

APENDICE VI

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

ARROYO SAN CARLOS EN SECTOR

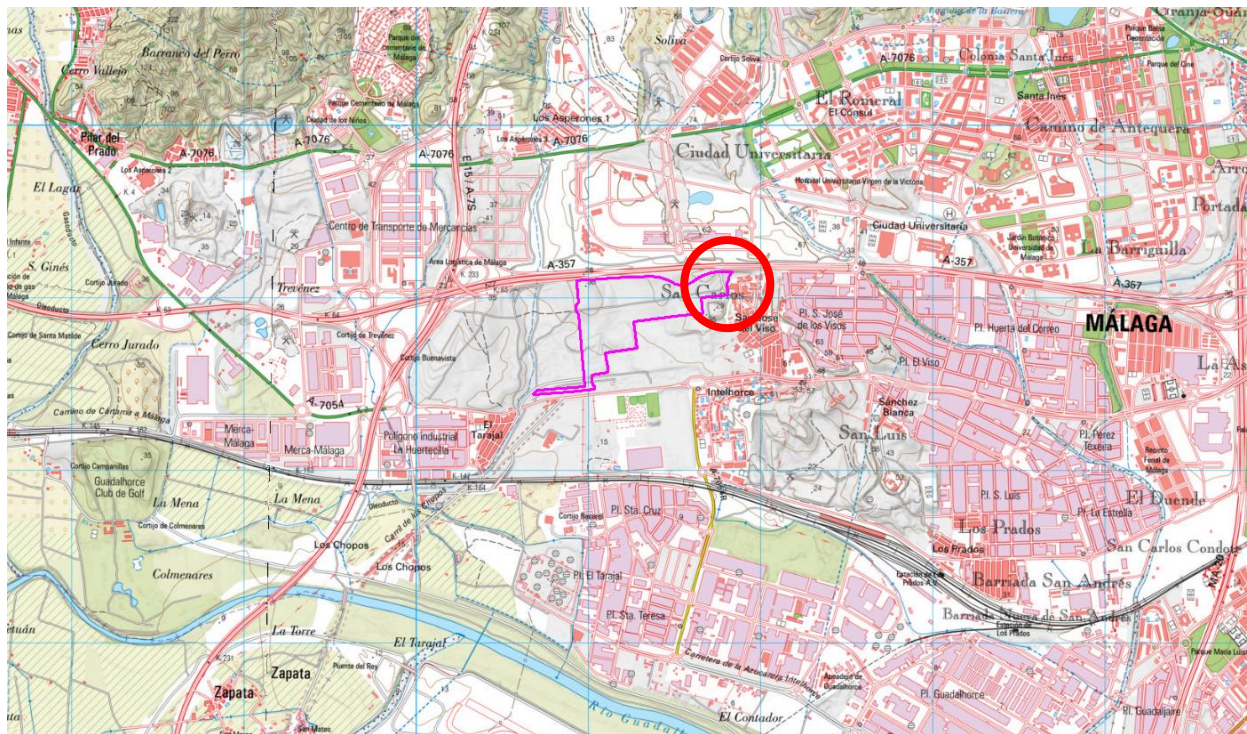
“BUENAVISTA PA – T.2” MÁLAGA.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	2
1.1	ANTECEDENTES.....	2
1.2	NORMATIVA LEGAL.....	4
2	DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO.....	10
2.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	10
3	CONCLUSIONES.....	13
4	DOCUMENTOS QUE COMPONEN EL ESTUDIO.....	14
5	ANEJO FOTOGRÁFICO.....	15
5.1	INTRODUCCIÓN.....	16
6	ANEJO HIDROLÓGICO.....	19
6.1	INTRODUCCIÓN.....	20
6.2	CLIMATOLOGÍA.....	20
6.3	PLUVIOMETRÍA.....	21
6.4	HIDROLOGÍA.....	24
6.5	CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS EN CUENCAS PEQUEÑAS. MÉTODO RACIONAL.....	26
6.6	RESULTADOS.....	34
7	ANEJO HIDRÁULICO.....	35
7.1	INTRODUCCIÓN.....	36
7.2	METODOLOGÍA APLICADA.....	36
7.3	RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE LOS MISMOS.....	38
7.4	CONCLUSIÓN.....	50

1 INTRODUCCIÓN.

El arroyo San Carlos es uno de los cauces que componen la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Se trata de un afluente del arroyo Merino que a su vez es afluente del Guadalhorce por la margen izquierda en su curso bajo, próximo a su desembocadura. Tiene su inicio aguas arriba de la A-357 en la zona de la Universidad y comparte divisoria de aguas con el arroyo de las Cañas antes de insertarse en la trama urbana. