot \tilde{S}_{wk} + \tilde{S}_{Lk} \right]$$

Por otro lado, el término de evaluación, S_{wk} se calcula a partir de los valores medios de la aproximación de Roe, a fin de conseguir la compatibilidad entre ambos términos, según:

$$\tilde{S}_{wk} = -g \Delta s_{wk} \frac{h_R + h_L}{2} \left(z_{Bwk} - z_{B_k} \right) \begin{bmatrix} 0 \\ (n_{wk})_x \\ (n_{wk})_y \end{bmatrix}$$

Donde de nuevo, los subíndices L y R denotan la extrapolación de h a la izquierda (l) y a la derecha (R) del muro w_k, considerando que de acuerdo al criterio previamente indicado, L corresponde al interior de la celda k, y R al exterior. La expresión ($z_{Bwk} - z_{Bk}$) corresponde a la diferencia entre la elevación del muro externo de la celda (R) w_k, $z_{Bwk,}$ y la elevación a considerar de la celda z_{Bz}. Finalmente, $(n_{wk})_{xy}$ son los componentes x e y del vector unitario normal externo a la cara w_k. El último término de la ecuación es:

$$\tilde{S}_{Lk} = -g \Delta s_{wk} \frac{h_L + h_k}{2} \left(z_{Bwk} - z_{B_k} \right) \begin{bmatrix} 0 \\ (n_{wk})_x \\ (n_{wk})_y \end{bmatrix}$$

Donde h_k es el calado del agua en el centro de la celda k.

<u>Simulación de Lluvia Directa sobre Malla 2d (Incluyendo Infiltración y Evapotranspiración)</u>

InfoWorks ICM permite simular los diferentes eventos de lluvia directamente sobre la propia malla 2D. De este modo, integra completamente el modelo hidrológico en la malla hidráulica consiguiendo reproducir la propagación del agua por las cuencas y los cauces mediante la integración directa de las ecuaciones de Saint-Venant en cada elemento sin recurrir a las simplificaciones habituales de los modelos hidrológicos (tránsitos, etc..).

InfoWorks calcula la infiltración en cada elemento de la malla. Para ello, se definen las "zonas de infiltración" (infiltration surface) donde se indicará alguno de los siguientes métodos en el cálculo:

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

- Modelo de ratio de infiltración constante. Se define una relación de infiltración asociada al polígono. En el caso en que el agua en superficie sea mayor que la infiltración máxima definida, se supondrá el suelo saturado a la hora de calcular la infiltración

- Modelo de infiltración fija. En este caso, se asigna un valor de coeficiente de escorrentía a la zona de infiltración y la infiltración efectiva se obtendrá con la siguiente expresión:

$$I_E = (1 - coef.escorrentía) \times i$$

donde "i" es la intensidad de lluvia e "I_E " la escorrentía efectiva

- Método de Horton. ICM integra una variante del método de Horton para el cálculo de la infiltración en subcuencas permeables y semipermeables;

Cada uno de los métodos va asociado a la superficie de infiltración, lo que permite combinarlos dentro de un mismo modelo en áreas distintas a conveniencia.

7.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO BIDIMENSIONAL

En el presente apartado se establecen las condiciones particulares empleadas para el desarrollo y construcción del modelo 2D en Infoworks ICM para el tramo del río da Chanca (río Rato) objeto del presente estudio; se trata por tanto de particularizar el proceso de construcción y justificar la parametrización de modelo empleada que influye en los resultados obtenidos para cada simulación.

La construcción del modelo bidimensional está orientada tanto a la simulación de escenarios de alternativas de solución para el incremento de capacidad hidráulica de las ODT´s existentes como al análisis de los cauces y surgencias existentes en el interior del Sector S.5-I (para períodos de retorno de 100 y 500 años).

El modelo bidimensional está acoplado a los elementos unidimensionales de la red de drenaje que en este caso serán del tipo colectores (para la simulación de ODT´s existentes) y nodos (de entrada y salida de tramos encauzados bajo conducción).

El objetivo general del modelo 2D es el de disponer de una herramienta que reproduzca fielmente el flujo en superficie y permita detectar los problemas de inundación a efectos de establecer las distintas alternativas de solución según los criterios del organismo de cuenca (CHMS).

En los siguientes apartados se profundiza en la descripción del proceso de construcción del modelo 2D que será empleado para el análisis de inundaciones y flujo superficial.

7.2.1. MODELO DEL TERRENO

En el apartado 4 del presente documento se ha detallado ampliamente el proceso de construcción del MDT empleado para el desarrollo del modelo hidráulico.

Finalmente se obtiene un MDT de elevada precisión en formato ráster con tamaño de celdas de 0,50 x 0,50 m., suficientemente detallado para que el mallado del modelo hidráulico, con ayuda de líneas de rotura adicionales, se apoye correctamente en el MDT y represente fielmente las singularidades del terreno en el ámbito del estudio.

De forma localizada, y ante detalles relevantes que el MDT no es capaz de representar adecuadamente (por ejemplo en los muros existentes), desde el propio ICM se introducen modificaciones del MDT mediante la inclusión de elementos de tipo "zonas de malla", "muros porosos", etc., que serán detallados en apartados posteriores.

En los siguientes apartados se detalla la creación de los restantes elementos propios del modelo que conforman el modelo bidimensional del río da Chanca (río Rato) en los tramos objeto del presente estudio.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

7.2.2. ZONA 2D

La zona 2D es el espacio de trabajo donde se genera el modelo bidimensional en Infoworks ICM; para delimitar la zona 2D de estudio se ha partido de la delimitación de zonas inundables oficial (SNCZI) correspondiente a la máxima avenida para T=500 años. No obstante, se ha optado por disponer de un modelo mucho más amplio que permita llevar a cabo las simulaciones de comprobación necesarias respecto de la situación actual, incluyendo además un ámbito de estudio del cauce, en su concepción longitudinal, que supera en más de 3 veces el tramo de estudio concreto incluido en el SNCZI (el modelo empleado en la delimitación del SNCZI vigente está formado por una secuencia de tramos, en la zona de estudio, que tienen una longitud de cauce de unos 300 m.).

La decisión de incrementar el tramo de estudio se sustenta en la mejora de precisión en los resultados que esta concepción supone en función de los siguientes criterios:

- En el mismo modelo, además de analizar las necesidades de incremento de capacidad necesarias para la ODT existente bajo la vía ferroviaria, se implementan las condiciones de contorno aguas abajo que afectan a la capacidad de desagüe de la ODT de referencia.

- Se consigue un modelo que atenúa los errores de precisión que habitualmente se "arrastran" en la concatenación de modelos sucesivos conectados a través de grupos de caudales entrantes secuenciales.

- Se asegura que las condiciones de contorno aplicables al área de estudio, no se ven afectadas por limitaciones de estabilidad del modelo tanto aguas arriba como aguas abajo; esto significa que, al objeto de analizar con precisión las necesidades de actuación para el punto más limitante, es decir, para la ODT bajo la vía ferroviaria, se impone que este sea el "punto central" del área de estudio y, por lo tanto, no se vea afectado por variaciones en las condiciones de contorno (de entrada y salida) que, habitualmente, se incrementan en función de la proximidad de los puntos de entrada y salida a la zona de especial atención a efectos de modelización.

Posteriormente, se delimitan los puntos de entrada para los hidrogramas de diseño a emplear y se ajuste el limite exterior de la zona 2D a esos puntos de entrada de caudal (condiciones de contorno 2D).

Además, dentro de la zona 2D de diseño se contempla toda la llanura de inundación, incrementando la zona de simulación aguas arriba y aguas abajo de los tramos objeto de estudio a fin de acomodar el flujo de entrada a cada tramo y de aportar una condición hidráulica de salida realista que contemple el calado real a efectos de diseño en el tramo inmediatamente posterior (es necesario tener en cuenta la condición de contorno aguas abajo que supone la relajación del flujo de avenida inherente a la invasión de la llanura de inundación).

La condición de contorno empleada para la propia zona 2D es la de "Normal Depth" lo que implica que el agua que llega a los límites de la zona 2D se pierde del modelo sin ninguna condición de contorno adicional.

En cuanto a las condiciones de contorno de la zona 2D, además de las líneas de entrada de caudal ya indicadas, se incluye una línea de contorno en la salida en la que se simula una condición de contorno del mismo tipo "Normal Depth" (la distancia entre la ODT bajo la vía ferroviaria y la condición de contorno de salida, del orden de 700 m., hacen que esta suposición sea irrelevante de cara a la precisión de los resultados obtenidos).

En el contorno de aguas-arriba se impone el caudal total correspondiente a los escenarios de diseño correspondientes a T100 y T500, según se ha justificado en el apartado 5 del presente estudio. Dicho caudal se distribuye en toda la sección de entrada de manera proporcional a la profundidad en cada punto del contorno, imponiendo un mayor caudal unitario en las zonas más profundas. Se impone además la condición de velocidad de entrada perpendicular al contorno de entrada.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

Se ha optado por realizar una simulación en régimen estacionario para un caudal igual al caudal punta de avenida correspondiente a cada período de retorno considerado (T100 y T500). Se podría realizar una simulación en régimen no-estacionario introduciendo el hidrograma de avenida como condición de contorno aguas-arriba. Sin embargo, se ha optado por la simulación estacionaria principalmente por tres razones:

- Los resultados en régimen estacionario son más conservadores ya que, una vez finalizan las rampas ascendentes de incremento de caudales de entrada hasta el caudal punta de diseño (manteniendo la convergencia y estabilidad del modelo hidráulico), el caudal punta se mantiene de forma continua en el tiempo durante un período suficiente para asegurar la completa inundación correspondiente a dicho caudal punta mientras que, en el caso no estacionario, el caudal punta se produce únicamente durante un breve espacio de tiempo, por lo que los calados máximos durante la avenida serán menores.

- Aunque el modelo hidrológico puede proporcionar un hidrograma de avenida además de caudal punta, la incertidumbre inherente a los modelos hidrológicos hace que la forma del hidrograma sea poco fiable, con lo cual utilizar dicho hidrograma puede dejar los resultados del cálculo del lado de la inseguridad.

- Debido a la celeridad con que se propaga la avenida en el tramo estudiado (en menos de 30 minutos la onda de avenida recorre todo el tramo modelizado), los resultados obtenidos en régimen permanente y transitorio son similares.

Zona de simulación río da Chanca (río Rato)

Fijado el ámbito y las condiciones de contorno de la zona 2D, se procede a la parametrización general de la zona; para el total de la zona 2D se fijan los parámetros de aplicación que se emplearán en todas aquellas zonas internas que no tengan definidas otras características concretas.

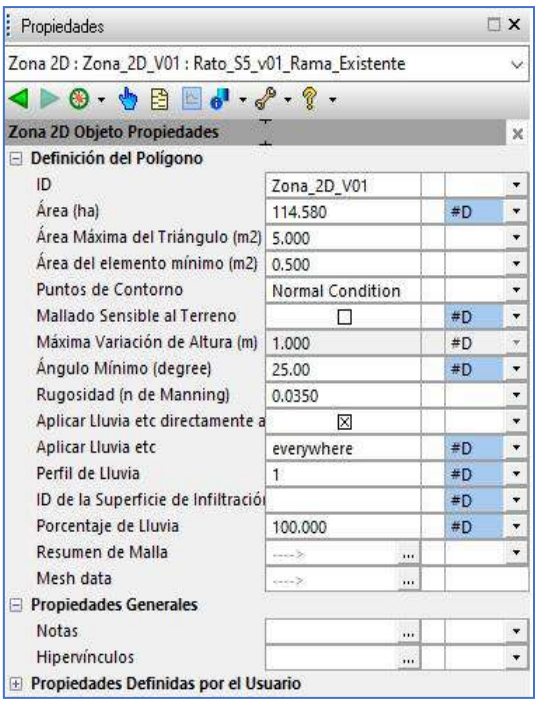
Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

La zona 2D empleada para la modelización del río da Chanca (río Rato) en la zona de estudio tiene un total de 114,58 Ha de superficie con una condición de contorno general de "Normal Condition".

El tamaño de malla empleado para la zona 2D se fija para un área máxima de triángulo de 5 m^2 y mínima de 0,5 m^2; estos tamaños de malla con tanta precisión son poco habituales puesto que generan una gran peso computacional. No obstante, en este caso se observa que el equipo empleado genera el mallado en tiempos razonables y que el proceso de cálculo no se extiende en exceso con lo que se fija este tamaño de malla a fin de disponer de una alta precisión en el mallado tanto en los cauces como de la llanura de inundación.

Siguiendo el mismo razonamiento anterior, se establece un coeficiente de rugosidad para la zona 2D de 0,035, coeficiente que se corresponde fundamentalmente que se corresponde fundamentalmente con los cauces y cultivos de ribera y que será modificado en áreas determinadas del interior de la zona 2D mediante la inclusión de polígonos de rugosidad (áreas dónde se aplica una rugosidad distinta a la general para la zona 2D y que se centrarán en los cauces, zonas arboladas y llanuras de inundación).



La opción de mallado sensible al terreno se ha desechado para esta modelización; esta opción permite establecer un límite máximo para la variación de altura entre elementos contiguos del mallado, generando elementos adicionales superiores al tamaño mínimo fijado y que respeten la variación de altura máxima fijada. En este caso, cómo se ha optado por una alta precisión de mallado tanto en la zona 2D como en las zonas de malla interiores, esta opción carece de aplicación, generando además un tipo de mallado con ciertos problemas de convergencia para el modelo.

7.2.3. ZONAS DE MALLA

Tal y como se ha indicado anteriormente, se establece una precisión de mallado para la zona 2D de 5/0,5 m^2; esta precisión se introduce a efectos de ser considerada en aquellas zonas de especial sensibilidad para los resultados del modelo.

Estas zonas están vinculadas especialmente al entorno de los cauces y a las zonas de la llanura de inundación donde se ha generado un mallado de transición de mayor precisión para concretar los resultados con mayor detalle; con un MDT con pocas pendientes en la zona de llanura inundación, se pretende una alta sensibilidad del mallado al terreno a fin de considerar, en la medida de lo posible, los accidentes de terreno que condicionan el flujo en superficie (mallado de alta resolución combinado con la inclusión de líneas de rotura y muros porosos para generar los flujos bidimensionales de la forma más realista posible).

De este modo se hace necesaria la inclusión de zonas de malla en el interior de la zona 2D que racionalicen la precisión final del mallado y por tanto el peso computacional de cada simulación.

Se introducen 29 zonas de malla adicionales que se vinculan a las siguientes áreas del modelo:

- **Cauce del río da Chanca (río Rato) y cauces interiores del Sector:** se establecen 26 zonas de malla en el ámbito de los cauces que se ciñen al trazado de estos hasta su línea de ribera (incrementando sustancilamente el ancho de mallado de precisión en el entorno de los cauces y surgencias existentes en el interior del Sector S.5-I). Se establece un tamaño máximo de 1 m^2 y un mínimo de 0,25 m^2.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

- **Embocaduras de la red 1D:** se trata de zonas de malla necesarias para ejecutar conexiones entre el modelo bidimensional y unidimensional. Estas zonas de malla se emplean para las transiciones del modelo 2D a conductos 1D en las obras de entrada y salida del las distintas ODT´s incluidas en el modelo. En este tipo de mallados es muy importante la agregación de triángulos a fin de evitar problemas acumulación de agua en los pasos y de convergencia del modelo; la solución habitual para este tipo de agregaciones es crear un mallado con tamaño máximo del orden de la superficie total de la zona de malla y un mínimo un grado inferior, lo que genera un mallado agregado para toda la zona de transición. Además, este tipo de zonas de malla, por su vinculación entre elementos 2D y 1D, deben estar asociadas a un nivel fijo de conexión entre ambos elementos; para ello se establece la condición de "Level" en las zonas de malla con la que se fija un nivel concreto de elevación que coincide con la cota de elemento de conexión 1D (cota de terreno para el nodo de transición Outfall 2D empleado en cada caso). Siguiendo este razonamiento se establecen 6 zonas de malla de este tipo para las conexiones entre elementos 2D y 1D asociadas a los pasos de agua bajo la vía férrea y viales en el ámbito de estudio, variando los tamaños de malla entre un máximo de 90 m^2 y un mínimo de 19 m^2.

Zonas de malla río da Chanca (río Rato)

Una vez definida la zona 2D y las zonas de malla internas, se continúa con la delimitación de elementos lineales que formarán parte del mallado definitivo y que se detallan en el siguiente apartado.

7.2.4. LÍNEAS DE ROTURA Y MUROS POROSOS

Las líneas de rotura son elementos lineales fundamentales para obtener una mallado realista del terreno en Infoworks ICM; las líneas de rotura se emplean para forzar que los triángulos de la malla se apoyen en ellas, creando de esta forma barreras en el mallado que se emplean para seguir especialmente las

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

riberas de lo cauces y elementos superficiales que producen modificaciones en las elevaciones del terreno y que condicionan el flujo del agua en superficie.

La línea de rotura toma las cotas del MDT que tiene debajo y hace que los triángulos de ambos lados de la línea se apoyen sobre ella, constituyendo un límite topográfico para la generación del mallado; en este caso, las líneas de rotura se han empleado especialmente en los cauces incluidos en la zona de estudio, introduciendo líneas adiconales asociadas a los viales, aceras, cunetas, vía ferroviaria, etc., y en general, a aquellos elementos del MDT que puedan constituir singularidades de importancia.

Vista de mallado en zona combinada ODT vía ferroviaria

En cualquier caso, las líneas de rotura por si solas no son capaces de forzar el mallado de una manera totalmente realista (esto únicamente ocuriría en modelos con una cartografía de muy alta precisión y localizados por ejemplo en el entorno de una única calle) que reproduzca fielmente los flujos superficiales reales.

Para las correcciones de flujo en superficie más concretas se emplean los elementos lineales denominados como "muros porosos"; estos elementos funcionan para el mallado como una línea de rotura pero además, permiten la introducción de condiciones propias que modifican el flujo en superficie.

Al elemento lineal de muro poroso se le puede asignar una elevación determinada (que se incrementa sobre la base del MDT) y una porosidad determinada (cuyo valor cero se asigna a una pared impermeable); estos elementos son de gran utilidad para introducir barrenas físicas al flujo superficial que de otra manera, con el único empleo del MDT y líneas de rotura, serían prácticamente imposibles de reproducir.

En el caso de estudio, los muros porosos se emplean fundamentalmente para delimitar el vial Sur del Plan Parcial del Sector S.5-I a efectos de determinar la rasante de urbanización necesaria que, para cada una de las alternativas estudiadas, cumpla con los criterios de diseño empleados para la deliimitacón de las áreas de inundación.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P.D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

Con la introducción de la zona 2D, las zonas de malla y los elementos lineales indicados, finaliza el proceso de creación del mallado en Infoworks ICM; indicar que se trata de un proceso iterativo de mejora del modelo, introduciendo todas aquellas condiciones y restricciones al flujo superficial que son conocidas en el entorno de estudio y que, fundamentalmente por cuestiones de resolución de la cartografía base, no se reproducían fielmente por el modelo.

El proceso de correcciones y ajustes del mallado se ha basado en simulaciones de caudales constantes para observar el flujo superficial resultante, introduciendo todos aquellos elementos lineales y/o superficiales de mallado necesarios para la obtención de unos resultados acordes a la realidad observada.

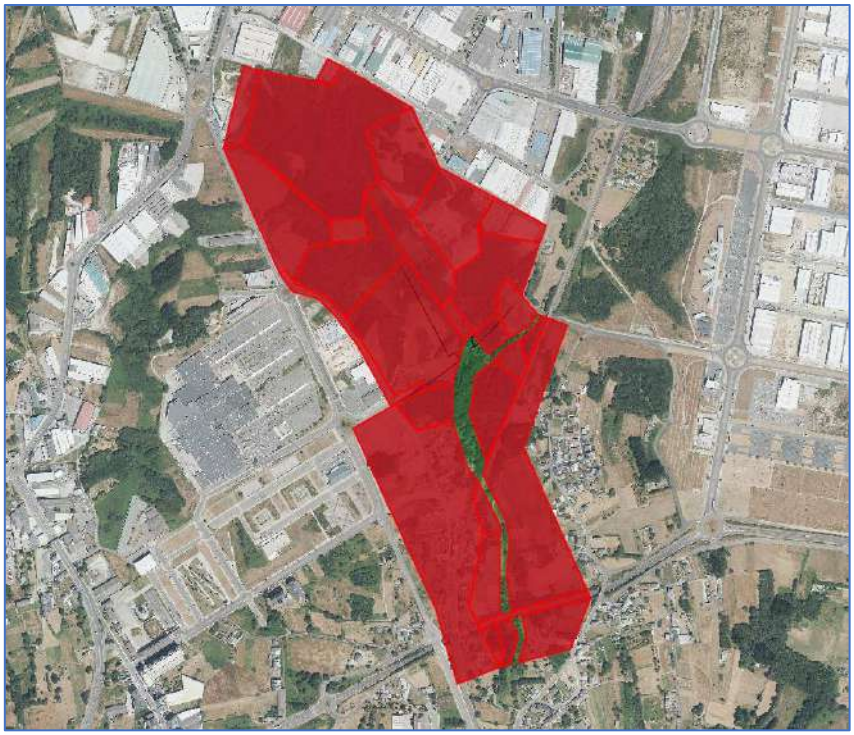
Como conclusión final del proceso de mallado se estima haber elaborado una mallado con mucho detalle, con valores adecuados de áreas de triángulos y agregaciones y en el que se reflejan fielmente los distintos elementos superficiales: cauces, riberas, viales, zonas verdes, etc.

En los siguientes apartados se prosigue con el proceso de creación de aquellos elementos del modelo que no interfieren directamente en el mallado (se excluyen sus contornos del mallado 2D) y que se centran en las características superficiales que condicionan las variables hidrodinámicas del flujo en superficie.

7.2.5. ZONAS DE RUGOSIDAD

Como se ha indicado en apartados anteriores, para la zona 2D se fija un coeficiente de rugosidad (n de Manning) de 0,035 para la totalidad de la zona 2D; este coeficiente se corresponde con el habitualmente empleado en superficies asociadas tanto a los cauces como a las zonas de pasto de la llanura aluvial.

Teniendo en cuenta lo anterior, se hace necesaria la introducción de zonas de rugosidad diferenciadas para todas aquellas áreas interiores de la zona 2D que presenten singularidades en cuanto al flujo superficial.



Zonas de rugosidad río da Chanca (río Rato)

Se han creado 28 zonas de rugosidad adicionales que se vinculan fundamentalmente a las zonas arboladas, zonas peri-urbanas presentes en la zona de estudio; se presentan tanto la distribución

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

espacial de las zonas de rugosidad empleadas en el área de estudio como los valores empleados para las distintos coeficientes de rugosidad aplicados a cada uno de los distintos terrenos.

USO DEL SUELO	Nº MANNING
Arbolado	0.09
Arbolado disperso	0.065
Asociado a urbano	0.065
Barras desnudas	0.045
Barras vegetadas	0.07-0.15
Conductos	0.016-0.02
Canal	0.025
Cauce	0.035
Cultivos	0.037
Ferrocarril	0.04
Infraestructura social	0.035
Matorral	0.065
Matorral disperso	0.06
Pastos	0.035
Ribera	0.13
Suelo desnudo	0.03
Urbano	0.025
Viales	0.018

Coeficientes de Manning empleados en el modelo

7.2.6. CONDICIONES DE CONTORNO

Como resumen de las condiciondes de contorno empleadas para el modelo 2D se pueden indicar las que se relacionan a continuación:

Condiciones de contorno de la zona de simulación 2D

Como condición de contorno de todo el borde de la zona de simulación 2D, a excepción de las entradas y salidas planteadas en el modelo, se ha impuesto la condición de "Normal Depth", condición que hace que el agua que alcanza los bordes de la zona 2D se pierda del modelo sin mayores implicaciones. En todo caso, la zona 2D se ha establecido lo suficientemente amplia como para que todo el agua de entrada de los hidrogramas fluya en el interior de la zona de estudio.

Condiciones de contorno de entrada

Como condiciones de entrada se han introducido los hidrogramas en el cauce modelizado según la justificación detallada en el apartado 5 del presente informe , es decir, las curvas Q(t).

Este tipo se corresponde con la condición de contorno en InfoWorks: "Inflow".

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

Condiciones de contorno de salida

Se incluye una línea de contorno en la salida que, aplicada sobre el límite exterior de la zona 2D, permite variar las condiciones generales del total de la zona de modo local.

La condición de salida introducida en el modelo ha sido la de calado normal ("Normal depth" en InfoWorks). En esta condición se asume que la pendiente equilibra las fuerzas de rozamiento. El calado y la velocidad se mantienen constantes cuando el caudal llega al borde, por lo que fluye fuera sin pérdidas; la línea de salida se ha situado aguas debajo del paso bajo la Ronda Norte, con un ancho total de salida de 19 metros como sección transversal del cauce del río da Chanca (río Rato) y su llanura de inundación adyacente.

7.2.7. CONCLUSIONES CONSTRUCCIÓN MODELO 2D

Como se verá en el apartado de ejecuciones del modelo, con este proceso de construcción se ha conseguido un modelo bidimensional que reproduce el flujo en superficie observado en la realidad; esto significa que el modelo es capaz de reproducir los flujos superficiales bidimensionales de tal forma que se puede tomar como base para su acoplamiento con el modelo 1D subyacente.

Para concluir la construcción del modelo 2D falta en este apartado la implementación y acoplamiento del modelo 1D subyacente; en el siguiente apartado se profundiza en la parametrización del modelo 1D acoplado al modelo bidimensional y que básicamente se empleará para la modelización de las distintas ODT´s existentes en el ámbito de estudio (con especial atención al punto crítico que se sitúa en la ODT bajo la vía ferroviaria).

En los siguientes apartados se especificarán las caracteríticas concretas de cada elemento 1D para su implentación en cada uno de los dos modelos a emplear.

7.3. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO UNIDIMENSIONAL

En apartados anteriores se ha desarrollado el método de construcción del modelo bidimensional para el río da Chanca (río Rato) en la zona de estudio, indicando las singularidades de la relación de este con los elementos 1D que se acoplan en el Infoworks ICM.

En el presente apartado se detallarán las características de los elementos 1D que se emplean para completar el modelo en sus dos versiones de flujo (1D y 2D).

7.3.1. GEOMETRÍA DE LA RED

Los elementos del modelo que se corresponden con la geometría empleada en las simulaciones y los parámetros fundamentales que definen sus características físicas y de funcionamiento, son los que se detallan a continuación.

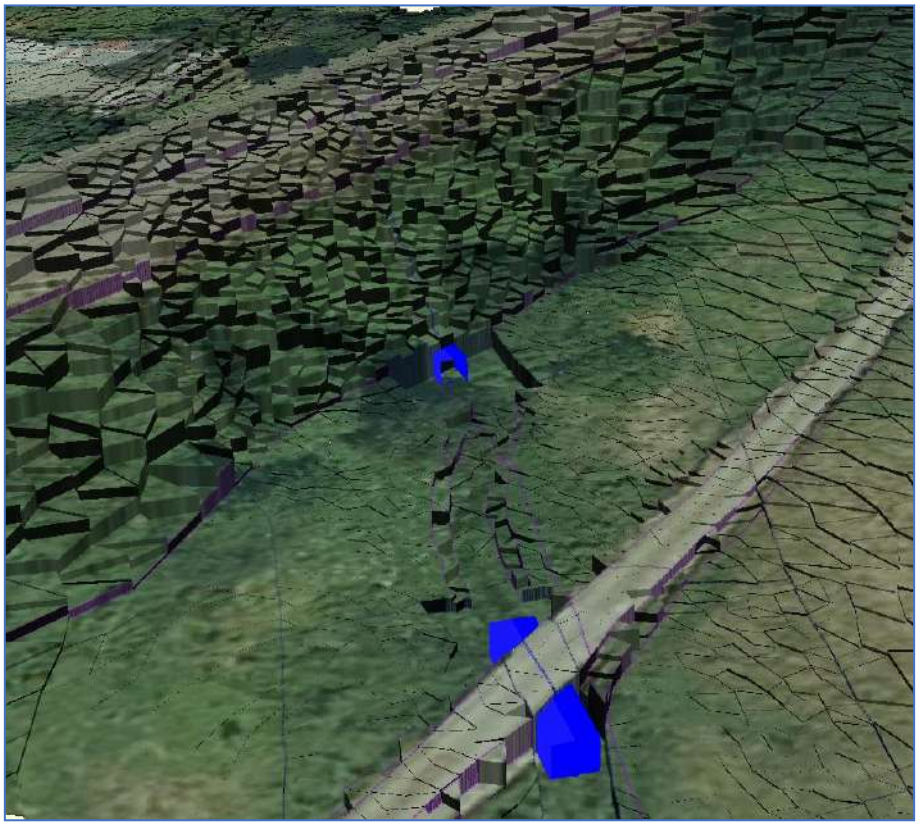
PUNTO DE VERTIDO

En el modelo 2D, para todas las transiciones entre el modelo bidimensional y unidimensional (red subyacente) **se emplean elementos de tipo "Outfall 2D"** para conexiones de entradas y salidas de canalizaciones asociadas a las ODT´s y pasos existentes; este tipo de elementos van asociados a sus correspondientes zonas de malla (véase apartado 7.2.3) para asegurar que esta no impone limitación de volumen en el nodo 1D. Las cotas de las zonas de malla asociadas son las mismas que las del nodo "outfall 2D" (situando este levemente por encima) y se han impuesto tamaños de malla que hacen que en estas transiciones los triángulos se agreguen en su totalidad, asegurando que el modelo converge y no genera restricciones de paso al agua para cada "timestep" de cálculo.

En la siguiente imagen se presenta un ejemplo de este tipo de transiciones 2D/1D que facilitan la comprensión del elemento empleado.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023



Zonas de malla y elementos outfall 2D conectados a red 1D (paso bajo vía ferroviaria y paso aguas abajo)

Los parámetros de definición fundamentales para este tipo de elementos son los que se relacionan a continuación:

Tipo de nodo: outfall 2D

Tipo de red: pluviales (storm)

Coordenada X: coordenada UTM del centro

Coordenada Y: coordenada UTM del centro

Nivel del terreno: coordenada Z UTM del terreno sobre el punto de vertido. En el caso 2D se corresponde con la cota de la zona de malla a la que se asigna.

CONDUCTOS

Se trata de elementos lineales, entre nodos, que simulan las conducciones del sistema. Sus parámetros de definición fundamentales son los que se relacionan a continuación:

Tipo de enlace: conduit

ID nodo aguas arriba: nombre del nodo aguas arriba

Sufijo de la conexión: índice que permite diferenciar a los conductos paralelos, que parten y llegan al mismo pozo.

ID nodo aguas abajo: nombre del nodo aguas abajo

Tipo de red: pluviales (storm)

Longitud (m): longitud de la tubería. Es un valor que calcula el programa de forma automática.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

ID de la forma: sección de la tubería

Altura (mm): altura de la sección del conducto

Anchura (mm): altura de la sección del conducto

Tipo de rugosidad: determina la ecuación de cálculo de la velocidad en las tuberías. Se ha elegido Manning (opción N del programa) para las tuberías en lámina libre (no se aplica Colebrook-White para las tuberías en presión en impulsiones puesto que no han sido empleadas en la modelización).

Rugosidad del fondo: valor del coeficiente de rugosidad escogido, que dependiendo del tipo de régimen (lámina libre o presión) será el coeficiente de Manning o la rugosidad absoluta de la conducción (K). Se aplica a los 2/3 inferiores de la sección. Los valores aplicados son los que se tabulan a continuación.

Material	Coeficiente Manning	K, rugosidad absoluta (mm)
PVC, PRFV	0,014	0,02
Fibrocemento	0,014	-
Fundición	0,017	1
Hormigón	0,018	-

Rugosidades colectores para el modelo

Rugosidad de la clave: valor del coeficiente de rugosidad escogido para el tercio superior de la sección. Se ha asignado el mismo valor que la rugosidad del fondo.

Solución del modelo: ecuaciones empleadas para el cálculo numérico del modelo. Para los conductos en lámina libre se elige la opción "Full", que emplea las ecuaciones completas de Saint Venant, y permite simular el funcionamiento tanto en gravedad como en presión, mediante la "ranura de Preissman".

Cota del fondo aguas arriba: cota de la rasante del conducto en el pozo aguas arriba.

Cota del fondo aguas abajo: cota de la rasante del conducto en el pozo aguas abajo.

Material de la tubería: se define el material procedente del levantamiento de la red si bien el parámetro importante es la rugosidad (el campo de material no aporta variables de cálculo concretas).

Pérdida de carga (aguas arriba y aguas abajo): para los colectores y galerías con un DN > 10000, se han eliminado estas pérdidas localizadas en las conducciones puesto que, en estos casos, los conductos son pasantes a través de los pozos y no se generan pérdidas de carga que se deban computar.

Pendiente (m/m): pendiente del conducto. Es un valor que calcula el programa de forma automática.

A partir de este punto, y una vez implementados los elementos 1D necesarios en el modelo bidimensional, se dispone de la red necesaria para iniciar el proceso de análisis de la situación actual y del establecimiento de soluciones a desarrollar en el presente estudio.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

8. SIMULACIONES DE DISEÑO

A lo largo del presente apartado se procederá a la simulación de los distintos escenarios de diseño incluyendo las variaciones en la capacidad de desagüe para la ODT existente bajo la vía ferroviaria, elemento fundamental que condiciona los resultados de áreas inundables en el ámbito de Sector S.5-I, tratando en primer lugar de obtener una validación/calibración inicial que justifique la validez, en cuanto a su respuesta, del modelo desarrollado en este estudio respecto del modelo referencia del SNZCI para, posteriormente, introducir las alternativas de solución analizadas a efectos de comparar las áreas de inundación resultantes respecto del modelo referencia.

De este modo, la secuencia general de simulaciones de diseño será la que se relaciona a continuación:

- Simulaciones de situación actual (calibración del modelo respecto del SNCZI con el método de caudales entrantes).
- Simulación de situación actual (asociada al interior del Sector S.5-I con el método de lluvia de directa sobre malla).
- Ajuste y validación de los modelos hidráulicos con la información disponible.
- Simulaciones de variantes de diseño asociadas al cauce principal (método de caudales entrantes) para período de retorno T=500 años.
- Integración de simulaciones (variantes del cauce principal e interior del Sector S.5-I)

8.1. T500 SITUACIÓN ACTUAL. CAUCE PRINCIPAL

Como ya se ha indicado en apartados anteriores, se resumen a continuación las condiciones de contorno y especificaciones empleadas para la simulación de validación/calibración de la SITUACIÓN ACTUAL correspondiente al período de retorno T=500 años (se aborda la validación del escenario más restrictivo):

- Los hidrogramas simulados se corresponden con los descritos para T500 en el apartado 5 del presente estudio.
- Se ha optado por realizar una simulación en régimen estacionario para un caudal igual al caudal punta de avenida correspondiente al período de retorno considerado.
- Los resultados en régimen estacionario son más conservadores ya que, una vez finalizan las rampas ascendentes de incremento de caudales de entrada hasta el caudal punta de diseño (manteniendo la convergencia y estabilidad del modelo hidráulico), el caudal punta se mantiene de forma continua en el tiempo durante un período suficiente para asegurar la completa inundación correspondiente a dicho caudal punta mientras que, en el caso no estacionario el caudal punta se produce únicamente durante un breve espacio de tiempo, por lo que los calados máximos durante la avenida serán menores.
- El modelo bidimensional se apoya en el MDT compuesto y desarrollado para el presente estudio según lo detallado en el apartado 4 del mismo.
- En cuanto a la consideración de estructuras de paso (ODT´s) que interfieran con el cauce estudiado, se está en lo dispuesto en el apartado 4.4 del presente estudio, implementando en esta simulación las secciones existentes en la actualidad.
- T500 río da Chanca (río Rato): 35,3 m^3/s
- Duración de simulación: 8 a 50 horas (durante el proceso de calibración, se observa la necesidad de extender en el tiempo el caudal punta de diseño para alcanzar los resultados de referencia según el modelo del SNZCI)

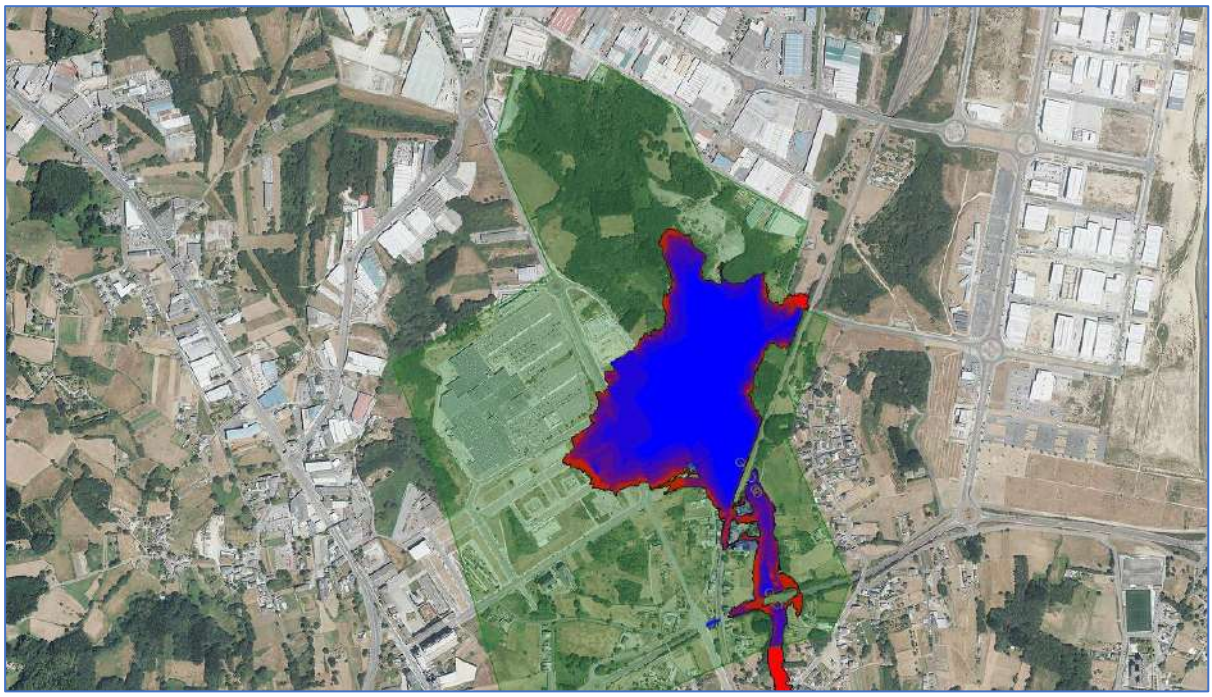
Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

- Duración de rampa ascendente de caudales de entrada: 3 horas
- Duración de hidrograma a caudal punta: 5 a 47 horas
- Time step de simulación: 1 segundo
- Multiplicador de resultados: 300 segundos

Se presentan a continuación el análisis de los resultados obtenidos para esta simulación según el formato de mapa de calados máximos obtenidos durante el total de la misma.

Además, y como referencia inicial de comparación, se presenta la superposición de los resultados obtenidos para cada simulación respecto de la zonificación de referencia del SNZCI para los mismos escenarios de diseño.



Superposición T500 SNZCI vs ESTUDIO AVENTO

En la imagen anterior se representa la superposición de las áreas de inundación resultantes para la SITUACIÓN ACTUAL correspondientes a la zonificación del SNCZI (color rojo) y la resultante obtenida del modelo desarrollado en el presente estudio (color azul).

Durante el proceso de validación/calibración, se ha observado la influencia del periodo de simulación a caudal punta sobre los resultados obtenidos; básicamente, se han ejecutado simulaciones a caudal punta con períodos crecientes (desde 8 a 50 horas) en las que se han podido observar los siguientes efectos:

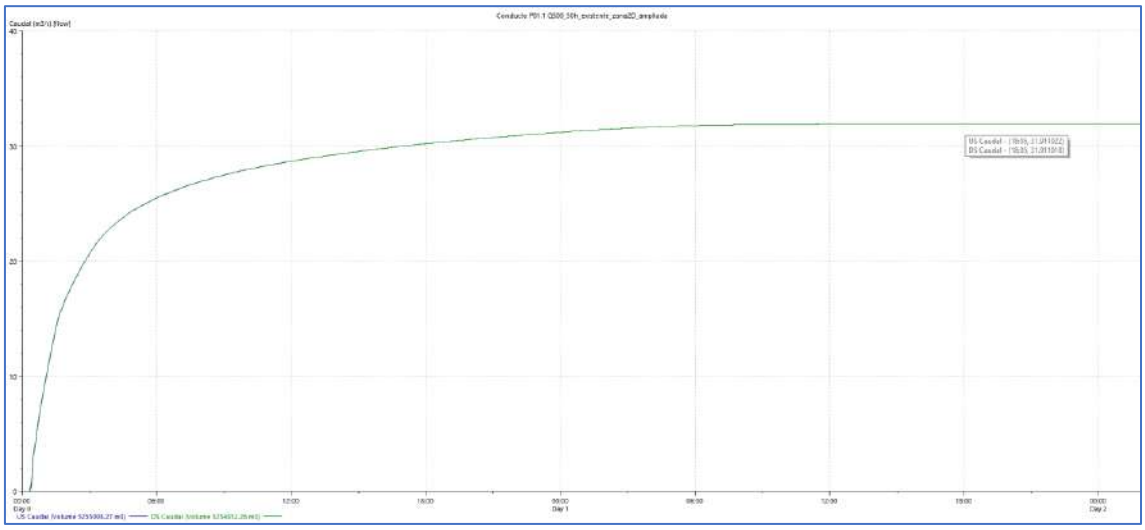
- El efecto limitante de capacidad que suponen las dimensiones de la ODT existente bajo la vía ferroviaria.
- El incremento de capacidad de evacuación de la ODT existente a medida que se incrementa del nivel de inundación aguas arriba de la citada ODT existente.

Además, como conclusión de interés, se observa que la ODT existente bajo la vía ferroviaria, incrementa su capacidad a medida que se incrementa el calado de inundación aguas arriba, equilibrándose en el momento que el flujo rebasa la vía ferroviaria (con un caudal máximo de evacuación para la ODT

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P.D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

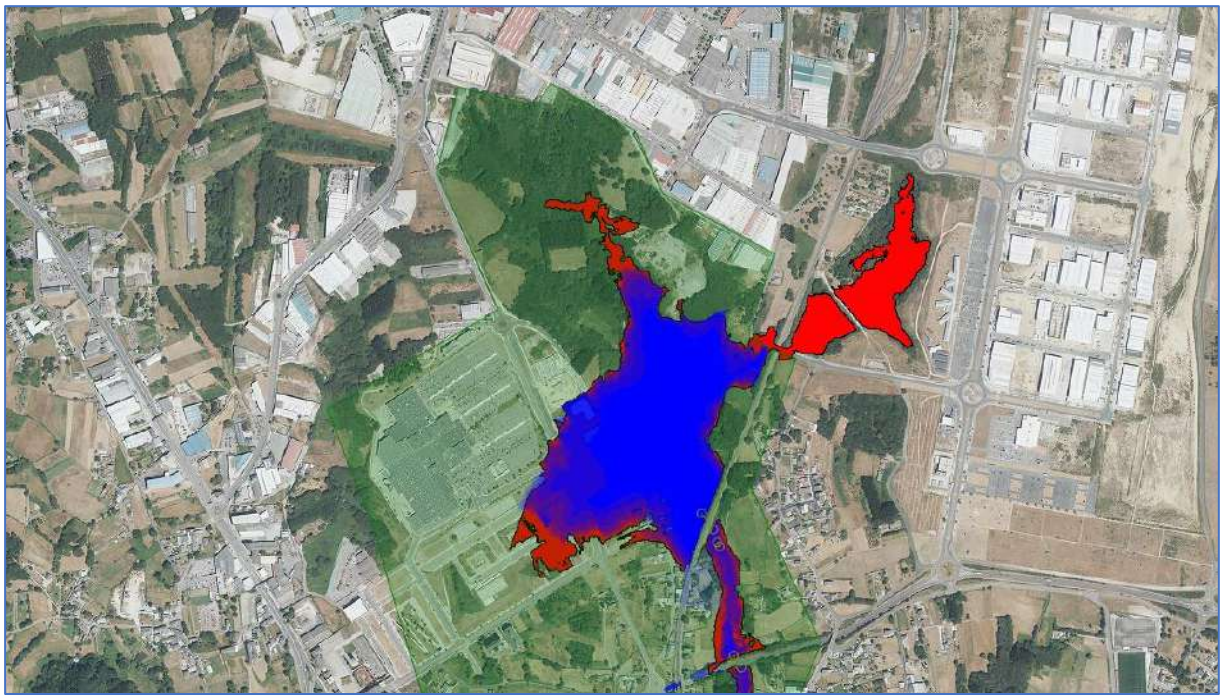
Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

existente, para esta situación de rebase de la vía ferroviaria, de 31,9 m^3/s que, en todo caso, resulta inferior al caudal punta entrante)



Hidrograma ODT existente T500 ESTUDIO AVENTO

Por otra parte, y teniendo en cuenta que en el informe de inviabilidad emitido por la CHMS se menciona explícitamente, se estima pertinente el presentar la superposición de las áreas de inundación resultantes para la SITUACIÓN ACTUAL correspondientes al estudio de inundación desarrollado en el PXOM del Concello de Lugo (color rojo) y la resultante obtenida del modelo desarrollado en el presente estudio (color azul).



Superposición T500 ESTUDIO PXOM vs ESTUDIO AVENTO

Como se puede observar, en cualquiera de los supuestos de comparación empleados (SNCZI y PXOM de Lugo), el modelo desarrollado en el presente estudio reproduce con precisión los resultados para la máxima inundación con especial exactitud en el área de afección al Sector S.5-I.

Indicar, como conclusión de máximo interés, que el modelo desarrollado en el presente estudio viene a confirmar el carácter limitante que representa la ODT existente bajo la vía ferroviaria y que, en última instancia y con motivo de su manifiesto defecto de capacidad de evacuación para el escenario más

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

restrictivo (T=500 años), condiciona el total de la zonificación de áreas de inundación actualmente vigente según el SNCZI puesto que, como se ha podido comprobar, obliga a que la lámina máxima de inundación se iguale con la cota superior de la vía ferroviaria, circunstancia esta que carece de sentido a efectos de condicionar el desarrollo del Sector S.5-I en función de esta manifiesta anomalía.

En resumen, se puede concluir que el nuevo MODELO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO, desarrollado por Avento Consultores, reproduce fielmente las condiciones de inundación actualmente vigentes según el SNZCI de la CHMS para el escenario más restrictivo (T=500 años) reproduciendo además, con idéntica fiabilidad, los resultados obtenidos en el estudio de inundabilidad desarrollado por el Concello de Lugo en el marco del PXOM.

8.2. T500 SITUACIÓN ACTUAL. INTERIOR SECTOR S.5-I

Tal y como se ha indicado anteriormente, en el presente estudio se opta por analizar el régimen hidráulico del interior del Sector S.5-I mediante un modelo de lluvia directa sobre malla tanto para la situación actual como para la situación proyectada; con este método, se podrán observar los flujos principales de escorrentía actuales de modo que, tal y como requiere la CHMS, se asegure el respeto e integración de los cauces y surgencias existentes en la zonificación diseñada para el Plan Parcial.

En primer lugar, como punto de partida de comparación y tal y como se concreta en las siguientes imágenes, se procede al análisis del escenario de diseño empleado en el estudio de inundabilidad del PXOM del Concello de Lugo para los cauces interiores del Sector S.5-I. Se presentan a continuación los caudales de diseño, calculados mediante el método racional, utilizados para la zonificación de inundabilidad resultante del PXOM (se analizan los caudales de diseño para los sectores 1a y 1 del río Rato (denominación estudio del PXOM del Concello de Lugo).

Caudales de diseño PXOM (zona alta interior Sector S.5-I Método Racional)

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

Caudales de diseño PXOM (zona baja interior Sector S.5-I Método Racional)

Las singularidades del modelo empleado en el estudio de inundabilidad empleado como base en el desarrollo del PXOM del Concello de Lugo son las que se relacionan a continuación:

- Se emplea el MÉTODO RACIONAL para determinar los caudales punta en cada punto de cierre.

- Sector 1-a (cabecera Oeste del S.5-I): se computa una cuenca hidrográfica que excede ampliamente la delimitación del Sector S.5-I, considerando para el cálculo de superficie de escorrentía (y por tanto de caudal mediante el método racional) una gran extensión del polígono de O Ceao que, en la realidad, no drena de forma natural hacia el punto de cálculo considerado (las zonas exteriores al Norte del Sector S.5-I se encuentran actualmente urbanizadas, disponiendo de redes de pluviales que canalizan la escorrentía superficial hacia un punto de desagüe que difiere del previsto en el estudio).

- Sector 1 (total punto de cierre S.5-I): se trata de una extensión del sector anterior que, fundamentalmente, contempla la superficie restante del Sector S.5-I no incluida en el Sector 1-a.

- El método de cálculo empleado para la zonificación de inundabilidad, aplica el hidrograma de entrada al modelo con los caudales punta generados según el método anterior.

- En la salida de resultados incluida en el PXOM, se delimita un área de inundación SIMPLIFICADA que no se corresponde con el MDT vigente.

- En cualquiera de los casos, y aun teniendo en cuenta lo restrictivo del método de cálculo empleado en el desarrollo del PXOM de Lugo, los resultados obtenidos NO INVADEN las nuevas zonas verdes previstas en la zonificación del Sector S.5-I.

Una vez concretadas las singularidades del modelo empleado en el estudio del PXOM de Lugo, se resumen a continuación las condiciones de contorno y especificaciones empleadas para la simulación de la SITUACIÓN ACTUAL correspondiente al período de retorno T=500 años para el interior del Sector S.5-I mediante el método de lluvia directa sobre malla empleado en el presente estudio:

- El modelo bidimensional se apoya en el MDT compuesto y desarrollado para el presente estudio según lo detallado en el apartado 4 del mismo.

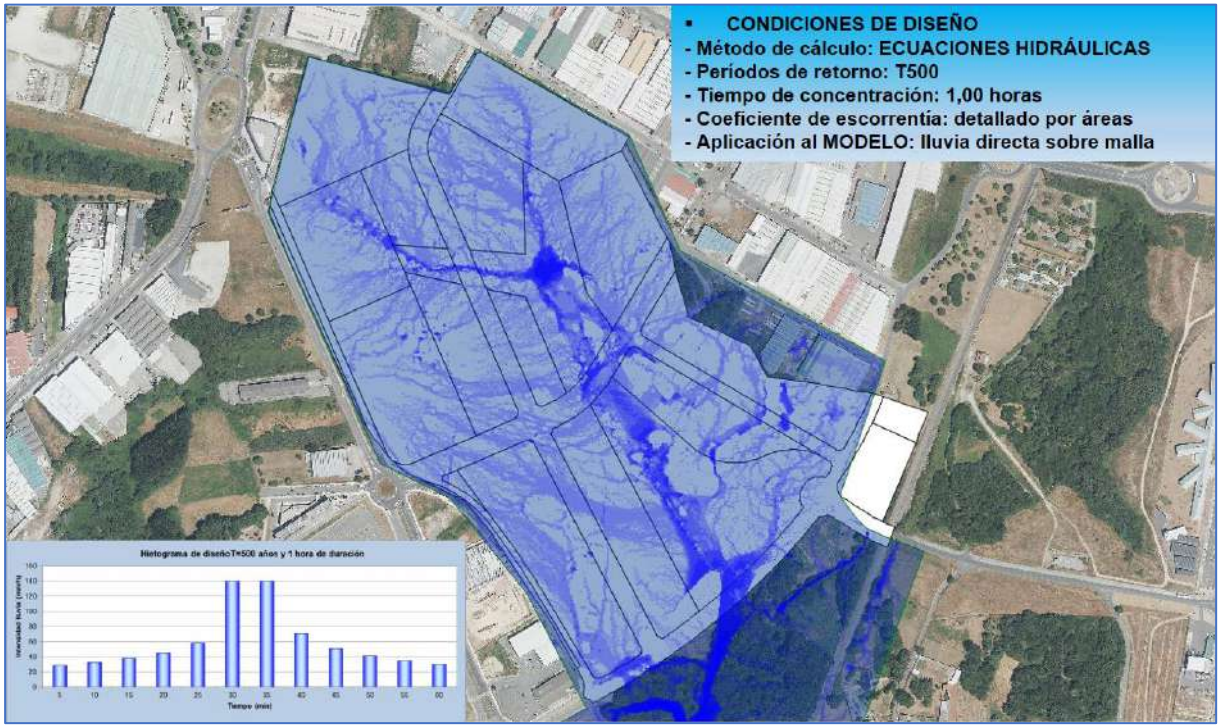
- En cuanto a la consideración de estructuras de paso (ODT´s) que interfieran con el cauce estudiado, se está en lo dispuesto en el apartado 4.4 del presente estudio, implementando en esta simulación las secciones existentes en la actualidad.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

- Lluvia de diseño: se está en lo dispuesto en el apartado 4.4 del presente estudio (T500 y T100 años)
- Duración de simulación: 3 horas
- Time step de simulación: 1 segundo
- Multiplicador de resultados: 300 segundos

Se presentan a continuación el análisis de los resultados obtenidos para esta simulación según el formato de mapa de calados obtenidos durante el total de la misma.



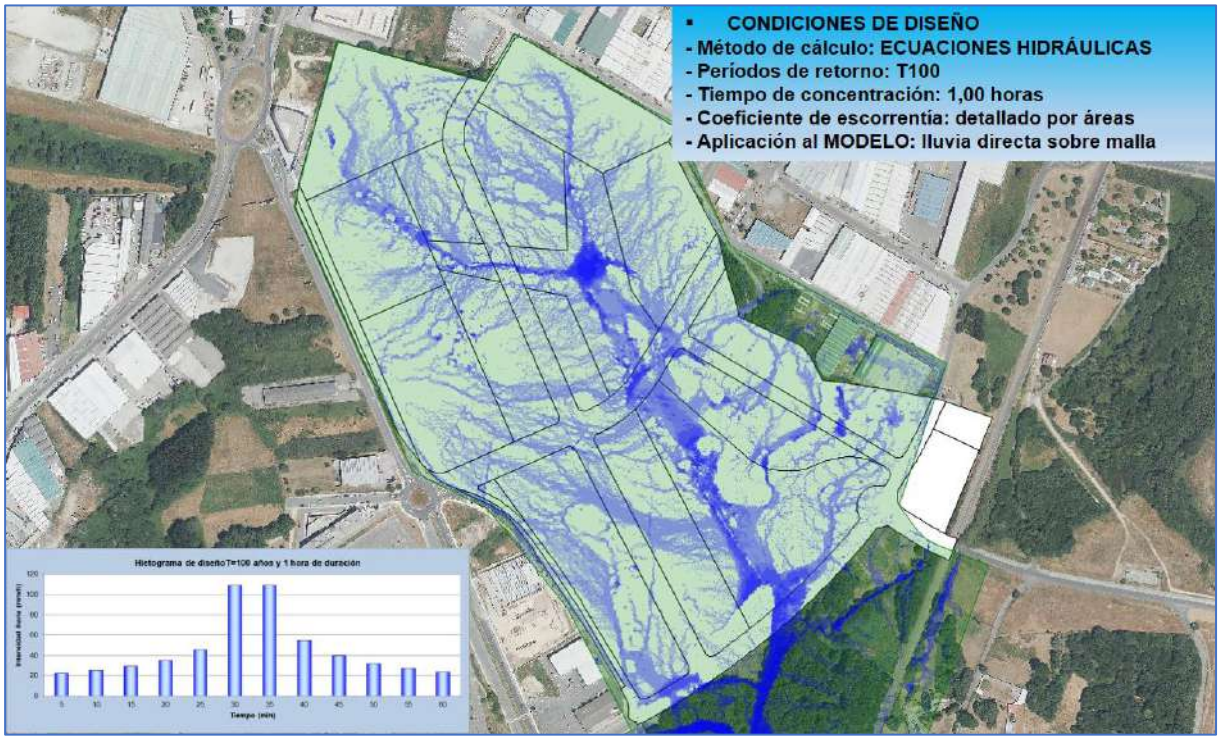
Mapa de calados escorrentía superficial (Sector S.5-I. Método completo Ecuaciones Hidráulicas. T=500 años). Calado > 1 cm.

Como se puede observar, para cualquiera de los dos escenarios modelizados (lluvias T=500 y T=100 años), el modelo de lluvia directa sobre malla representa la realidad de la transformación lluvia-escorrentía para el MDT de la situación actual.

En ambas imágenes se representan mapas de calados desde una inundación mínima de 1 cm. al objeto de analizar la convergencia de los flujos de escorrentía en los cauces y/o surgencias existentes actualmente en el interior del Sector S.5-I; teniendo en cuenta que los cauces interiores del sector se consideran innominados (según la propia CHMS), se trata con estas simulaciones de delimitar la realidad física de aquellos cauces en función del MDT actual que, tal y como ya se ha indicado anteriormente, no sufrirá modificaciones con el desarrollo del Plan Parcial en el ámbito de estos cauces, adoptando un criterio de integración de estos en las zonas verdes que se contemplan en el zonificación del Sector.

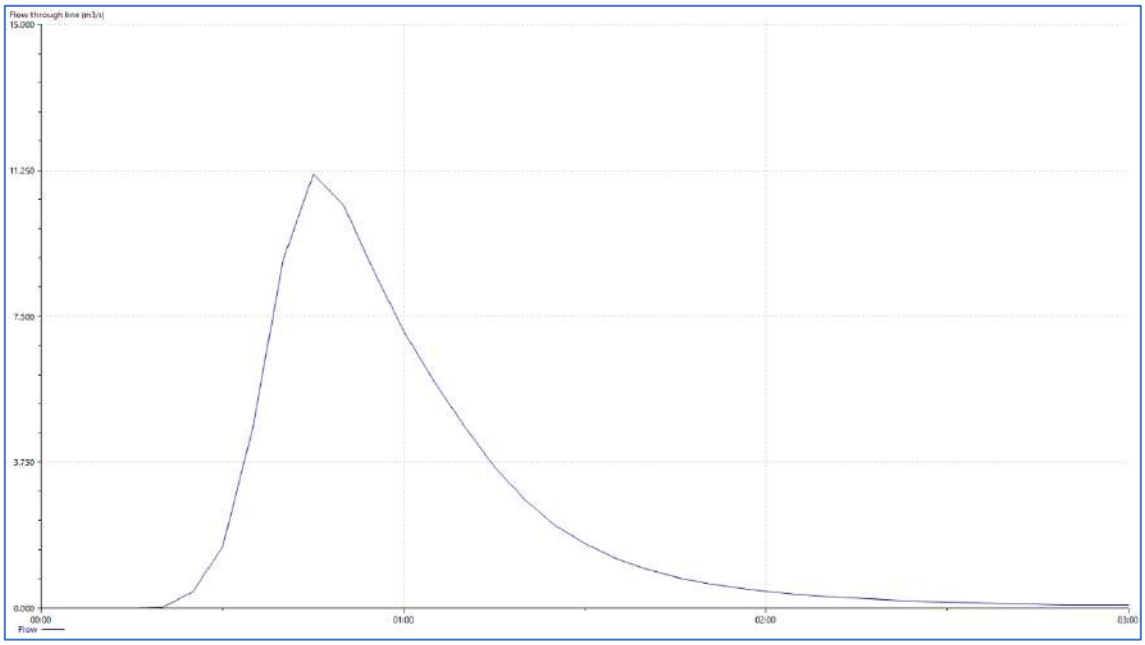
Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023



Mapa de calados escorrentía superficial (Sector S.5-I. Método completo Ecuaciones Hidráulicas. T=100 años). Calado > 1 cm.

Por otra parte, tal y como se justifica en la siguiente imagen, se trata de comprobar la relación de caudales punta que se obtienen en el punto de cierre del Sector S.5-I entre ambos métodos de simulación (método racional para el PXOM de Lugo y método de ecuaciones hidráulicas con lluvia directa sobre malla para el presente estudio).



Hidrograma de salida Sector S.5-I (Lluvia directa sobre malla T=500 años)

En la imagen anterior se presenta el hidrograma de salida del Sector S.5-I obtenido mediante el método de lluvia directa sobre malla. Como se puede comprobar, la punta del hidrograma alcanza los 11 m^3/s mientras que, en el caso del estudio del PXOM de Lugo, para el Sector 1, el caudal punta resultante es de 11,15 m^3/s con lo que, se concluye que el método empleado en el presente estudio resulta perfectamente válido y comparable con el ya empleado en el estudio del PXOM de referencia (si bien en este estudio, se aporta información adicional de especial interés en cuanto a los requerimientos de

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P.D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

la CHMS sobre a la necesidad de asegurar el respeto e integración de los cauces y surgencias existentes en la zonificación diseñada para el Plan Parcial).

Por último, en la siguiente imagen se presenta la superposición de la zona inundación obtenida para T=500 años (con lluvia directa sobre malla) y la zonificación proyectada para el Plan Parcial del Sector S.5-I; como se puede observar, una vez se filtran los calados a representar aplicando un calado mínimo de 8 cm. (con este filtro se eliminan aquellas zonas de escorrentía superficial que serán evidentemente modificadas con la implantación del Plan Parcial y que serán gestionadas a través de la nueva red de pluviales a implantar) se obtiene una delimitación del área de inundación (T=500 años) que se encuentra totalmente integrada en la delimitación de las zonas verdes previstas para el Sector S.5-I con lo que, en definitiva, se asegura que el Plan Parcial no interfiere en el ámbito de los cauces y/o surgencias existentes que puedan tener algún interés desde el punto de vista hidrológico/hidráulico y de competencia exclusiva del organismo de cuenca (CHMS).

Mapa de calados cauces Sector S.5-I (Método completo Ecuaciones Hidráulicas. T=500 años). Calado > 8 cm.

Para finalizar, se presentan a continuación las conclusiones de mayor relevancia que se extraen del estudio (mediante el método de lluvia directa sobre malla) sobre los cauces y surgencias existentes en el interior del Sector S.5-I en su situación actual:

- El modelo del presente estudio considera la ESCORRENTÍA SUPERFICIAL propia del Sector S-5 I, aplicando el método de LLUVIA DIRECTA sobre malla (el modelo del PXOM aplica una caudal entrante en cabecera del Sector).

- Este estudio se basa en el MDT actual MEJORADO, considerando todas las singularidades que generan alteraciones en el flujo superficial interior del Sector S-5 I (el MDT que genera la capa de inundación presentada en el estudio del PXOM, evidentemente nada tiene que ver con el empleado en el modelo del presente estudio).

- En el presente estudio se traslada la ESCORRENTÍA SUPERFICIAL actual hacia las zonas que se pueden intuir como cauces (recordar que los cauces interiores del Sector S.5-I se consideran innominados según el organismo de cuenca CHMS).

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

- Los cauces que se intuyen en este estudio, evidentemente, no pueden tener el grado de perfección de las formas precedentes que se presentan en el estudio del PXOM (las resultantes de este modelo obedecen a la realidad actual).

- Los resultados obtenidos se consideran totalmente lógicos puesto que, se modeliza la realidad de transformación lluvia-escorrentía del Sector S.5-I (el modelo del PXOM induce un flujo en cabecera que no obedece a la realidad).

- En cualquiera de los casos, ninguno de los dos modelos afecta a la delimitación propuesta para las zonas verdes del Sector S.5-I.

- En todo caso, el escenario de diseño adoptado para las zonas verdes del Sector, computa la solución más restrictiva (que procede del modelo del PXOM).

En resumen, se puede concluir que el nuevo MODELO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO, desarrollado por Avento Consultores, reproduce fielmente las condiciones de escorrentía superficial en el interior del Sector S.5-I para la situación actual, facilitando una delimitación perfectamente justificada de los cauces y/o surgencias existentes en el interior del Sector y que sirve de base para la delimitación de las zonas verdes con el criterio de respecto e integración de estos cauces en la zonificación diseñada para el Plan Parcial según lo requerido por el organismo de cuenca (CHMS).

Una vez concluido el análisis de la situación actual, en los siguientes apartados se procederá al estudio de alternativas de solución para la capacidad de evacuación de la ODT existente bajo la vía ferroviaria y sus implicaciones sobre la delimitación de zonas inundables que actualmente compromete el desarrollo del Plan Parcial para el Sector S.5-I.

8.3. T500. ALTERNATIVA A. ODT EXISTENTE + 1 x HA DN1800

Tal y como se ha detallado a lo largo del presente estudio, se trata en este apartado (y los sucesivos) de abordar tanto el planteamiento de soluciones alternativas para la ODT existente bajo la vía ferroviaria como las modificaciones de la zonificación de áreas inundables resultado de estas.

Además, *y como consecuencia de la reunión previa mantenida con la CHMS, a efectos de establecimiento de los criterios de diseño a emplear para el presente estudio (reunión de lanzamiento con Área Técnica y Comisaría de Aguas),* se enfoca el estudio de alternativas de solución específicamente al análisis de capacidad de evacuación para el escenario más restrictivo (período de retorno T=500 años), partiendo de las indicaciones de la CHMS, en cuanto a los criterios de diseño de aplicación, que se relacionan a continuación:

- El escenario de diseño para la solución de la ODT existente bajo la vía ferroviaria (punto como ya se ha dicho directamente limitante en cuanto a la zonificación de inundabilidad resultante aguas arriba de la citada vía ferroviaria), debe partir de la solución contenida en el estudio del PXOM del Concello de Lugo, informada favorablemente por la propia CHMS, y que consiste en la ejecución de una nueva ODT mediante un marco de HA con una sección de 6,00 x 2,50 m. (ancho x altura).

- Los caudales de diseño se deben corresponder con una avenida para un período de retorno de T=500 años (véase apartado 5.1 del presente estudio).

- Además de las cuestiones concretas relativas a los caudales de diseño, variables hidrológico-hidráulicas de aplicación, método de modelización, etc., las alternativas a estudiar deberán de estar en los dispuesto en la normativa que emana del correspondiente Plan Hidrológico competencia del organismo de cuenca.

- Por último, y sin que este suponga un criterio de diseño que se derive estrictamente la normativa vigente, la CHMS ha indicado que las alternativas de solución que en su caso se propongan, deben contemplar la "inexistencia" de la ODT disponible en la actualidad (lo que significa que, a priori, el organismo de cuenca no contemplaría la posibilidad de acometer soluciones que mantuviesen la

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P.D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

infraestructura existente, dotándola del necesario incremento de capacidad que a todas luces resulta necesario, basadas en la ejecución de obras adicionales de refuerzo de esta).

A la vista de lo anteriormente expuesto, se resumen a continuación las condiciones de contorno y especificaciones empleadas para la simulación de la **ALTERNATIVA A** de solución correspondiente al período de retorno T=500 años:

- Los hidrogramas simulados se corresponden con los descritos para T500 en el apartado 5 del presente estudio.

- Se ha optado por realizar una simulación en régimen estacionario para un caudal igual al caudal punta de avenida correspondiente al período de retorno considerado.

- Los resultados en régimen estacionario son más conservadores ya que, una vez finalizan las rampas ascendentes de incremento de caudales de entrada hasta el caudal punta de diseño (manteniendo la convergencia y estabilidad del modelo hidráulico), el caudal punta se mantiene de forma continua en el tiempo durante un período suficiente para asegurar la completa inundación correspondiente a dicho caudal punta mientras que, en el caso no estacionario el caudal punta se produce únicamente durante un breve espacio de tiempo, por lo que los calados máximos durante la avenida serán menores.

- El modelo bidimensional se apoya en el MDT compuesto y desarrollado para el presente estudio según lo detallado en el apartado 4 del mismo. Además, para las alternativas de solución, ***se introduce la modificación del MDT actual que se corresponde con la línea Sur del nuevo vial que delimitaría el Sector S.5-I, incluyendo la obra de paso necesaria para garantizar la evacuación de la avenida T=500 años correspondiente a la escorrentía propia de los cauces interiores del Sector S.5-I (véase apartado 8.4 del presente documento).***

- En cuanto a la consideración de estructuras de paso (ODT´s) que interfieran con el cauce estudiado, se está en lo dispuesto en el apartado 4.4 del presente estudio, ***implementando en esta simulación las secciones existentes en la actualidad junto con una nueva ODT, paralela a la ya existente bajo la vía ferroviaria, con una sección de HA 1xDN1800 mm.***

- T500 río da Chanca (río Rato): 35,3 m^3/s (se aplica en la cabecera del tramo estudiado, situado en el paso inferior bajo la vía ferroviaria que da acceso al polígono de As Gándaras, lo que supone un planteamiento claramente conservador).

- Duración de simulación: 8 horas (con este período se asegura la estabilidad del modelo a caudal máximo)

- Duración de rampa ascendente de caudales de entrada: 3 horas

- Duración de hidrograma a caudal punta: 5 horas

- Time step de simulación: 1 segundo

- Multiplicador de resultados: 300 segundos

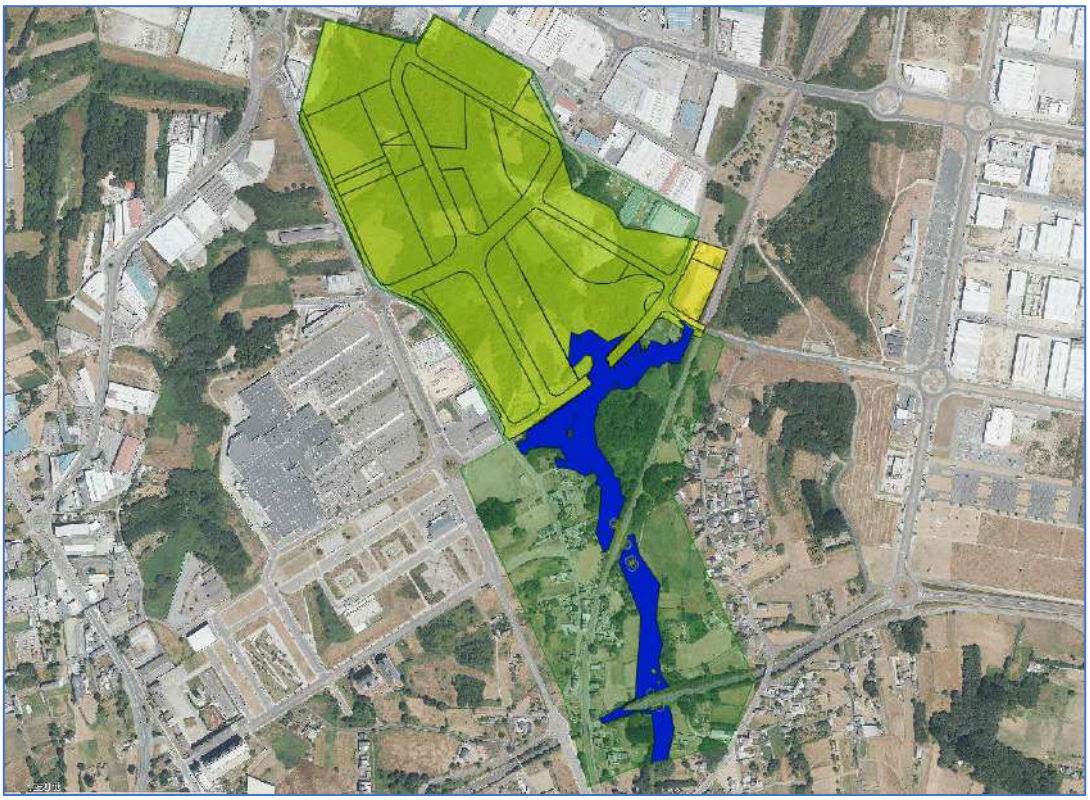
Nótese que, en estricta teoría, la ALTERNATIVA A no cumpliría con todos los requisitos indicados por la CHMS en cuanto a las alternativas de solución susceptibles de ser propuestas (en esta ALTERNATIVA A se mantiene la ODT existente) si bien, como se verá más adelante, *se opta por incluir el análisis de esta alternativa en tanto en cuanto, a juicio del que suscribe, puede resultar de especial interés a efectos de comparación y/o validación de las restantes opciones a estudiar.*

Se presentan a continuación el análisis de los resultados obtenidos para esta simulación según el formato de mapa de calados máximos obtenidos durante el total de la misma; tanto para esta alternativa como para la sucesivas, el formato de presentación de resultados se centrará tanto en la respuesta del cauce principal como en la combinación de este con el flujo de escorrentía procedente de los

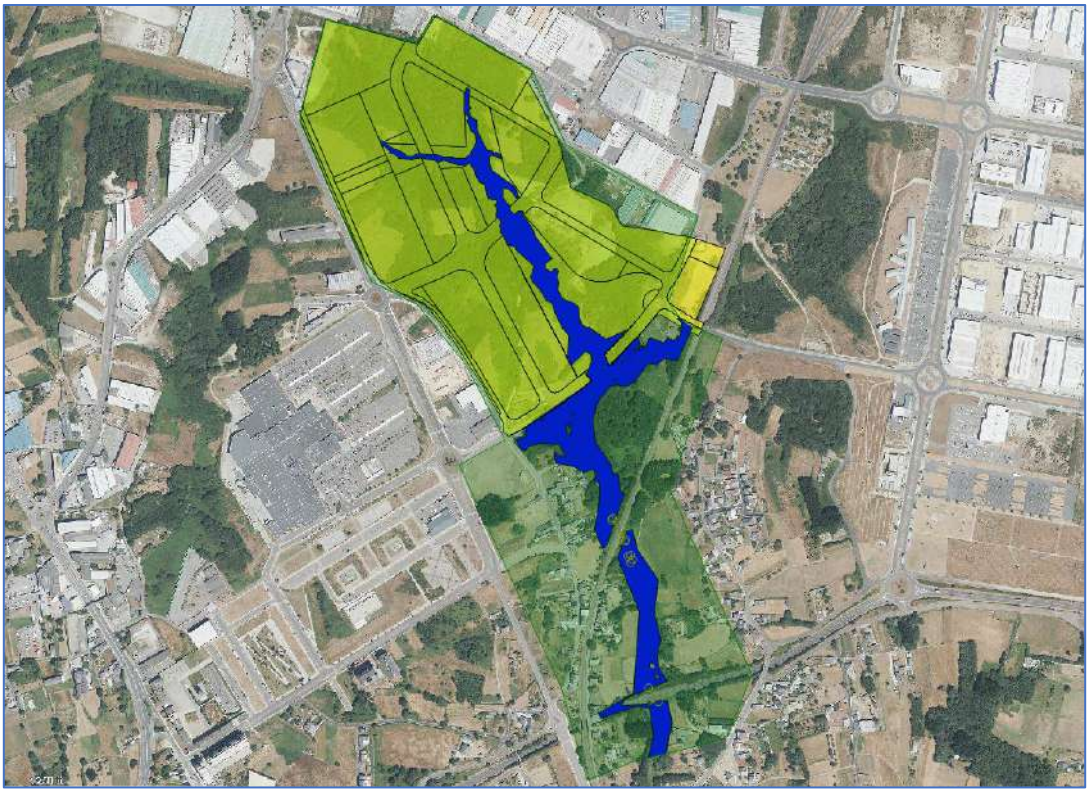
Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P.D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

cauces/surgencias interiores del Sector S.5-I (detallando además los hidrogramas de evacuación resultantes para las ODT´s bajo la vía ferroviaria de cada alternativa).



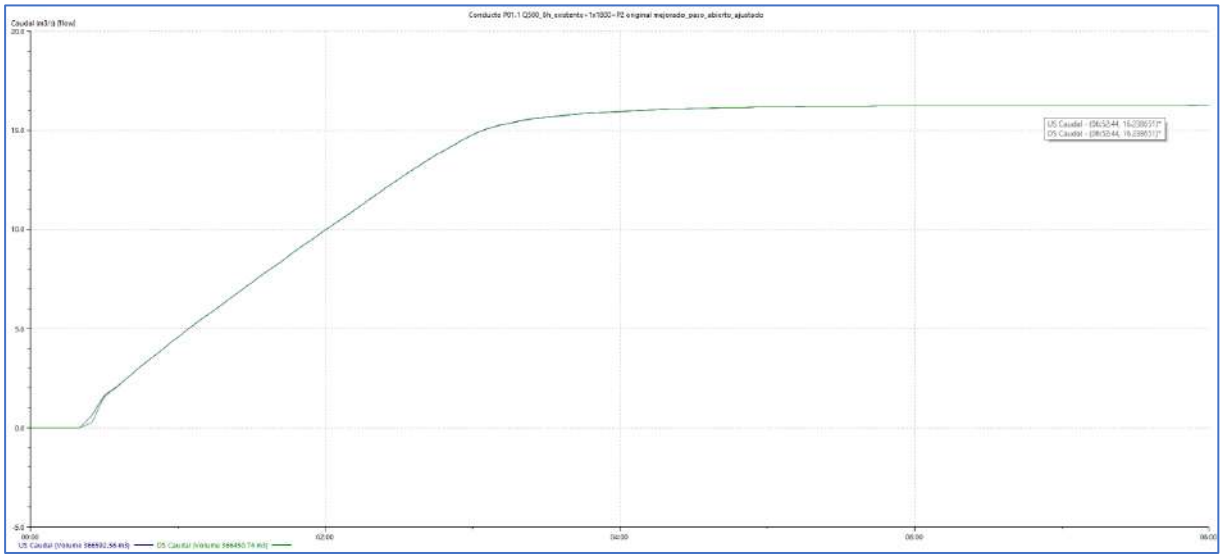
Mapa general de calados inundación T=500 años (cauce principal ALTERNATIVA A)



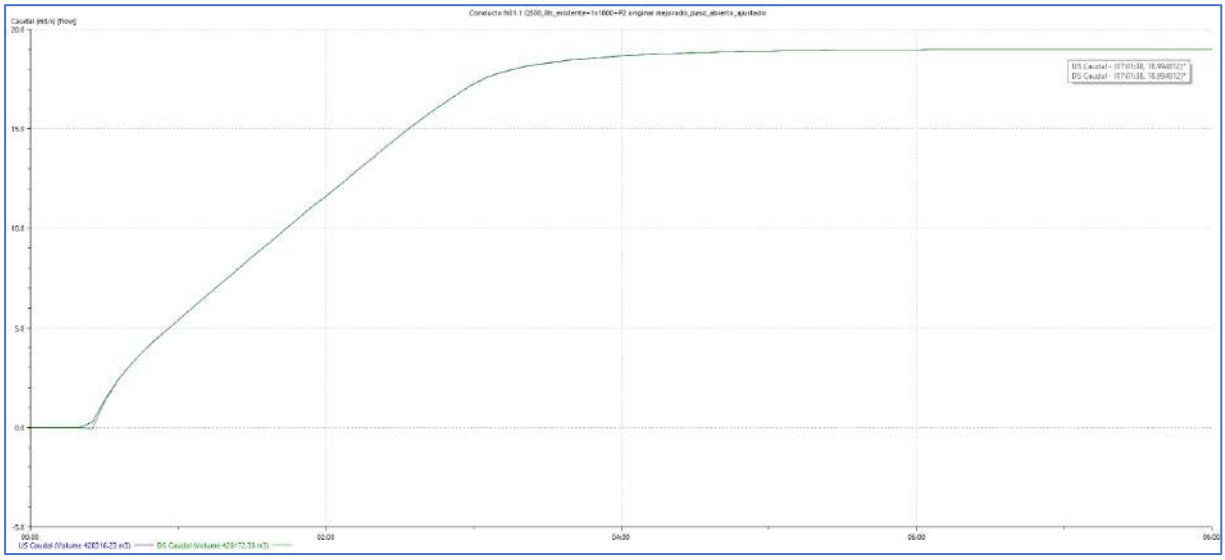
Mapa general de calados inundación T=500 años (cauce principal + interior Sector S.5-I ALTERNATIVA A)

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023



Hidrograma de evacuación ODT existente (ALTERNATIVA A. T500) Qmáx = 16,23 m3/s



Hidrograma de evacuación ODT adicional HA 1xDN1800 (ALTERNATIVA A. T500) Qmáx = 19,00 m3/s

Tal y como se desprende de la anterior secuencia de imágenes, el análisis de los resultados obtenidos para la **ALTERNATIVA A** permite obtener las siguientes conclusiones:

- Respecto de la situación actual, se reduce ampliamente el área de inundación resultante para el período de retorno de T=500 años.

- El incremento de capacidad de evacuación que aporta la nueva ODT HA 1 x DN1800, paralela a la ya existente, supone que la máxima inundación resultante se ciña a la línea exterior del vial Sur planteado en el Plan Parcial del Sector S.5-I a excepción, como no puede ser de otra manera, de la zona de evacuación de los cauces existentes en el interior del propio Sector (dónde la propia orografía del terreno hace que la máxima lámina de inundación penetre sensiblemente en el interior de la zona verde ya prevista en la zonificación del sector).

- Se observa que la máxima capacidad de evacuación de las ODT´s (existente + nueva HA 1 x DN1800) se estabiliza con la máxima lámina de inundación en valores de 16,3 m^3/s y 19 m^3/s respectivamente (la suma de ambos valores se corresponde con el caudal punta del hidrograma de entrada de 35,3 m^3/s lo que, como resulta lógico, hace que la lámina de máxima inundación se estabilice en el punto en el que los caudales de entrada y salida se igualan).

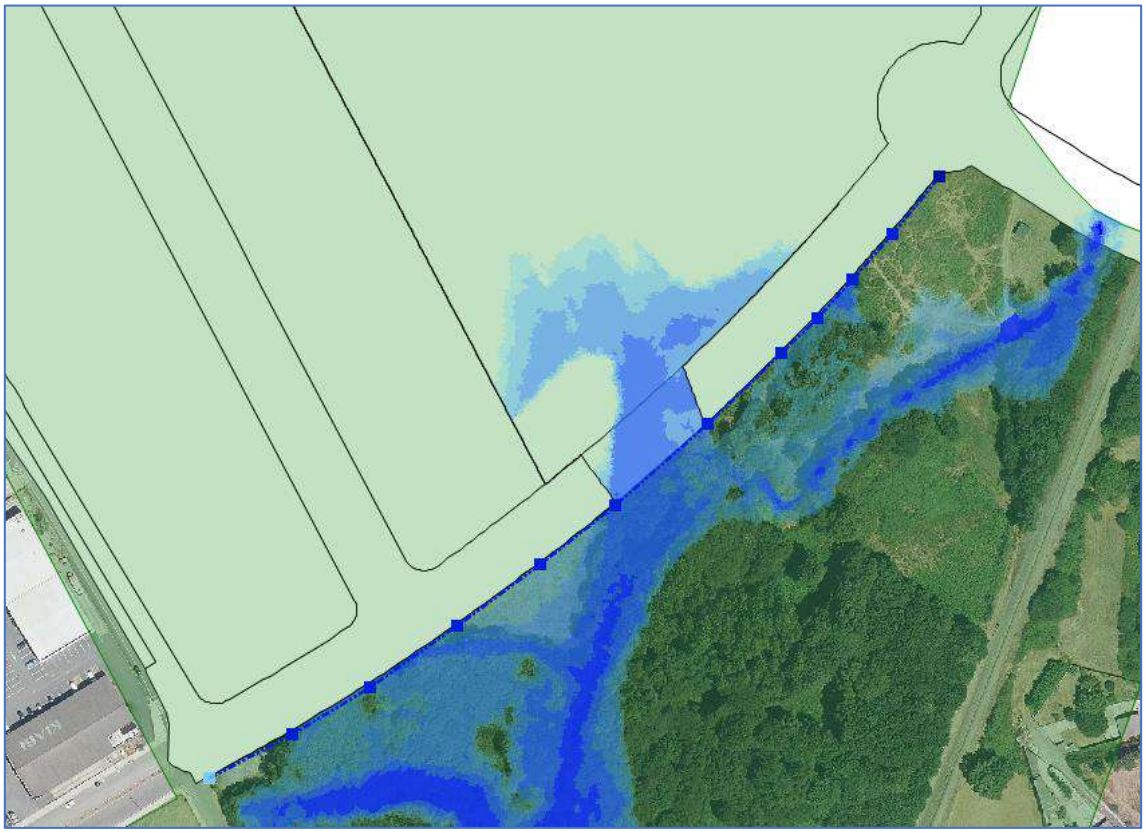
Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

Como se puede observar, a nivel de ocupación en planta para la máxima inundación correspondiente al escenario de diseño de T=500 años, el resultado que se obtiene con la ALTERNATIVA A supone una evidente mejoría en cuanto a las condiciones de viabilidad de desarrollo para el Plan Parcial del Sector S.5-I.

No obstante, e independientemente de los resultados favorables obtenidos para la ocupación en planta de la máxima inundación, el análisis realmente relevante desde el punto de vista tanto constructivo como ambiental, tiene que ver especialmente con la relación de la cota inundación respecto de la rasante del terreno actual, diferencia esta que, como es obvio, delimita la rasante necesaria para el nuevo vial Sur del Sector S.5-I que, a excepción del necesario paso de evacuación para los cauces existentes en el interior del Sector, actuará de frontera en la llanura de inundación de la margen derecha del río da Chanca.

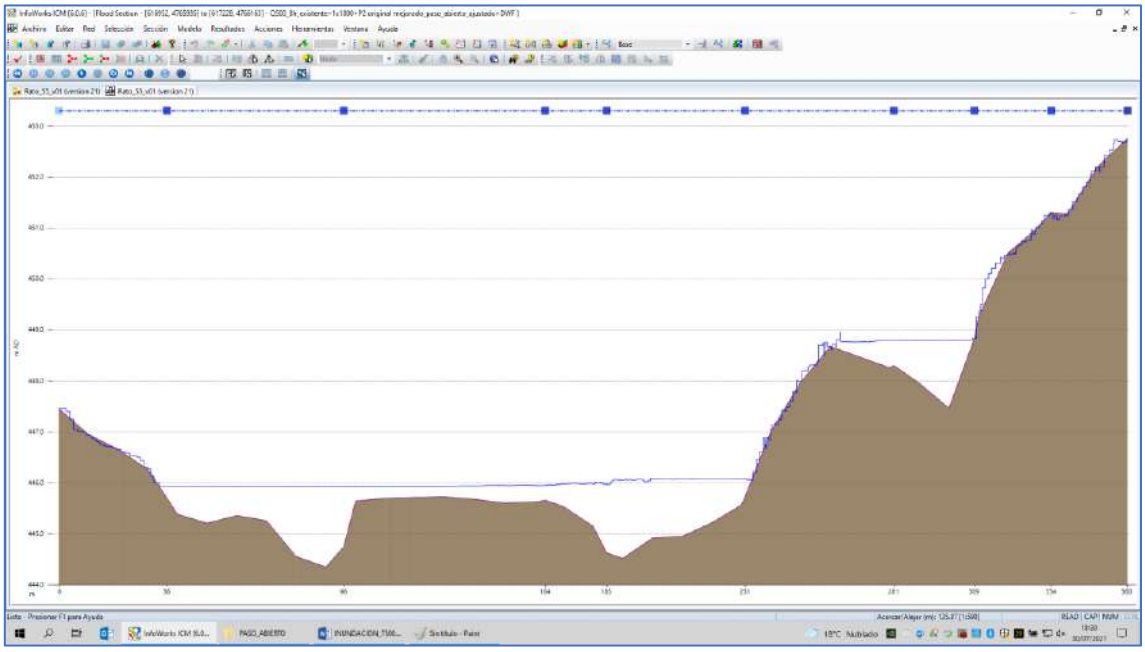
De este modo, en las siguientes imágenes se presentan los resultados del perfil de inundación máxima para T=500 años a lo largo de la línea Sur del citado vial.



Planta de línea de resultados vial Sur Sector S.5-I (inundación máxima T=500 años)

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023



Perfil de línea de resultados vial Sur Sector S.5-I (inundación máxima T=500 años)

Como se puede observar (aunque quizás el formato de presentación en imágenes no sea el más adecuado), los resultados obtenidos para la ALTERNATIVA A (con la lámina de máxima inundación para T500 se estabiliza en torno a la cota absoluta +446,00 m.) suponen que, en general, la rasante del nuevo vial Sur para el Sector S.5-I, podría seguir la rasante actual del terreno a excepción, como es evidente, de la zona de salida de los cauces interiores del propio Sector que se ubica en la zona verde prevista en el Plan Parcial (el máximo relleno del vial Sur, sobre la rasante del terreno existente, alcanzaría los 0,60 m., valor este que se entiende perfectamente viable tanto desde el punto de vista constructivo como ambiental).

Indicar, como conclusión de máximo interés, que independientemente de los criterios de partida facilitados por la CHMS en cuanto a que las alternativas de solución no deberían computar la capacidad de la ODT existente cabe resaltar que, para la ALTERNATIVA A, ***la combinación de la lámina de máxima inundación resultante junto con la capacidad de la nueva ODT paralela a la ya existente contemplada en esta alternativa (con sección HA 1 x DN1800), hace que la capacidad máxima de la ODT existente alcance los 16,3 m³/s, valor este que se entiende suficientemente significativo como para, a priori, no ser tenido en cuenta.***

8.4. T500. ALTERNATIVA B. 2xHA DN1800

Teniendo en cuenta el contenido de la alternativa anterior, se plantea en el presente apartado una segunda opción de solución para la capacidad de desagüe bajo la vía ferroviaria (ALTERNATIVA B) que tiene en cuenta todas las premisas indicadas por la CHMS en cuanto a los escenarios de análisis ***(la diferencia sustancial con la alternativa anterior radica en que, en este caso, se obvia la existencia de la actual ODT y se plantea una solución íntegramente de nueva construcción).***

A la vista de lo anteriormente expuesto, se resumen a continuación las condiciones de contorno y especificaciones empleadas para la simulación de la **ALTERNATIVA B** de solución correspondiente al período de retorno T=500 años:

- Los hidrogramas simulados se corresponden con los descritos para T500 en el apartado 5 del presente estudio.
- Se ha optado por realizar una simulación en régimen estacionario para un caudal igual al caudal punta de avenida correspondiente al período de retorno considerado.
- Se emplea idéntico MDT al ya descrito para la alternativa anterior.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

- En cuanto a la consideración de estructuras de paso (ODT´s) que interfieran con el cauce estudiado, se está en lo dispuesto en el apartado 4.4 del presente estudio, ***implementando en esta simulación dos nuevas ODT´s paralelas entre sí, con una sección de HA 2xDN1800 mm., en sustitución de la ODT existente bajo la vía ferroviaria.***

- T500 río da Chanca (río Rato): 35,3 m^3/s (se aplica en la cabecera del tramo estudiado, situado en el paso inferior bajo la vía ferroviaria que da acceso al polígono de As Gándaras, lo que supone un planteamiento claramente conservador).

- Duración de simulación: 8 horas (con este período se asegura la estabilidad del modelo a caudal máximo)

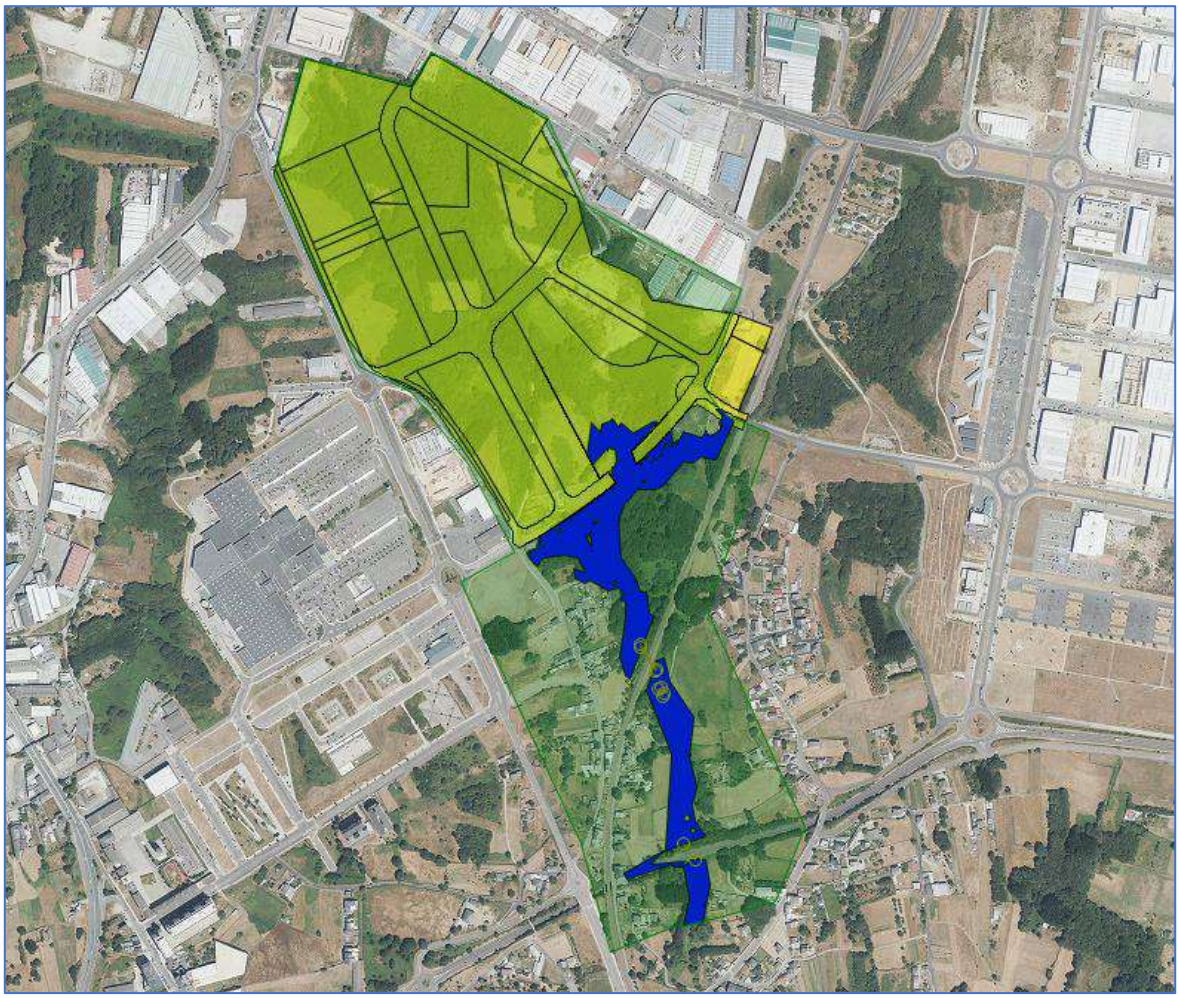
- Duración de rampa ascendente de caudales de entrada: 3 horas

- Duración de hidrograma a caudal punta: 5 horas

- Time step de simulación: 1 segundo

- Multiplicador de resultados: 300 segundos

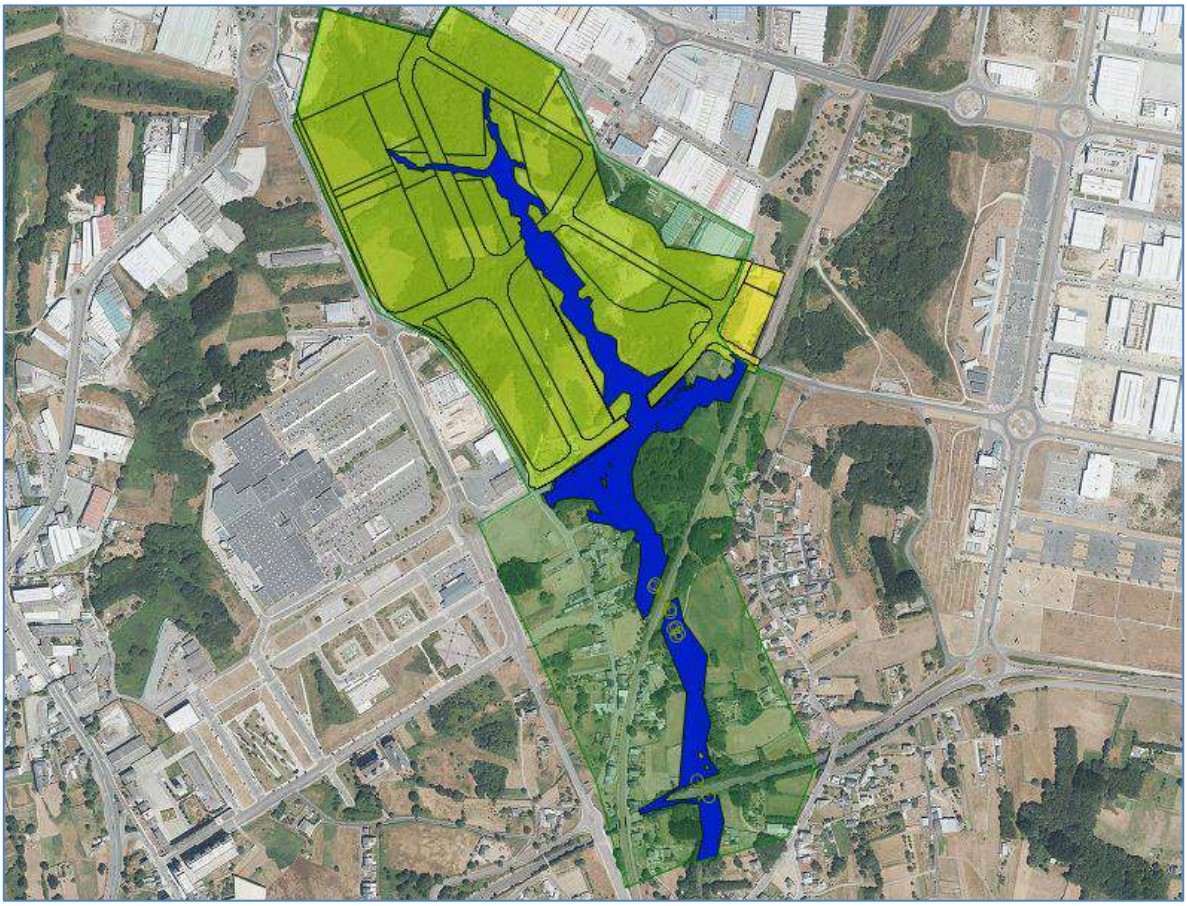
Se presentan a continuación el análisis de los resultados obtenidos para esta simulación según el formato de mapa de calados máximos obtenidos durante el total de la misma, siguiendo idénticos criterios de presentación a los ya descritos para la alternativa anterior.



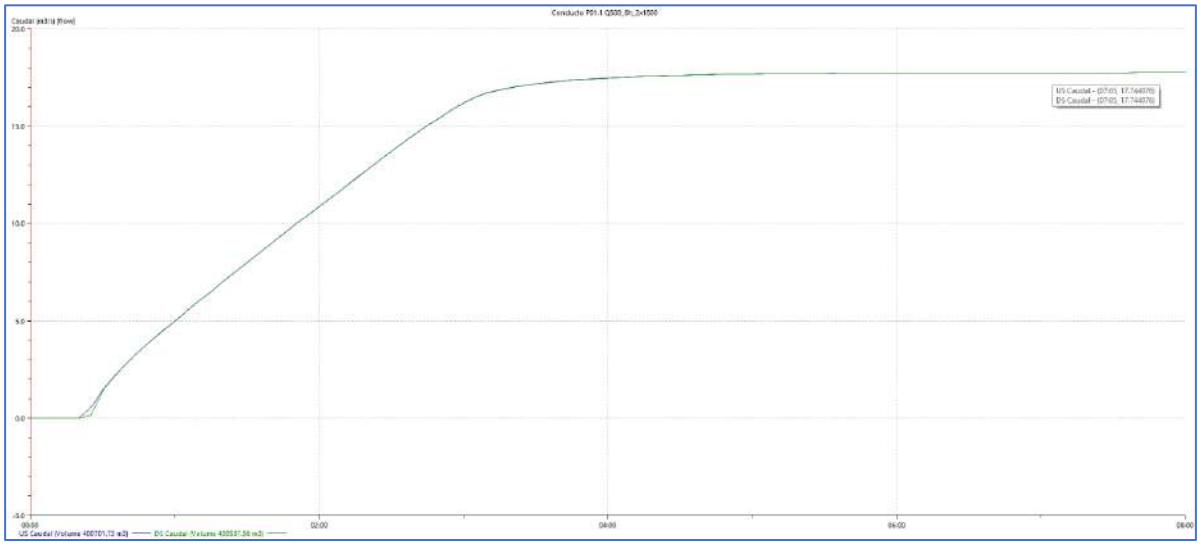
Mapa general de calados inundación T=500 años (cauce principal ALTERNATIVA B)

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023



Mapa general de calados inundación T=500 años (cauce principal + interior Sector S.5-I ALTERNATIVA B)



Hidrograma UNITARIO de evacuación ODT HA 2xDN1800 (ALTERNATIVA B. T500) Qmáx = 17,73 m3/s

Tal y como se desprende de la anterior secuencia de imágenes, el análisis de los resultados obtenidos para la **ALTERNATIVA B** permite obtener las siguientes conclusiones:

- Al igual que en el caso de la ALTERNATIVA A, respecto de la situación actual, se reduce ampliamente el área de inundación resultante para el período de retorno de T=500 años (resultando prácticamente idéntica a la ya obtenida para la alternativa anterior, obteniéndose un descenso "simbólico" de únicamente 19 cm. para la lámina máxima de inundación respecto de la alternativa anterior).

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

- El incremento de capacidad de evacuación que aporta el hecho de ejecutar dos nuevas ODT´s mediante conducción de HA DN1800 (obviando la capacidad de la ODT existente), resulta prácticamente inapreciable respecto de la alternativa anterior, obteniéndose por tanto una superficie de máxima inundación prácticamente idéntica.

- Se observa que la máxima capacidad de evacuación de las nuevas ODT´s (HA 2 x DN1800) se estabiliza con la máxima lámina de inundación en valores unitarios de 17,73 m^3/s (la suma de ambos valores se corresponde con el caudal punta del hidrograma de entrada de 35,3 m^3/s lo que, como resulta lógico, hace que la lámina de máxima inundación se estabilice en el punto en el que los caudales de entrada y salida se igualan).

Por lo tanto, a la vista de lo anteriormente expuesto se puede concluir que, en cuanto a las cuestiones relativas a la nueva rasante del vial Sur del Sector S.5-I y de sus implicaciones tanto constructivas como ambientales, los resultados que se obtienen con la ALTERNATIVA B son prácticamente análogos a los ya descritos para la ALTERNATIVA A (se obtiene únicamente un diferencial de máxima inundación de -19 cm. a favor de la ALTERNATIVA B).

Indicar además, como conclusión de máximo interés, que independientemente de los criterios de partida facilitados por la CHMS en cuanto a que las alternativas de solución no deberían computar la capacidad de la ODT existente cabe resaltar que, para la ALTERNATIVA B, ***la combinación de la lámina de máxima inundación resultante (prácticamente idéntica a la obtenida con la alternativa anterior) junto con la capacidad de las nueva ODT´s (con sección HA 2 x DN1800), hace que la capacidad máxima de la ODT existente (cifrada en 16,3 m^3/s en la ALTERNATIVA A para prácticamente idéntica lámina máxima de inundación), cobre de nuevo especial relevancia en cuanto a la premisa de partida de no computar la capacidad disponible para una infraestructura ya existente (nótese que la mejora unitaria de capacidad que se obtiene con la ejecución de una nueva ODT, mediante conducción HA 1 x DN1800 en sustitución de la ya existente, no aporta ninguna mejora significativa).***

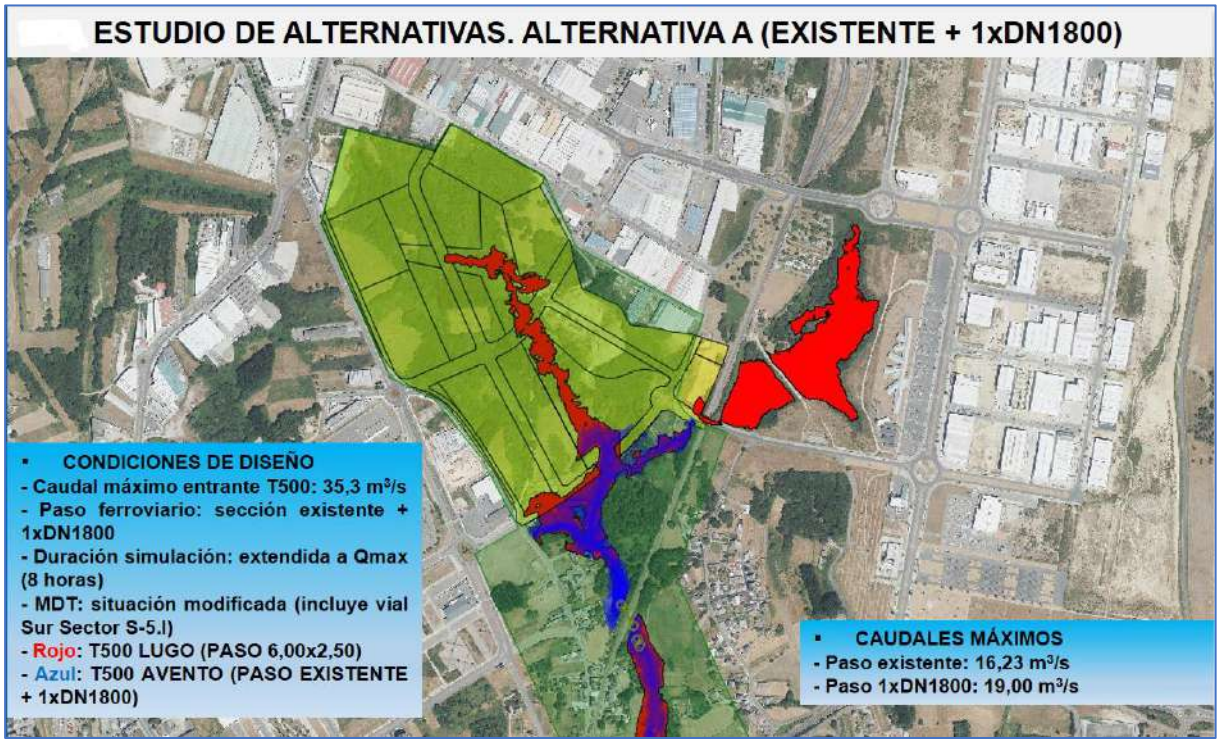
8.5. T500. ALTERNATIVA C. 1xHA 6,00 x 2,50 (SOLUCIÓN PXOM)

Teniendo en cuenta que, según los criterios de diseño indicados por la CHMS, para el desarrollo del presente estudio se debería de considerar como solución de referencia la ya informada favorablemente por el organismo de cuenca y desarrollada en el marco del PXOM del Concello de Lugo, en el presente apartado se abordará únicamente la comparativa de resultados (en términos de calado de máxima inundación para T=500 años) obtenidos con las alternativas anteriores respecto de los relativos a la solución de referencia.

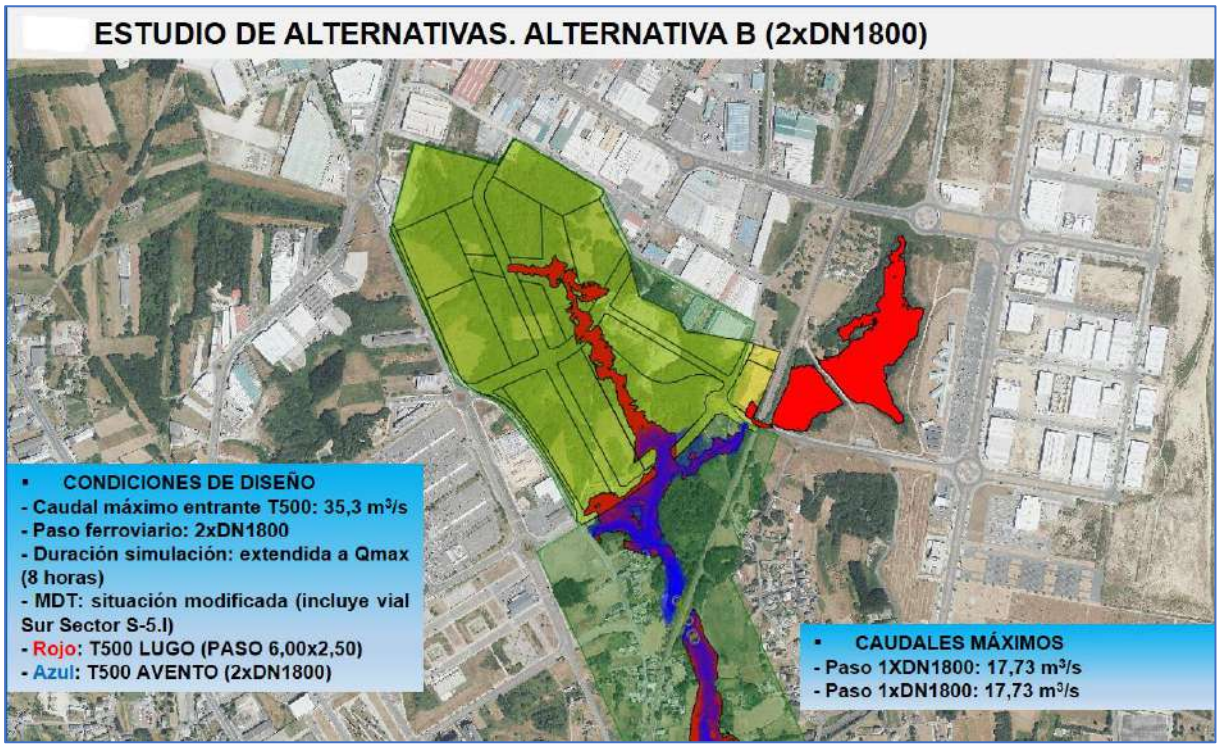
Se presentan a continuación las imágenes de superposición entre los resultados de calado máximo de inundación (escenario T500) obtenidos para las ALTERNATIVAS A y B y el mapa de inundación máxima (para idéntico escenario) derivado de la solución prevista en el estudio del PXOM del Concello de Lugo (se superponen los mapas de inundación relativos al cauce principal puesto que, como ya se ha justificado, para el caso de los cauces interiores del Sector S.5-I no se han detectado diferencias significativas entre el estudio de referencia y el que se desarrolla en el presente documento).

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023



Comparativa de calados inundación T=500 años (ALTERNATIVA A vs ALTERNATIVA C)



Comparativa de calados inundación T=500 años (ALTERNATIVA B vs ALTERNATIVA C)

Como se puede observar en la primera imagen, con la introducción de un paso adicional al existente, con sección 1 x DN1800, que se contempla en la ALTERNATIVA A, se obtiene prácticamente el mismo resultado que el previsto en el estudio de inundabilidad del PXOM del Concello de Lugo (que implanta un marco de 6,00x2,50 m. de sección).

El incremento máximo de inundación entre ambas soluciones es de +26 cm. (superior en la ALTERNATIVA A vs SOLUCIÓN PXOM CONCELLO).

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P.D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

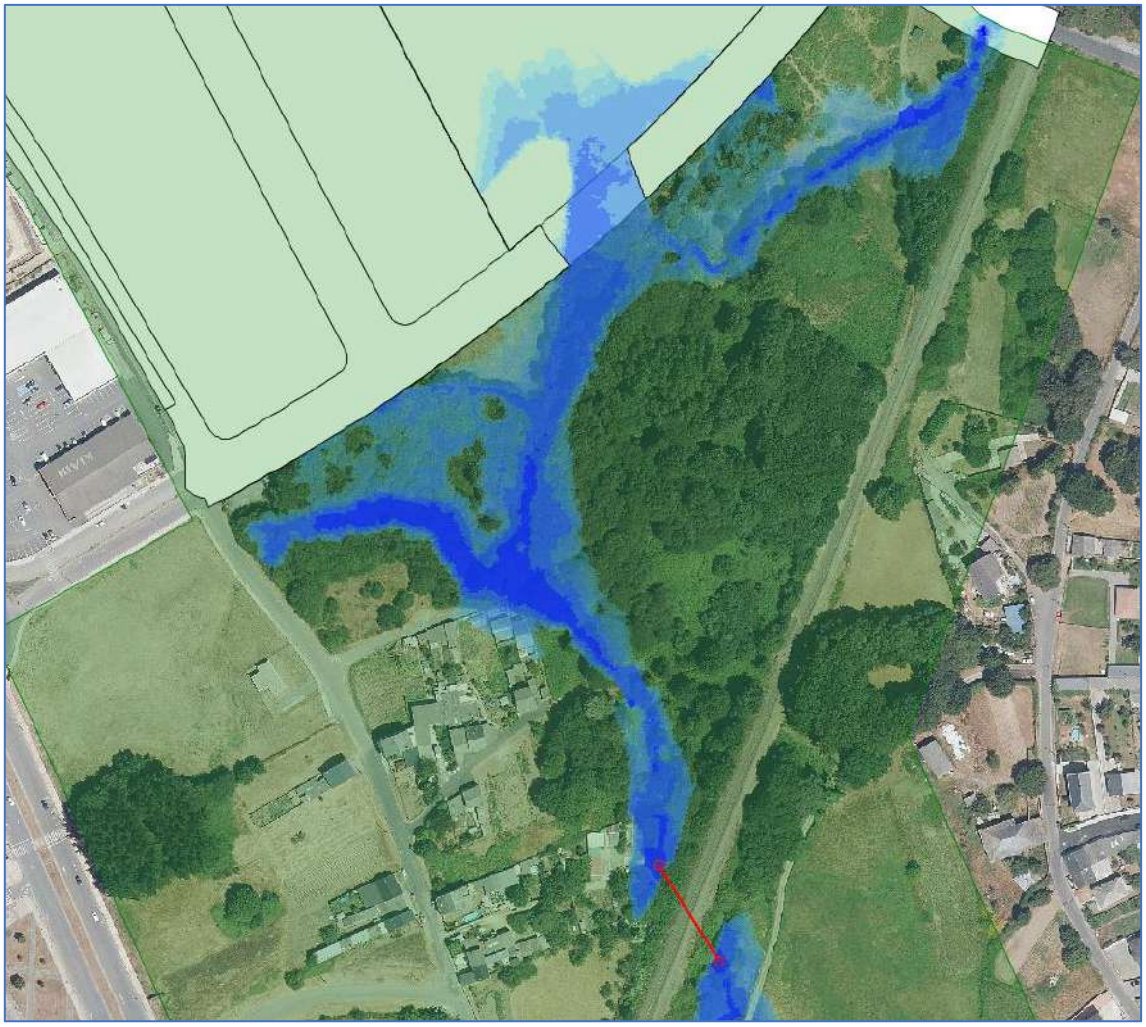
Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

Del mismo modo, como se puede observar en la segunda imagen, con la introducción de una nueva ODT que sustituya a la ya existente con sección 2 x DN1800, que se contempla en la ALTERNATIVA B, se obtiene prácticamente el mismo resultado que el previsto en el estudio de inundabilidad del PXOM del Concello de Lugo (que como ya se ha descrito, implanta un marco de 6,00x2,50 m. de sección).

El incremento máximo de inundación entre ambas soluciones es de +5 cm. (superior en la ALTERNATIVA B vs SOLUCIÓN PXOM CONCELLO).

8.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS. PROPUESTA DE ALTERNATIVA SELECCIONADA

A la vista de lo anteriormente expuesto, en el presente apartado se procederá al análisis comparativo de los resultados obtenidos para cada una de las alternativas estudiadas, concluyendo en último término con el razonamiento y justificación de la alternativa seleccionada que se propone como resultado del presente estudio.



Calado de inundación T500 (marco de 6x2,50 m.)

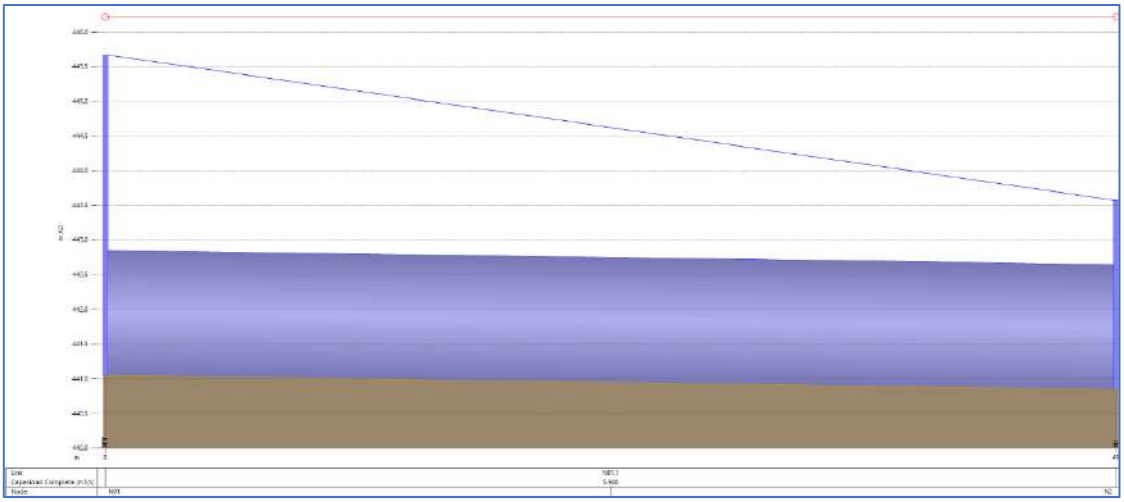
8.6.1. CRITERIOS DE CAPACIDAD HIDRÁULICA

Como punto de partida para formular el análisis de la respuesta de cada ALTERNATIVA ESTUDIADA respecto de la ALTERNATIVA DE REFERENCIA (que contempla la ejecución de una nueva ODT mediante marco de HA de 6,00 x 2,50 m.), se presenta en la imagen anterior el mapa de calados máximos resultantes para la alternativa de referencia en el escenario base de diseño correspondiente a T=500 años.

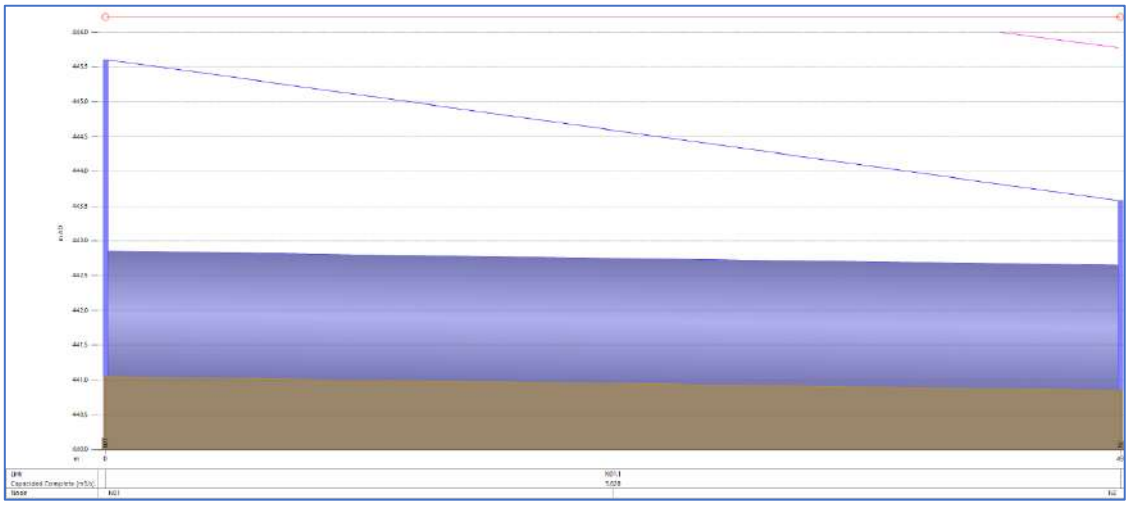
Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

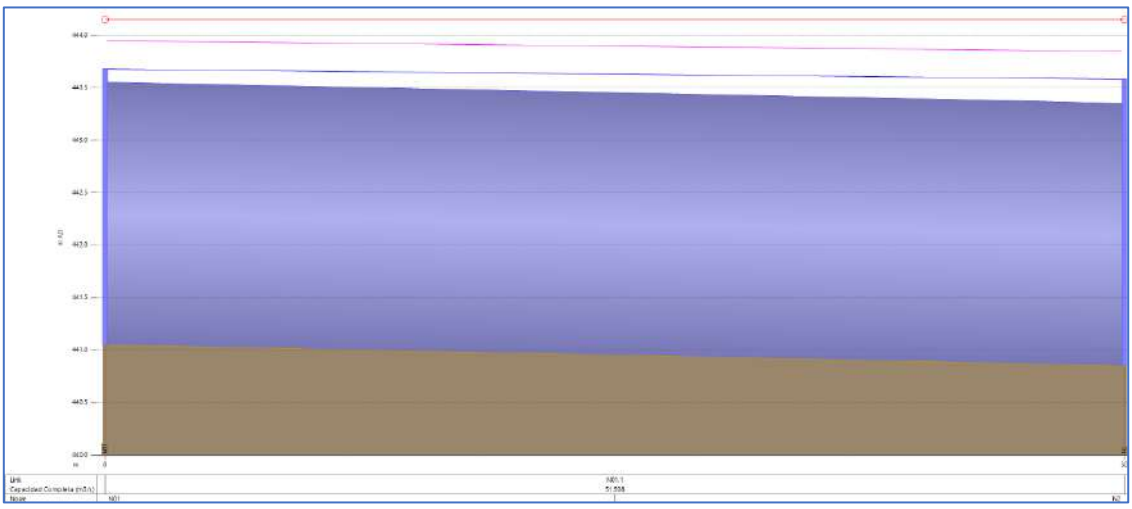
Además, en las siguientes imágenes se presentan los perfiles resultantes para cada alternativa de solución, junto con la lámina máxima de agua que se alcanza en cada caso y para el mismo escenario de diseño de referencia (T=500 años).



Perfil a caudal máximo T500 (HA 1 x DN1800) ALTERNATIVA A



Perfil a caudal máximo T500 (HA 2 x DN1800) ALTERNATIVA B



Perfil a caudal máximo T500 (marco de 6x2,50 m.) ALTERNATIVA C (PXOM LUGO)

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

En primer lugar, ***desde el punto de vista de CAPACIDAD HIDRÁULICA***, y tal y como se justifica en los apartados anteriores conviene resumir que, para cualquiera de las alternativas estudiadas, el punto de máxima inundación resultante (para el escenario más desfavorable correspondiente a T=500 años) se produce en el momento en el que, el caudal punta entrante al sistema (35,3 m^3/s para el caso de T=500 años), se iguala con la capacidad de evacuación de la ODT bajo la vía ferroviaria (en sus múltiples variantes). En este sentido, y como punto de partida para el debate sobre los resultados obtenidos, se recopilan los valores de máxima inundación (tomando como referencia la lámina de agua en el punto de confluencia entre los cauces interiores del Sector S.5-I y el cauce principal) y la capacidad de evacuación resultante para cada alternativa de solución estudiada:

- **ALTERNATIVA A (ODT existente + 1 x HA DN1800)**
- **Lámina de máxima inundación T=500 años** +445,94 m.
- **Caudal máximo evacuación ODT existente** 16,30 m^3/s
- **Caudal máximo evacuación ODT 1 x HA DN1800** 19,00 m^3/s
- **Caudal máximo evacuación TOTAL** 35,30 m^3/s

- **ALTERNATIVA B (nueva ODT 2 x HA DN1800)**
- **Lámina de máxima inundación T=500 años** +445,89 m.
- **Caudal máximo evacuación ODT 1 x HA DN1800** 17,73 m^3/s
- **Caudal máximo evacuación ODT 2 x HA DN1800** 35,30 m^3/s

- **ALTERNATIVA C (nueva ODT MARCO HA 6,00 x 2,50 m.)**
- **Lámina de máxima inundación T=500 años** +445,69 m.
- **Caudal máximo evacuación MARCO 6,00 X 2,50** 35,30 m^3/s

Como se observa, existe una diferencia de calado de inundación máxima entre la ALTERNATIVA A (ODT existente + 1xDN1800) y la ALTERNATIVA C (marco de 6,00 x 2,50 m.), únicamente 26 cm. a favor de la solución prevista en la ALTERNATIVA C (solución del PXOM del Concello de Lugo).

Además, y esta apreciación tiene su importancia en cuanto a la interpretación de la normativa que se deriva el Plan Hidrológico, también se observa claramente que, ***en cualquiera de las tres ALTERNATIVAS estudiadas, no existe ningún resguardo de capacidad en la ODT bajo la vía ferroviaria*** (en todas las alternativas esta ODT terminaría por funcionar en carga a caudal máximo para láminas de inundación máxima aguas arriba similares).

A la vista de lo anteriormente expuesto, parece evidente la necesidad de una explicación fundamentada que sustente la lógica de los resultados obtenidos.

¿Cómo es posible que, teniendo en cuenta las manifiestas diferencias entre ALTERNATIVAS (fundamentalmente en el sentido de los incrementos de sección computados en cada una de ellas y, por ende, de la cantidad de recursos que cada una de estas ALTERNATIVAS comprometería para su efectiva implantación), los resultados realmente obtenidos puedan ser prácticamente idénticos?

Pues porque en realidad, *la condición de desagüe aguas abajo de la ODT existente es la variable que finalmente termina por tener un mayor peso específico en la efectividad de cada solución.*

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

La cota de fondo de la salida de la ODT bajo la vía ferroviaria es la 440,85 m. mientras que, la cota de rasante del vial aguas abajo (el marco existente de 2x2 no tiene capacidad para evacuar T500) es la +443,00 m. con lo que, la ODT de refuerzo de la ALTERNATIVA A (lo mismo vale para la ALTERNATIVA B con ODT´s de nueva construcción) desagua en carga mientras que, para el caso de la *ALTERNATIVA C (que contempla una sección efectiva de un 590 % y 300% superior a la prevista para las ALTERNATIVAS A y B respectivamente),* ocurre prácticamente un efecto idéntico (de los 2,50 m. de altura que tiene la nueva sección propuesta, únicamente quedarían "libres" 0,35 m. al inicio de la simulación, entrando igualmente en carga prácticamente de inmediato).

8.6.2. CRITERIOS DE TIPO CONSTRUCTIVO

En segundo lugar, ***desde el punto de vista CONSTRUCTIVO***, y al contrario de los resultados obtenidos para el concepto de CAPACIDAD HIDRÁULICA (que como se ha visto no permiten justificar razonadamente los pros/contras de cada ALTERNATIVA que fundamenten una criterio de selección), las implicaciones constructivas específicas que conllevaría la ejecución efectiva de cada ALTERNATIVA estudiada, sí que evidencian diferencias sustanciales, circunstancias estas que precisan de análisis convenientemente justificado.

En este sentido, se describen a continuación las ***CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS*** particulares que, a priori, conllevaría la ejecución de cada ALTERNATIVA sometida a estudio.

ALTERNATIVA A

Tomando como referencia la imagen que se presenta a continuación (donde se muestra el estado actual de la ODT bajo la vía ferroviaria aguas arriba), se consideran los aspectos constructivos de relevancia que se relacionan a continuación:

- La ALTERNATIVA A permite el uso de la ODT existente durante la totalidad del proceso de construcción de la nueva ODT de refuerzo/incremento de capacidad que se contempla en esta alternativa.

- La ODT existente actuaría de canalización efectiva del río da Chanca durante el proceso de construcción sin ningún tipo de necesidad de intervención sobre la misma.

- Con esta alternativa, se da cumplimiento además a la necesidad de disponer de secciones de "aguas bajas" según se contempla en la normativa derivada del Plan Hidrológico (competencia del organismo de cuenca CHMS).

- El planteamiento de esta alternativa supondría la ejecución de una nueva hinca, en tubería de HA 1 x DN1800, que partiría de la margen izquierda del río de Chanca (con las necesarias distancias respecto de la ODT existente), minimizando por tanto las afecciones sobre el normal régimen fluvial (que durante toda la actuación continuaría discurriendo por el cauce/ODT existente en la actualidad).

- Además, con la ALTERNATIVA A, se minimiza sustancialmente el efecto negativo de "asimetría" que se detallará posteriormente para la ALTERNATIVA B.

- Por último, y no por ello menos importante, en cuanto a la capacidad hidráulica ya disponible en la actualidad (vinculada a la lámina máxima de inundación aguas arriba que se contempla en este estudio), con esta alternativa se pone en valor la capacidad ya existente (que alcanza los 16,3 m^3/s y se encuentra en perfecto estado de conservación) y que, como ya se ha visto, no se ve sustancialmente mejorada con la implantación de las restantes alternativas sometidas a estudio.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

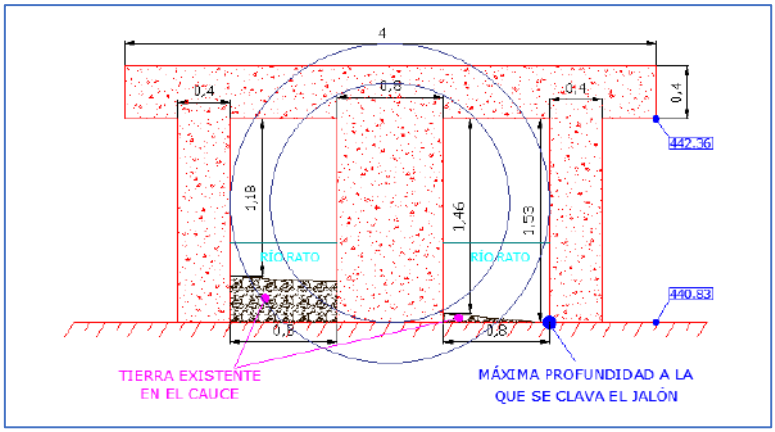
Vista general entrada ODT bajo vía ferroviaria

ALTERNATIVA B

Al igual que en el caso anterior, tomando como referencia la misma imagen (dónde se muestra el estado actual de la ODT bajo la vía ferroviaria aguas arriba), se consideran los aspectos constructivos de relevancia para la ALTERNATIVA B que se relacionan a continuación:

- La ALTERNATIVA B, *en este caso únicamente atendiendo a criterios perjudiciales desde el punto de vista constructivo y operativo,* también permitiría el uso de la ODT existente durante la totalidad del proceso de construcción de las nuevas ODT´s (2 x HA DN1800) que vendrían a sustituir a esta.

- La afirmación anterior se sustancia básicamente en que, tal y como se puede observar en la siguiente imagen, resultaría físicamente imposible el abordar la ejecución de una de las nuevas conducciones previstas en la nueva ODT estudiada para esta alternativa, en alineación con la ODT ya existente.



Superposición hinca DN1800 y ODT existente

- Por otra parte, y como se concluye fácilmente con la simple observación de la anterior fotografía de referencia, la implantación de la ALTERNATIVA B de forma simétrica respecto de la ODT existente,

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P.D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

implicaría la demolición del tanque de tormentas existente (cuyo promotor fue en su día el propio organismo de cuenca CHMS). La ubicación del tanque de tormentas impide, sin lugar a dudas, el posible planteamiento lógico de ejecución para esta alternativa que, como parece obvio, debería de consistir en la implantación de cada nueva hinca DN1800 de forma simétrica respecto de la ODT existente. Por lo tanto, y tal y como ya se apuntaba en el análisis de la ALTERNATIVA A, el único planteamiento viable para acometer la construcción de esta ALTERNATIVA B pasaría por la construcción de sendas hincas DN1800 en la margen izquierda del río da Chanca (con las necesarias distancias respecto de la ODT existente y entre las mismas) lo que supondría, además de una afección al entorno de gran magnitud, *la asunción de una asimetría hacia la margen izquierda del cauce existente de muy difícil encaje* (y dicho sea de paso, de muy difícil explicación técnica).

- Además, y tal y como se ha justificado en apartados anteriores, la capacidad máxima unitaria para cada una de las conducciones contempladas en esta alternativa (2 x HA DN1800), alcanzaría los 17,73 m^3/s frente a los 16,30 m^3/s que ya estarían disponibles en la ALTERNATIVA A para la ODT existente, y con diferencias de máxima inundación aguas arriba que únicamente alcanzan los 5 cm. resultados estos que, a priori, nuevamente dificultan la justificación lógica que sustente la opción de obviar la existencia de la ODT disponible en la actualidad.

- Por último, en el supuesto caso de que se optase por abordar la ejecución de la ALTERNATIVA B, y según se apunta en la siguiente imagen, se plantea a continuación tanto el resumen de actuaciones necesarias como las preguntas que estas suscitarían desde el punto de vista de la fundamentación técnica para esta alternativa de solución:

  1. Demolición y retranqueo del tanque de tormentas existente en la margen derecha del río da Chanca

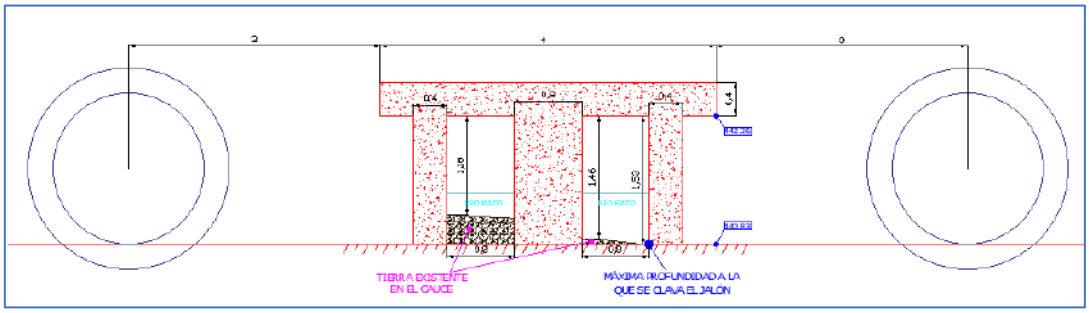
  2. Ejecución de sendas hincas HA DN1800 (la distancia mínima desde el eje del cauce existente, a cada una de las nuevas conducciones, no debería ser inferior a los 5 m. que se representan en la siguiente imagen.

  3. Ejecución de obras de modificación de márgenes y adecuación de obra de entrada a nueva ODT (como se aprecia en la imagen, se pasaría de un ancho de cauce actual, en el acceso a la ODT, que se incrementaría desde los 2,40 m. hasta los 11,80 m., con las implicaciones técnicas, normativas y ambientales que ello supondría).

  4. **¿Se cerraría entonces la ODT existente que está alineada perfectamente con el eje del cauce existente?**

  5. **¿Cuál de las nuevas conducciones DN1800 actuaría como canal de aguas bajas?**

  6. **¿Las obras de adecuación de entrada y salida para esta nueva ODT son compatibles con la realidad física del entorno?**



Superposición ALTERNATIVA B y ODT existente

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

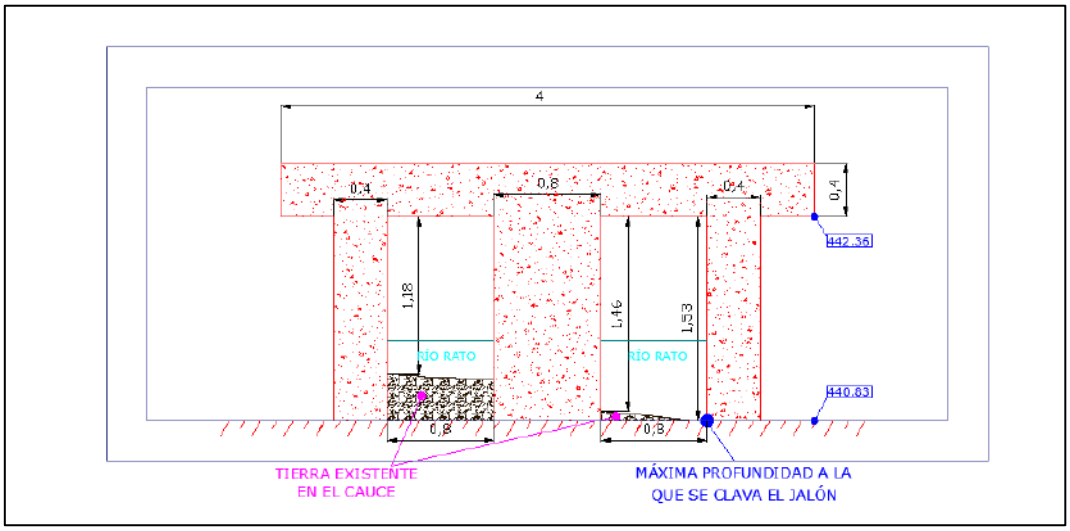
Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

ALTERNATIVA C

Siguiendo con la misma secuencia de análisis, se consideran los aspectos constructivos de relevancia para la ALTERNATIVA C que se relacionan a continuación:

- La ALTERNATIVA C, suponiendo que se ejecute de forma simétrica respecto de la ODT existente tal y como se representa en la siguiente imagen, supondría una importante restricción en cuanto al empleo de la ODT existente como canalización del río da Chanca durante el proceso de ejecución de las obras.

- La afirmación anterior se sustancia básicamente en que, tal y como se puede observar en la siguiente imagen, la implantación de la ALTERNATIVA C supondría la construcción de un marco de grandes dimensiones (6,00 x 2,50 m.) que "envolvería" la ODT existente siguiendo su rasante inferior con lo que, en términos constructivos, esto supondría de facto la demolición de la ODT existente en la medida del avance longitudinal de la nueva ODT considerada en esta alternativa.



Superposición marco ALTERNATIVA C y ODT existente

- Por otra parte, al igual que en el caso de la ALTERNATIVA B, la implantación de la ALTERNATIVA C de forma simétrica respecto de la ODT existente, conllevaría el estudio en detalle en cuanto a la necesidad de demolición (parcial) del tanque de tormentas existente (cuyo promotor fue en su día el propio organismo de cuenca CHMS).

- Además, y tal y como se ha justificado en apartados anteriores, la capacidad máxima para esta alternativa alcanzaría los 35,30 m^3/s; esto significa que, independientemente de que este resultado duplique la capacidad de la ODT existente (16,30 m^3/s que ya estarían disponibles en la ALTERNATIVA A para la ODT existente, y con diferencias de máxima inundación aguas arriba que únicamente alcanzan los 26 cm.), conlleva implícitamente el desperdiciar la capacidad de la infraestructura pre-existente si bien, este último criterio, no resulta limitante en cuanto al planteamiento de la alternativa a seleccionar.

8.6.3. CRITERIOS DE TIPO NORMATIVO

Una vez analizadas las singularidades propias de cada alternativa respecto de los criterios de CAPACIDAD HIDRÁULICA y de ASPECTOS CONSTRUCTIVOS, y siguiendo las recomendaciones de la CHMS (reunión de lanzamiento con Área Técnica y Comisaría de Aguas) para el establecimiento de los aspectos generales a contemplar en el desarrollo del presente estudio, procede en este punto analizar las referencias legislativas que se derivan de la "PARTE NORMATIVA DEL PLAN HIDROLÓGICO PARTE ESPAÑOLA DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA MIÑO-SIL" que, en su caso, resulten de aplicación para la concepción y validación de cada una de las alternativas de solución estudiadas.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P.D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

De este modo, profundizando en las referencias normativas contenidas en la ***"Sección IV. Medidas para la protección contra las inundaciones y las sequías", incluida en el apartado de DISPOSICIONES NORMATIVAS DEL PLAN HIDROLÓGICO (DH MIÑO-SIL),*** se procede a continuación a la recopilación y resumen de aquellas disposiciones que, a priori, resultarían de aplicación para el caso de estudio.

"SECCIÓN IV. Artículo 45. Medidas y normas a cumplir por las actuaciones a ejecutar en el dominio público hidráulico.

2. Puentes, obras de paso y obras de drenaje:

a). En zona urbana o urbanizable los puentes y obras de paso ***se dimensionarán para un caudal de avenida de periodo de retorno de 500 años****, de forma que no se ocupe la vía de intenso desagüe con terraplenes o estribos de la estructura de paso* ***y no se produzcan alteraciones significativas de la zona de flujo preferente.***

Hasta 30 m de luz libre tendrán un solo vano. Para luces mayores, tendrán un vano central con luz mayor de 25 m, y otro u otros dos con luces mayores de 6 m, evitándose apoyos intermedios sobre el cauce cuando el ancho de éste sea inferior a la luz del vano central del puente. En tramos de cauce rectos el vano de más de 25 m se situará en el centro, y en tramos curvos en el exterior de la curva.

El resguardo desde el nivel del agua para dicha avenida extraordinaria, a la cara inferior del tablero será, ***si es posible****, de un metro o mayor. En cualquier caso, en el punto más desfavorable del puente este resguardo será como mínimo igual al 2,5% de la luz del puente, y nunca inferior a 0,25 metros o al que resulte de interpolar entre los siguientes valores.*

Cuenca (km^2)	Resguardo (m)
5	0,25
10	0,50
25	0,50
50	0,50
100	0,75
1.000	1,00
>2.000	1,50

En las actuaciones que supongan la substitución de un puente, si las condiciones de urbanización del entorno no permitieran cumplir con los requisitos anteriores en cuanto a resguardos, se deberá garantizar que dichas actuaciones comportan una reducción significativa del riesgo de inundación existente y una mejora de la capacidad de desagüe.

g). En las obras de drenaje transversal de vías de comunicación, no se podrán añadir a una vaguada áreas vertientes superiores en más de un 10% a la superficie de la cuenca propia. Asimismo, si la cuenca drenada es superior a 0,50 km2, la sección será visitable, con una altura libre de al menos 2 m, y una anchura libre no inferior a 2,50 m. De igual modo, no podrán cortar el remonte de la fauna piscícola, en su caso. ***En casos debidamente justificados, se podrán reducir las citadas dimensiones, siempre y cuando el diseño propuesto permita el desagüe del caudal de avenida de 100 años de período de retorno.***

h). Con carácter general, se evitarán los cubrimientos y embovedados de cauces máxime cuando se prevean arrastres de sólidos y flotantes, salvo casos muy justificados. En el supuesto de que sea inevitable la cobertura de un cauce, si la cuenca drenada es superior a 0,50 km2, la sección será visitable, con una altura libre de al menos 2 m, y una anchura libre no inferior a 2,50 m. ***Se procurará que exista un pequeño cauce que garantice un calado mínimo en aguas bajas para el desplazamiento de la fauna piscícola y la capacidad de arrastre suficiente para la no deposición de arrastres. En casos debidamente justificados, se podrán reducir las citadas dimensiones, siempre y cuando el diseño propuesto permita el desagüe del caudal de avenida de 100 años de período de retorno.***

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

*i). **En la construcción de nuevas obras de paso se adoptarán las medidas correctoras necesarias para mantener la naturalidad del lecho fluvial, garantizando la continuidad longitudinal del mismo.** El titular de las infraestructuras reguladas en los apartados anteriores deberá realizar las labores de conservación necesarias que garanticen el mantenimiento de la capacidad de desagüe, de conformidad con el artículo 126.ter.6 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico".*

A la vista de la normativa de aplicación anteriormente relacionada para los casos de estudio que se deriva del citado PLAN HIDROLÓGICO (DH MIÑO-SIL), se procede a continuación al análisis de cada ALTERNATIVA estudiada respecto de los criterios normativos ya indicados.

ALTERNATIVA A

- Se dimensiona para una caudal de avenida de diseño de T=500 años.

- **Resguardos:** se detallan a continuación las singularidades que se entienden de aplicación, en cuanto a los criterios de RESGUARDO previsto en el Artículo 45.2.a, para la ALTERNATIVA A.

  1. El sumatorio de cuencas drenantes hacia la ODT existente para el caso más desfavorable (método racional empleado en el PXOM, que computa la totalidad de la cuenca hidrográfica en el punto de cierre sin tener en cuenta la realidad de urbanización actual en el exterior del Sector S.5-I), alcanza una superficie máxima de 2,425 km^2, valor este inferior al límite mínimo regulado en la normativa de referencia a afectos de resguardo mínimo de diseño (según el Artículo 45.2.a, para una cuenca de 5 km^2, sería preceptivo un resguardo mínimo de 0,25 m.).

  2. En la ALTERNATIVA A (al igual que en las restantes ALTERNATIVAS B y C), ***la ODT de paso bajo la vía ferroviaria funcionaría en carga a caudal máximo.***

  3. Sin perjuicio de lo anterior (funcionamiento en carga a caudal máximo), se entiende que los resultados obtenidos para la implantación de la ALTERNATIVA A, estarían en los dispuesto en el mismo Artículo 45.2.a en tanto en cuanto, a priori ***parece indiscutible que con esta ALTERNATIVA A "se garantiza que dichas actuaciones comportan una reducción significativa del riesgo de inundación existente y una mejora de la capacidad de desagüe".***

  4. Por último, y como factor de especial relevancia a efectos de interpretación normativa, conviene destacar que, tal y como se ha justificado en el apartado 8.5 del presente informe, a día de hoy, ***el organismo de cuenca (CHMS) ha informado favorablemente la solución prevista en el ALTERNATIVA C con lo que, en principio, se entiende que el criterio de resguardo no se considera limitante al amparo de la normativa vigente de aplicación*** (en la ALTERNATIVA C, el marco de 6,00 x 2,50 m. funciona en carga a caudal máximo).

- **Secciones visitables y cauces de aguas bajas:** se detallan a continuación las singularidades que se entienden de aplicación, en cuanto a los criterios de SECCIÓN VISITABLE previstos en los Artículos 45.2.g y 45.2.h, para la ALTERNATIVA A.

  1. El sumatorio de cuencas drenantes hacia la ODT existente supera los 0,5 km^2 con lo que, en estricta teoría, resultaría de aplicación la implantación mínima de una sección de 2,00 x 2,50 m.

  2. No obstante, en el mismo Artículo 45.2.g se indica que ***"en casos debidamente justificados, se podrán reducir las citadas dimensiones, siempre y cuando el diseño propuesto permita el desagüe del caudal de avenida de 100 años de período de retorno".*** De este modo, se entiende que para el caso de la ALTERNATIVA A, se dispondría del suficiente "abrigo normativo" en tanto en cuanto, si se introducen los criterios accesorios de CAPACIDAD HIDRÁULICA e IMPLICACIONES CONSTRUCTIVAS, parece que la "debida justificación" que exige el citado artículo se puede considerar asegurada.

  3. En cuanto a lo dispuesto en el Artículo 45.2.h (que exige la disposición de ***"un pequeño cauce que garantice un calado mínimo en aguas bajas para el desplazamiento de la fauna piscícola y la capacidad de arrastre suficiente para la no deposición de arrastres"),*** parece obvio el

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

indicar que, para el caso de la ALTERNATIVA A, esta premisa se cumple sin más discusión en tanto en cuanto, ***el hecho de preservar la ODT existente se puede interpretar como garantía suficiente de no interferencia sobre la normal movilidad de la fauna piscícola respecto de la situación actual.***

- **Naturalidad del lecho y continuidad longitudinal:** se detallan a continuación las singularidades que se entienden de aplicación, en cuanto a los criterios de NATURALIDAD DEL LECHO y CONTINUIDAD LONGITUDINAL previstos en el Artículo 45.2.i, para la ALTERNATIVA A.

  1. En la ALTERNATIVA A se mantiene la ODT existente con lo que, en cuanto al mantenimiento de la "naturalidad del lecho", se entiende que esta alternativa cumple esta premisa sin mayor discusión.

  2. En lo relativo a la "continuidad longitudinal", y al igual que en el análisis del criterio anterior, el hecho de mantener la ODT existente (que canaliza el flujo longitudinal del río de Chanca bajo la vía ferroviaria en una situación de flujo perfectamente establecida) se entiende como justificación de cumplimiento más que suficiente para este criterio normativo.

<u>ALTERNATIVA B</u>

- Se dimensiona para una caudal de avenida de diseño de T=500 años.

- **Resguardos:** se detallan a continuación las singularidades que se entienden de aplicación, en cuanto a los criterios de RESGUARDO previsto en el Artículo 45.2.a, para la ALTERNATIVA B.

  1. En la ALTERNATIVA B (al igual que en las restantes ALTERNATIVAS A y C), ***la ODT de paso bajo la vía ferroviaria funcionaría en carga a caudal máximo.***

  2. Al igual que el caso de la ALTERNATIVA A, se entiende que los resultados obtenidos para la implantación de la ALTERNATIVA B, estarían en los dispuesto en el mismo Artículo 45.2.a en cuanto a que ***"se garantiza que dichas actuaciones comportan una reducción significativa del riesgo de inundación existente y una mejora de la capacidad de desagüe".***

- **Secciones visitables y cauces de aguas bajas:** se detallan a continuación las singularidades que se entienden de aplicación, en cuanto a los criterios de SECCIÓN VISITABLE previstos en los Artículos 45.2.g y 45.2.h, para la ALTERNATIVA B.

  1. En cuanto a la justificación de implantación de una sección inferior a la mínima prevista, la ALTERNATIVA B se encontraría en lo ya dispuesto para la ALTERNATIVA A.

  2. En cuanto a lo dispuesto en el Artículo 45.2.h (que exige la disposición de ***"un pequeño cauce que garantice un calado mínimo en aguas bajas para el desplazamiento de la fauna piscícola y la capacidad de arrastre suficiente para la no deposición de arrastres"),*** en el caso de la ALTERNATIVA B, exigiría la selección de uno de los dos nuevos conductos HA DN1800 como canal de aguas bajas.

- **Naturalidad del lecho y continuidad longitudinal:** se detallan a continuación las singularidades que se entienden de aplicación, en cuanto a los criterios de NATURALIDAD DEL LECHO y CONTINUIDAD LONGITUDINAL previstos en el Artículo 45.2.i, para la ALTERNATIVA B.

  1. En la ALTERNATIVA B se elimina la ODT existente con lo que, en cuanto al mantenimiento de la "naturalidad del lecho", se entiende que esta alternativa no altera de forma injustificada el preceptivo concepto de mantenimiento de la "naturalidad pre-existente.

  2. En lo relativo a la "continuidad longitudinal", y tal y como se ha expuesto en apartados anteriores, la implantación de la ALTERNATIVA B desvirtúa por completo el concepto de "continuidad longitudinal", obligando a la adopción de modificaciones del flujo existente que,

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P.D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

en cualquiera de los casos, nada tienen que ver con la "solución de continuidad" que exige la normativa analizada.

ALTERNATIVA C

- Se dimensiona para una caudal de avenida de diseño de T=500 años.

- **Resguardos:** se detallan a continuación las singularidades que se entienden de aplicación, en cuanto a los criterios de RESGUARDO previsto en el Artículo 45.2.a, para la ALTERNATIVA C.

  1. Tal y como se ha justificado en el apartado 8.5 del presente informe, a día de hoy, ***el organismo de cuenca (CHMS) ha informado favorablemente la solución prevista en el ALTERNATIVA C con lo que, en principio, se entiende que el criterio de resguardo no se considera limitante al amparo de la normativa vigente de aplicación*** (en la ALTERNATIVA C, el marco de 6,00 x 2,50 m. funciona en carga a caudal máximo).

- **Secciones visitables y cauces de aguas bajas:** se detallan a continuación las singularidades que se entienden de aplicación, en cuanto a los criterios de SECCIÓN VISITABLE previstos en los Artículos 45.2.g y 45.2.h, para la ALTERNATIVA C.

  1. En cuanto a la justificación de implantación de una sección inferior a la mínima prevista, la ALTERNATIVA C se encontraría en lo dispuesto en la normativa en cuanto a las secciones mínimas aplicables (sección mínima de 2,00 x 2,50 m.)

  2. En cuanto a lo dispuesto en el Artículo 45.2.h (que exige la disposición de ***"un pequeño cauce que garantice un calado mínimo en aguas bajas para el desplazamiento de la fauna piscícola y la capacidad de arrastre suficiente para la no deposición de arrastres"),*** en el caso de la ALTERNATIVA C, habrá que implementar una solución que garantice el cumplimiento de esta premisa.

- **Naturalidad del lecho y continuidad longitudinal:** se detallan a continuación las singularidades que se entienden de aplicación, en cuanto a los criterios de NATURALIDAD DEL LECHO y CONTINUIDAD LONGITUDINAL previstos en el Artículo 45.2.i, para la ALTERNATIVA C.

  1. En la ALTERNATIVA C se elimina la ODT existente con lo que, en cuanto al mantenimiento de la "naturalidad del lecho", se entiende que esta alternativa no altera de forma injustificada el preceptivo concepto de mantenimiento de la "naturalidad pre-existente".

  2. En lo relativo a la "continuidad longitudinal", la implantación de la ALTERNATIVA C garantiza este concepto.

8.6.4. PROPUESTA DE ALTERNATIVA SELECCIONADA

Se propone como ALTERNATIVA SELECCIONADA la denominada en este estudio como ALTERNATIVA C.

A pesar de ello y teniendo en cuenta el análisis desarrollado en los apartados anteriores y teniendo en cuenta solamente los criterios de capacidad hidráulica y criterios constructivos, la alternativa A presenta los siguientes aspectos diferenciales que la harían merecedora de ser tenida en cuenta para proponerse como la alternativa seleccionada en caso de contar en el futuro con la necesaria compatibilidad con lo establecido en la legislación existente en materia de aguas, y quedasen justificadas las afecciones producidas por el presente Plan Parcial a los usos permitidos en terreno de dominio público hidráulico y en zonas de servidumbre, policía e inundables.

Criterios diferenciales de la alternativa A:

- **CRITERIO DE CAPACIDAD HIDRÁULICA / LÁMINA DE INUNDACIÓN**: tal y como se ha descrito ampliamente en apartados anteriores, y en función de las singularidades de diseño que comportan las condiciones de contorno para la ODT existente bajo la vía ferroviaria (recordar el factor límite que

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P.D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

supone la condición de desagüe aguas abajo), se observa que la relación entre el incremento de sección para la citada ODT contemplada en cada alternativa y la reducción de inundación máxima para T=500 años resultante, tiene un comportamiento "asintótico horizontal". Esto significa que, como se resume en la siguiente tabla, con un incremento del 200 % de sección entre las ALTERNATIVAS A y B se obtiene una mejora en forma de reducción de inundación del 0,62 % mientras que, con un incremento del 594 % de sección entre las ALTERNATIVAS A y C se obtendría una mejora en forma de reducción de inundación únicamente del 3,28 %.

ALTERNATIVA	SOLUCIÓN	NUEVA SECCIÓN (m^2)	INCREMENTO SECCIÓN (% respecto A)	REDUCCIÓN MÁXIMA INUNDACIÓN (% respecto de T500 actual)
A	ODT existente + 1 x HA DN1800	2.54	0.00%	-82.92%
B	2 x HA DN1800	5.08	200.00%	-83.54%
C	1 x HA 6,00 x 2,50 m.	15.00	590.55%	-86.20%

Resultados reducción máxima inundación T500 respecto de SITUACIÓN ACTUAL

- **CRITERIOS CONSTRUCTIVOS**: en cuanto a los aspectos constructivos inherentes a la ejecución de cada una de las alternativas estudiadas, a priori, parece poco discutible el hecho de que es la ALTERNATIVA A la que reúne las condiciones constructivas más favorables en función de las siguientes consideraciones:

  - La ALTERNATIVA A facilita la ejecución de la ampliación de capacidad para la ODT existente (añadiendo un tubo paralelo, por su margen izquierda, con sección 1 x HA DN1800), manteniendo el servicio del paso ya existente como canalización principal del río da Chanca (las alternativas B y C suponen la afección directa a la ODT existente).

  - La ALTERNATIVA A no implica la demolición y retranqueo del tanque de tormentas existente en la embocadura de la ODT por su margen derecha (como ya se ha visto, en el caso de las alternativas B y C, se hace necesaria la demolición y retranqueo de esta infraestructura pre-existente, promoción a su vez de la CHMS, con las implicaciones que ello supondría).

  - La ALTERNATIVA A minimiza la afección sobre el cauce existente del río da Chanca a su llegada a la embocadura de la ODT bajo la vía ferroviaria; en la situación actual, el cauce se adapta perfectamente al ancho de la ODT existente con lo que, aun ejecutando la ampliación de capacidad mediante 1 x HA DN1800 por su margen izquierda, la afección al cauce principal existente se puede considerar prácticamente inexistente.

En cualquier caso, independientemente de los razonamientos anteriores en cuanto a las características concretas para una alternativa opcional, a la vista de todo lo anteriormente expuesto, y teniendo en cuenta el análisis desarrollado en los apartados anteriores en cuanto a los criterios de capacidad hidráulica, criterios constructivos y criterios normativos, **se propone como ALTERNATIVA SELECCIONADA la denominada en este estudio como ALTERNATIVA C,** por motivos diferenciales normativos, al ser esta opción la única que ha sido informada en sentido favorable por el organismo de Confederación Hidrográfica del Miño-Sil a fecha 28/02/2019 en cuanto al estudio de "Elaboración de Mapas de Peligrosidad y Riesgo de Inundación necesarios para la aprobación del PXOM de Lugo.

9. CONCLUSIONES

A lo largo del presente documento se estiman haber establecido claramente las bases de partida necesarias para centrar los objetivos del estudio, justificando adecuadamente todos los datos de partida en cuanto a datos de entrada y criterios generales de diseño a aplicar en el desarrollo del presente "*ESTUDIO HIDROLÓGICO – HIDRÁULICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA INUNDABILIDAD DE AFECCIÓN AL PLAN PARCIAL S.5-I*".

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P.D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

Fijados los datos de partida, y desarrollada conveniente su justificación y relación con los correspondientes datos de diseño empleados en la determinación de las áreas de inundación según el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI), se han desarrollado ampliamente las características concretas del software empleado como base para el desarrollo de este estudio (Infoworks ICM), consiguiendo una herramienta de contrastada fiabilidad para su empleo en el análisis de la situación actual en la zona de estudio, prestando especial atención a los resultados obtenidos en el entorno de la ODT existente bajo la vía ferroviaria al Sur del Sector S.5-I que, como se ha demostrado ampliamente, constituye el elemento limitante para la zonificación de las afecciones por eventos extremos de inundación.

Como se ha justificado ampliamente en el apartado 4 del presente documento, en el presente estudio se ha profundizado en la mejora de calidad del MDT precedente (que delimita las zonas inundables según el SNCZI) siendo esta la base para obtener un grado de detalle en los resultados de inundación que, sin perjuicio de la validez de los mapas oficiales actualmente vigentes, proporcionen una visión suficientemente detallada tanto sobre la problemática abordada como sobre la validez y veracidad de los resultados obtenidos en el presente estudio.

En cuanto a las simulaciones de alternativas efectuadas para el escenario más restrictivo de diseño (T=500 años de período de retorno), la primera conclusión que se puede extraer es que, como claramente se ha justificado, se observa que la relación entre el incremento de sección para la ODT bajo la vía ferroviaria contemplada en cada alternativa y la reducción de inundación máxima para T=500 años resultante, tiene un comportamiento "asintótico horizontal" en función de la condición limitante de desagüe aguas debajo de la misma (véase apartado 8.6.4).

Como conclusión final, teniendo en cuenta que tanto que el método de simulación empleado en el presente estudio es similar al utilizado en el SNCZI (modelos de flujo bi-dimensional) como que los caudales punta de diseño son exactamente iguales se entiende que, como se ha justificado ampliamente a lo largo del presente estudio, la viabilidad del Sector S.5-I en términos de afecciones por inundabilidad depende únicamente de la capacidad de desagüe de la ODT existente bajo la vía ferrovía al Sur del Sector, proponiéndose como conclusión del presente estudio la ejecución de la denominada como ALTERNATIVA C en tanto en cuanto, se justifica que la citada ALTERNATIVA C, es la única que cumple estrictamente con las condiciones técnicas, constructivas y normativas de imperativa observación con respecto a las restantes alternativas sometidas a estudio.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

En Lugo, marzo de 2023

D. Manuel Quintana López
Ingeniero, Autor del Estudio

Eulogio Soto Jurado
Arquitecto
Nº colegiado 5008 C.O.A.G.

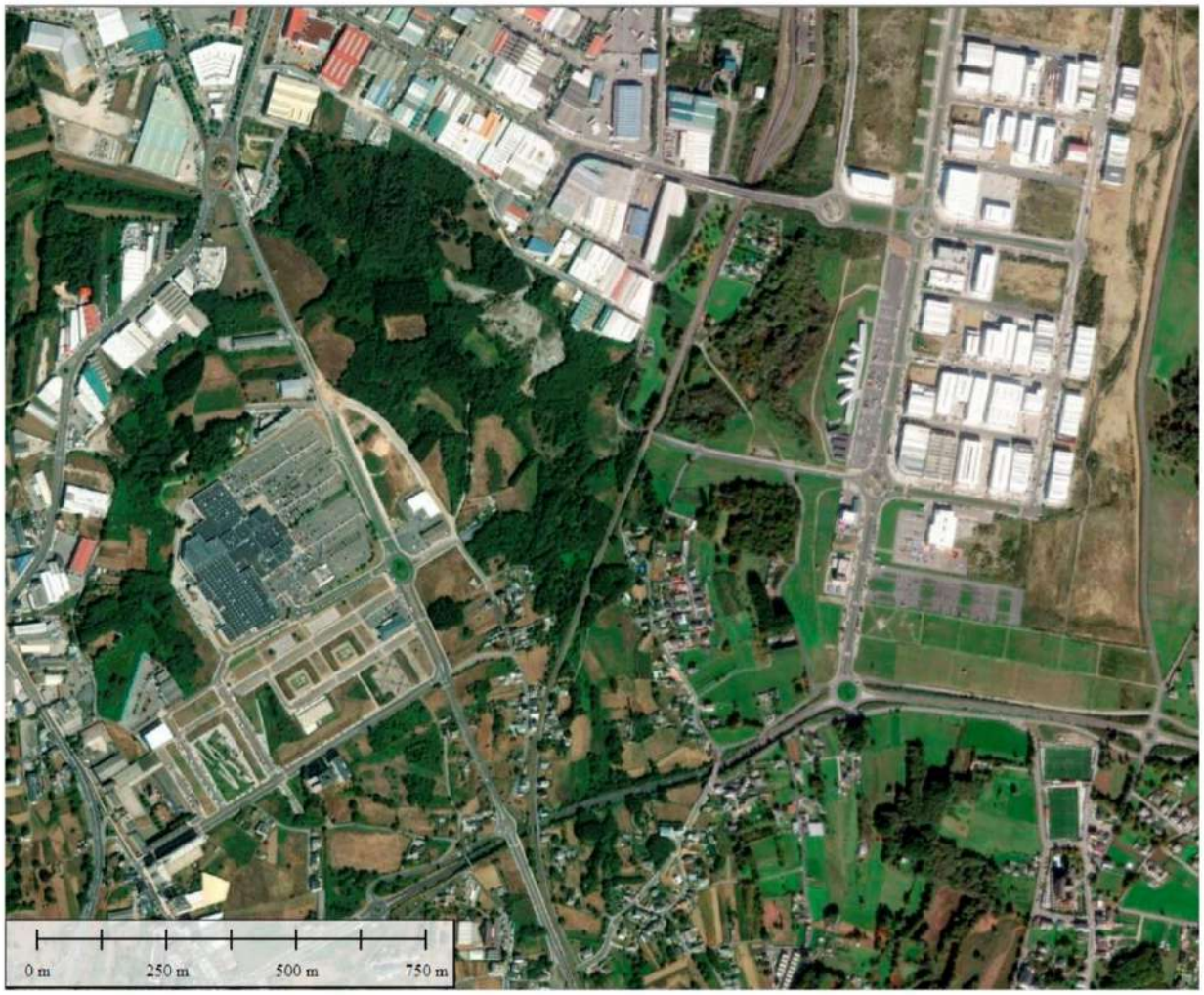
Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P.D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

9.1. APÉNDICE Nº1. DOCUMENTACIÓN TOPOGRÁFICO

TOPCAD Ingeniería S L

Estudio topográfico LIDAR Parque Empresarial O Ceao, Lugo.



Avento

Cliente: AVENTO CONSULTORES INMOBILIARIOS S.L.
Camiño Real Nº115 Bajo, 27004, Lugo
CIF: B-27.490.119

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

TOPCAD Ingeniería S L

1. Datos de partida:

Para el presente estudio se partió de los datos PNOA LiDAR de los años 2009 y 2016. Con una densidad de 0.5 puntos por m^2 y 1 punto por m^2 respectivamente.

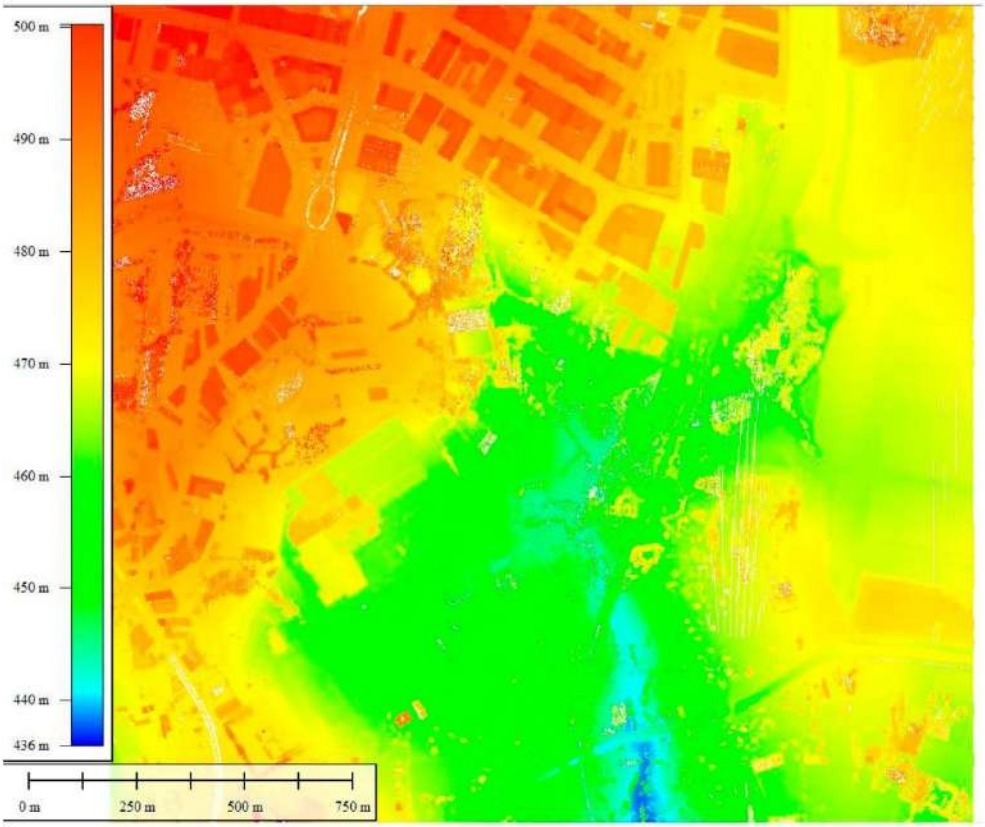


Fig.1 Archivo LiDAR del año 2009

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

TOPCAD Ingeniería S L

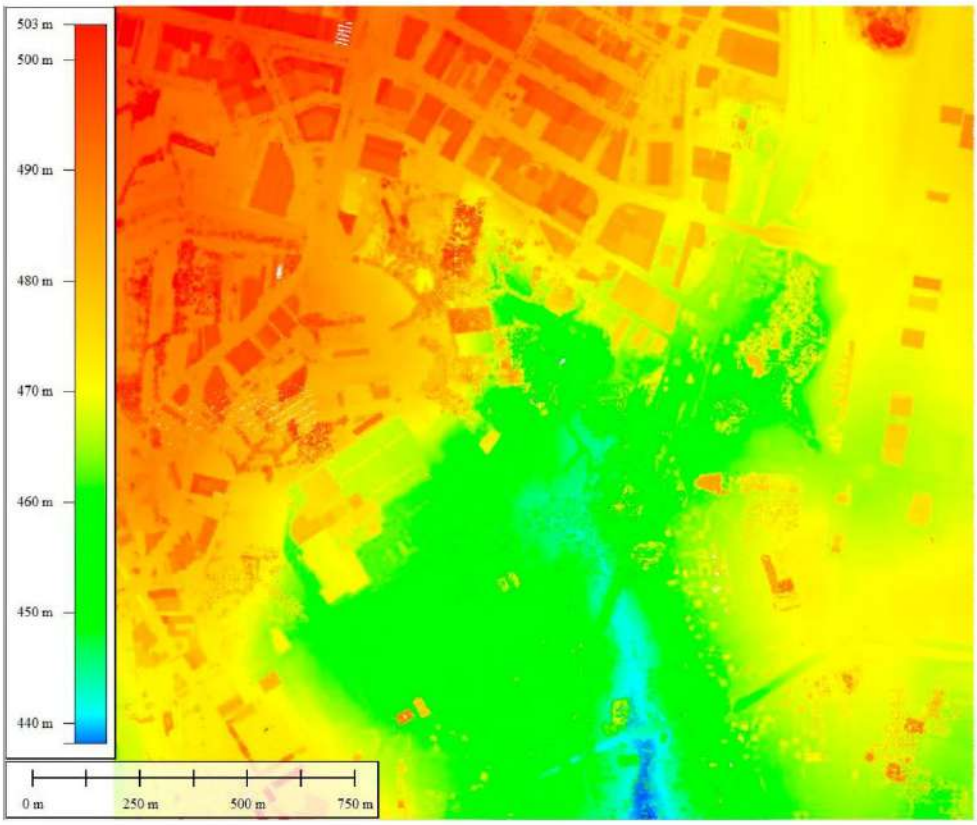


Fig. 2. Archivo LiDAR del año 2016

2. Fusión de los datos:

Con el fin de obtener una mayor densidad de puntos en las zonas vegetadas se llevó a cabo la fusión de los dos conjuntos de datos mencionados en el punto anterior. Antes de esta fusión se llevó a cabo un control calidad para detectar discrepancias altimétricas y planimétricas entre ambos conjuntos de datos en zonas aptas para este propósito como carreteras, explanadas, edificaciones.... Se detectó una diferencia de unos 5cm en cota, que fue ajustada. También se detectó en la zona occidental del área de estudio movimientos de tierras así como construcción de carreteras y edificaciones. En estas zonas se conservaron los datos de 2016.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

TOPCAD Ingeniería S L

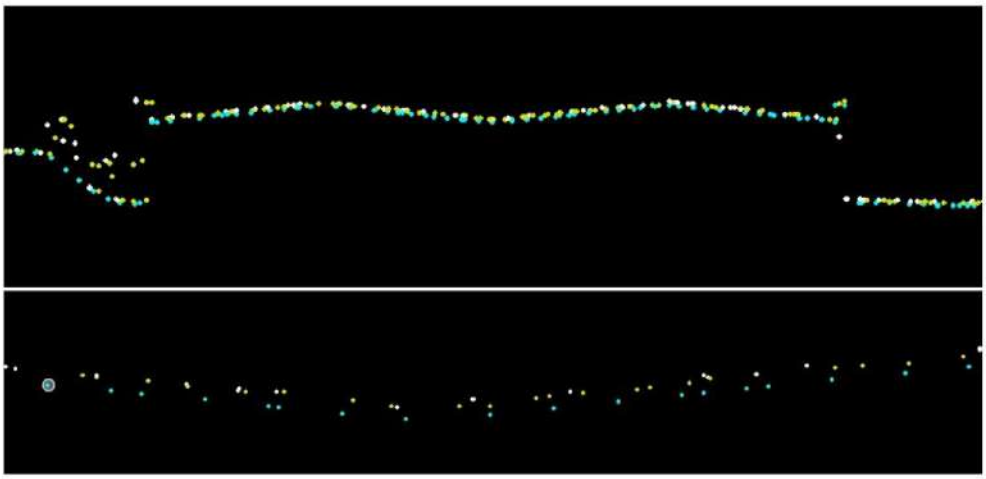


Fig. 3. Diferencia altimétrica entre los dos conjuntos de datos. 2009 Azul. Amarillo y Blanco 2016.

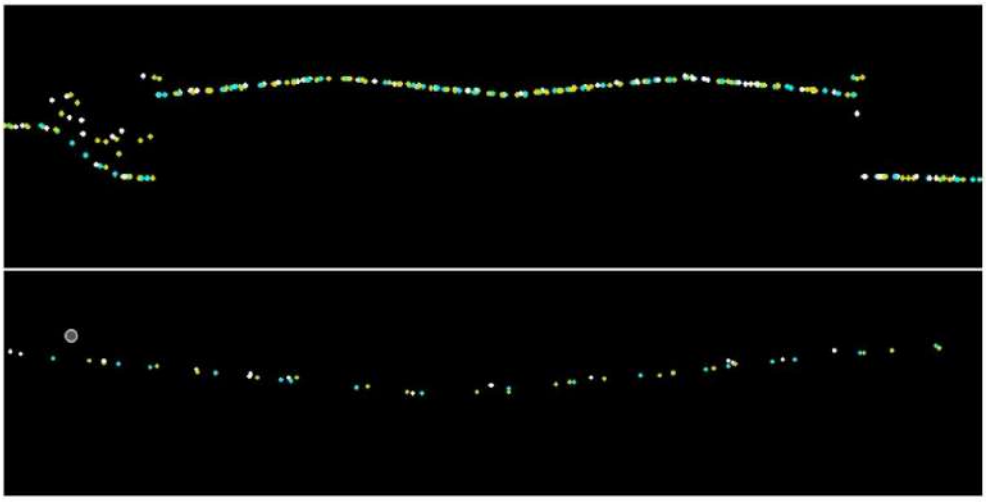


Fig. 4. Datos de 2009 y 2016 ajustados altimétricamente.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

TOPCAD Ingeniería S L

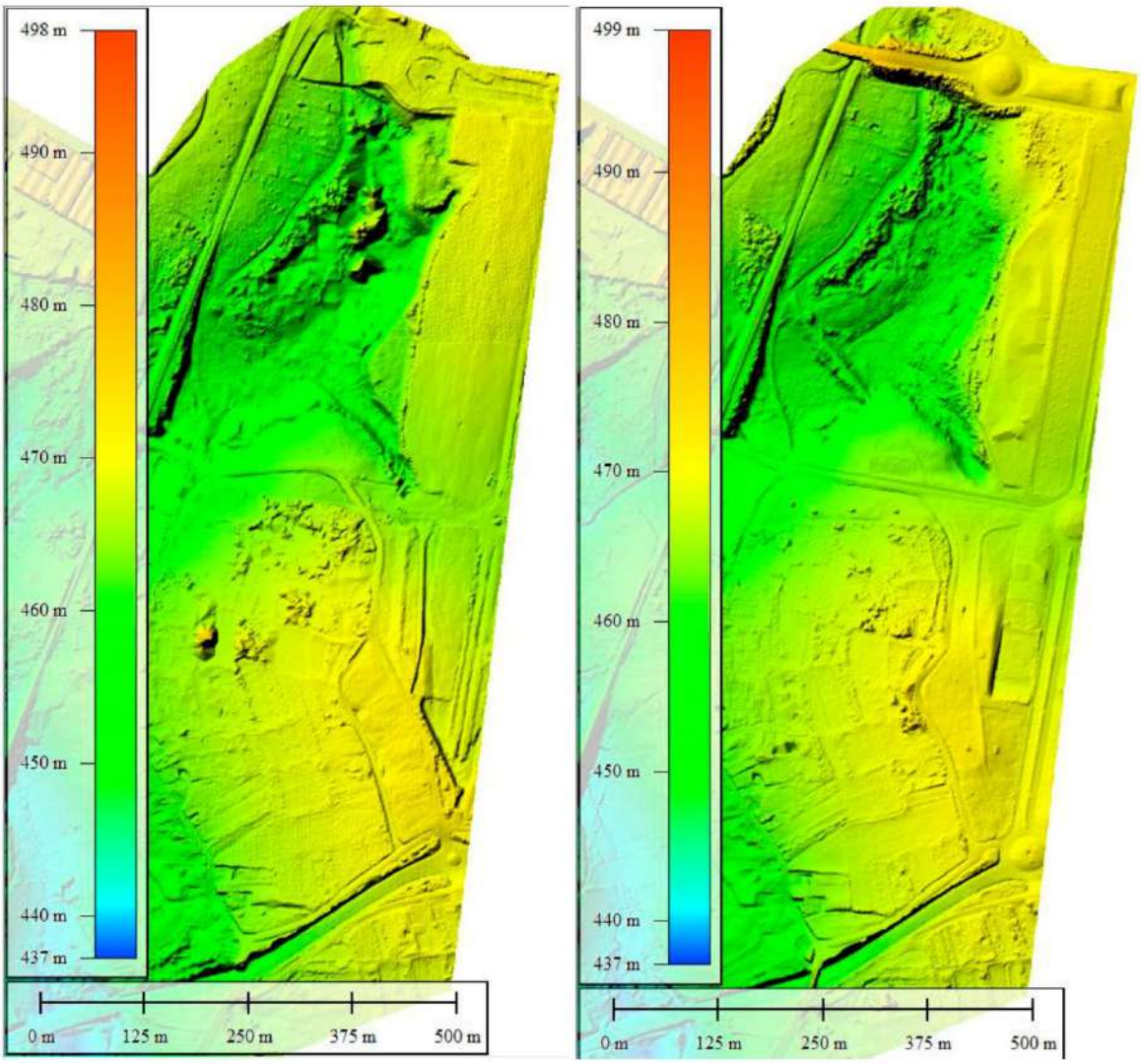


Fig. 4. Zona occidental del área de estudio en la que se detectan los movimientos de tierras y construcción de carreteras y edificaciones. Izquierda 2009, derecha 2016.

3. Filtrado de datos:

Los archivos fueron filtrados de forma semi-automática utilizando Macros desarrolladas por Topcad para este propósito en el software Terra Solid. Las Macros son rutinas de filtrado que aplican parámetros matemáticos a la nube de puntos (dispersión, normales, triangulaciones...) con el fin de discernir los diferentes elementos presentes en las mismas. Los archivos .las clasificados semi-automáticamente fueron editados para conseguir un porcentaje de errores mínimo. Al existir cartografía y ortofotos de la zona, se utilizaron como referencia para la edición. Se hizo especial hincapié en los puntos que presentaron mayores deficiencias: pasos elevados de infraestructuras, puentes, alcantarillas, así como zonas de vegetación densa y los cauces. Para estos procesos de edición se utilizaron los Programas Terra Scan y Global Mapper. Para ayudarnos en las tareas de filtrado utilizamos:

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

TOPCAD Ingeniería S L

- Perfiles a lo largo de los datos
- Modelo digital del terreno y curvas de nivel

Las siguientes clases fueron delimitadas en el proceso de clasificación:

01_Unclassified (temporal).

02_Ground (Terreno).

03_Low Vegetation (Vegetación Baja) de Ground a 30 cm.

04_Medium Vegetation (Vegetación Media) de 30 cm a 2 m.

05_High Vegetation (Vegetación Alta) por encima de 2 m.

06_Buildings (Edificios).

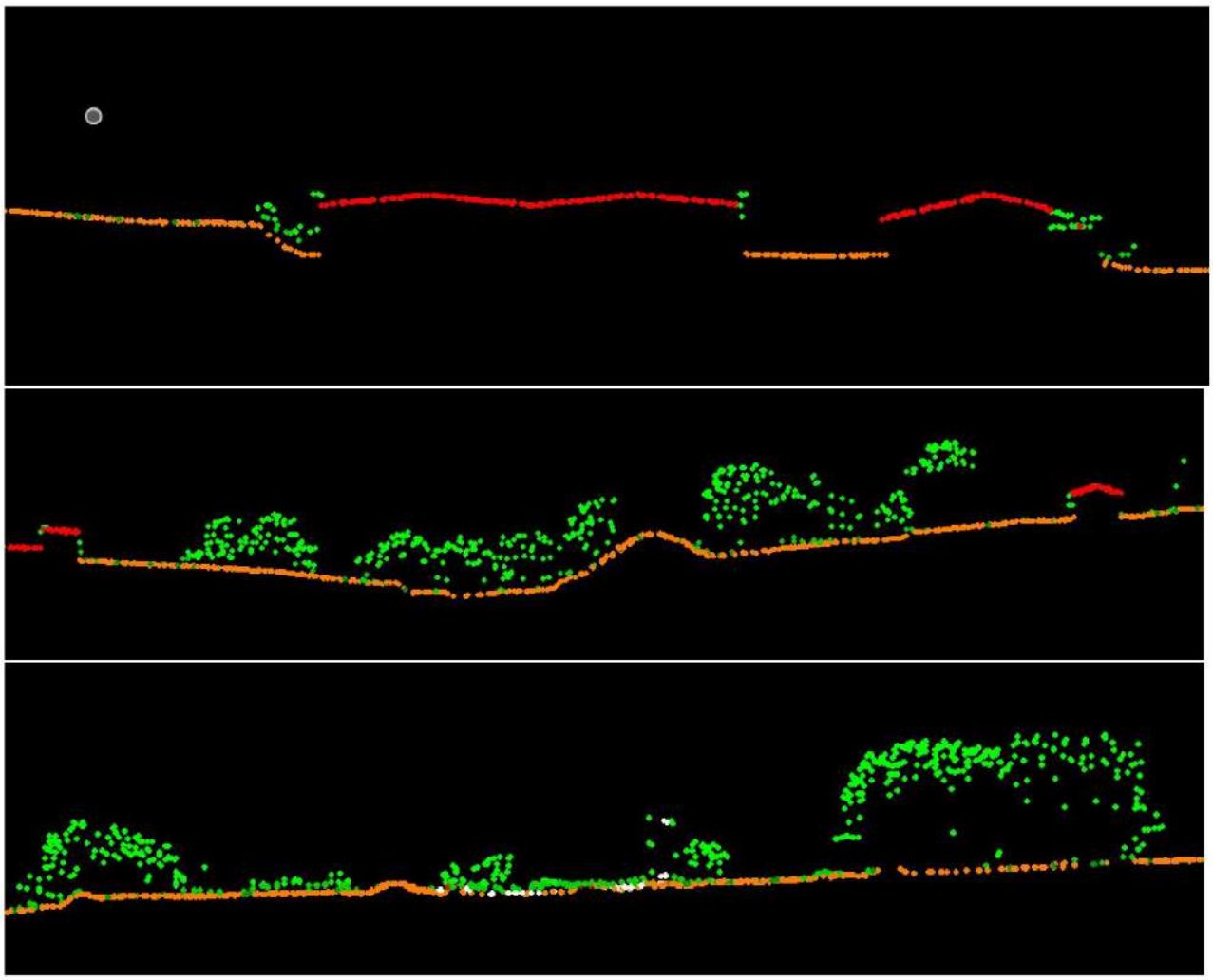


Fig. 5. Ejemplos de perfiles de datos filtrados. En rojo edificaciones, en verde vegetación y en naranja "terreno".

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Gobierno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

TOPCAD Ingeniería S L

4. Generación de M.D.T:

Finalmente interpolando, por medio de Global Mapper, los puntos clasificados como terreno, se obtuvo el modelo digital del terreno con una resolución de 1x1 m.

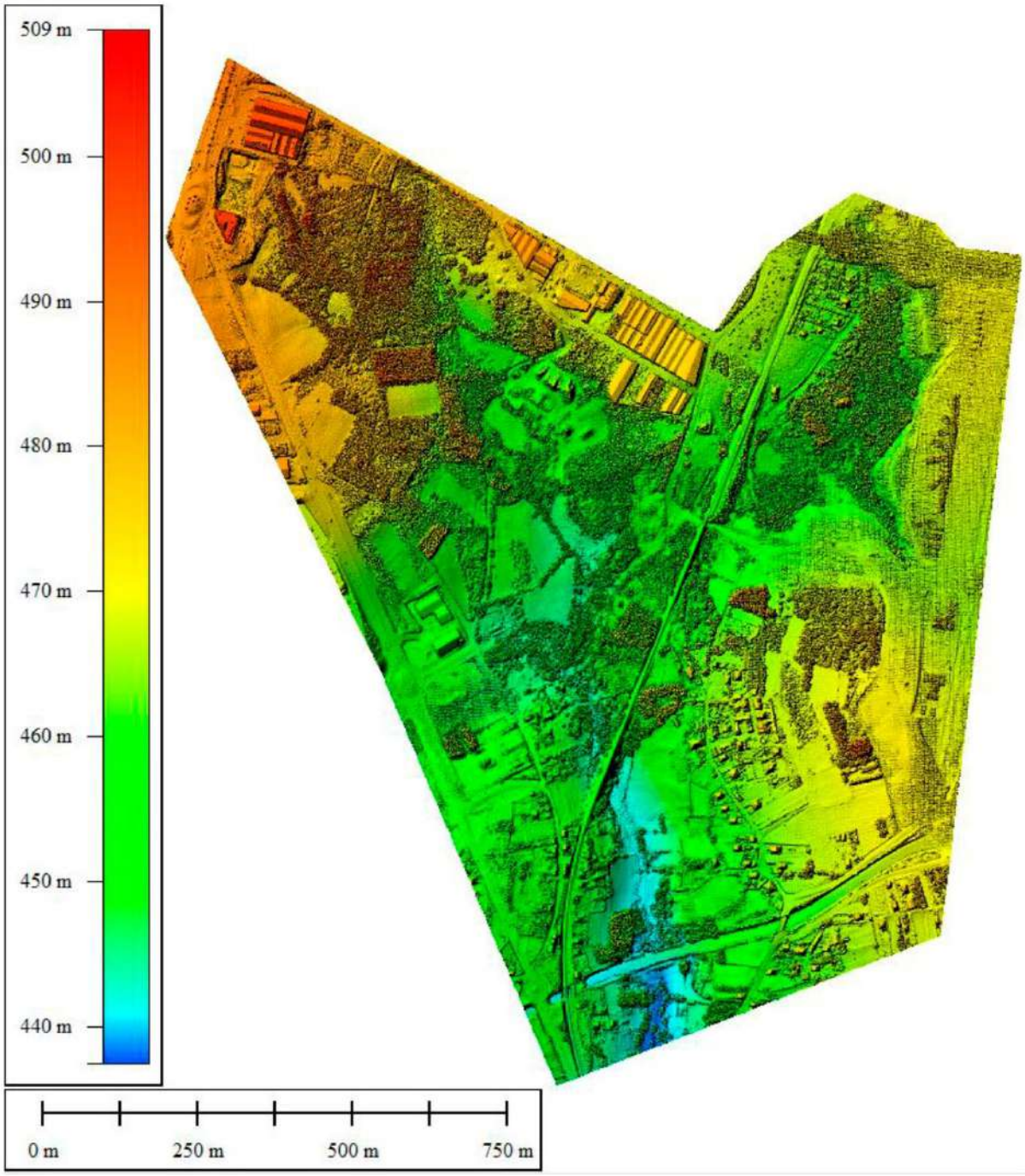


Fig. 7. MDS (Modelo digital de superficies). Malla de 1x1 m con todos los puntos.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez

Documento asinado dixitalmente
por José Mª González Rodríguez o día 10/08/2023

TOPCAD Ingeniería S L

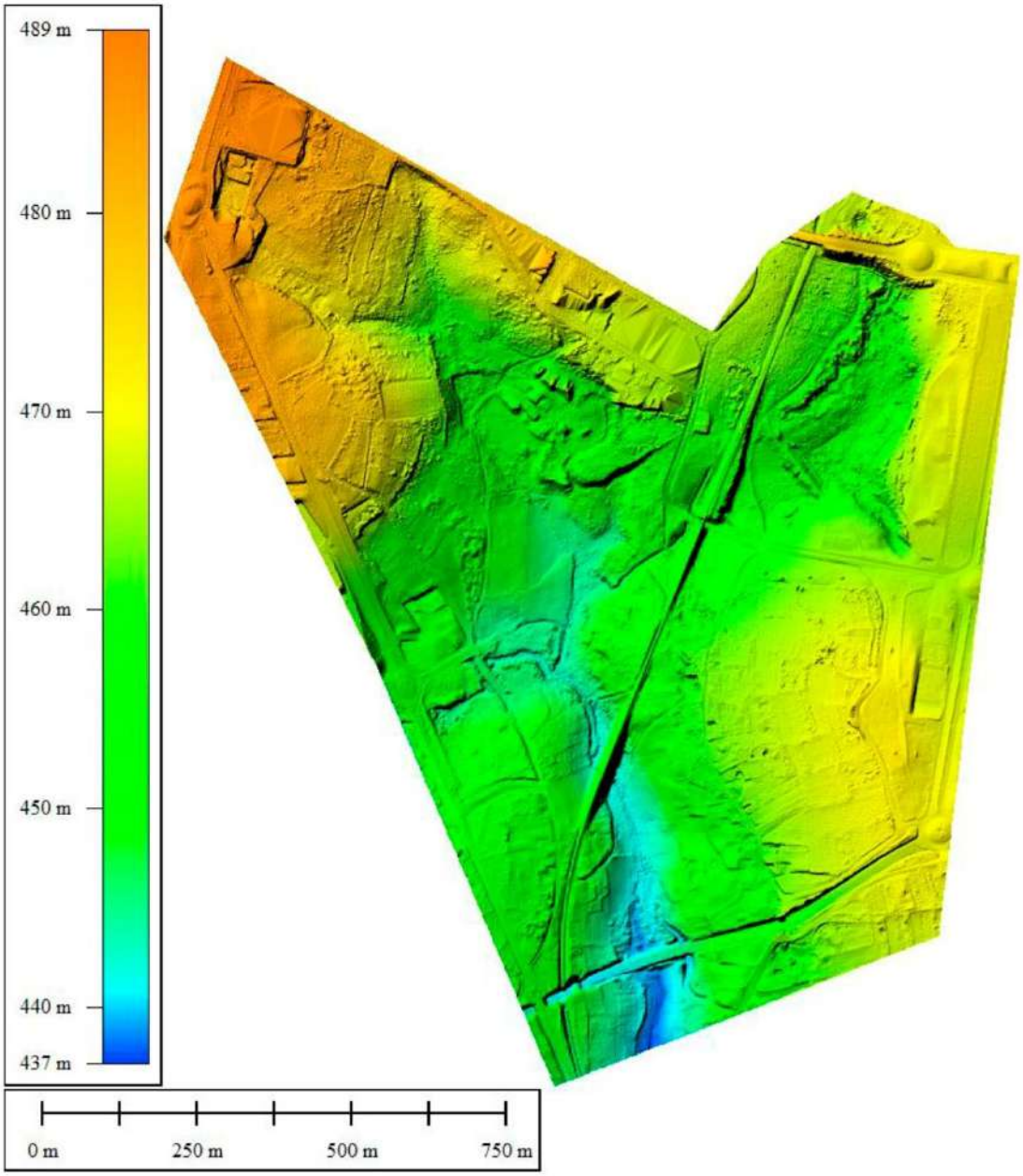


Fig. 8. MDT (Modelo digital de terreno). Malla de 1x1 m interpolación solo con los puntos filtrados como terreno.

El MDT fue comparado con datos GNSS RTK disponibles, tomados en campo. Este MDT se entregó en formato XYZ.

Aprobado inicialmente por acordo
da Xunta de Goberno Local con data do 24-05-2023,
O Secretario, P. D.
Asdo.: José Mª González Rodríguez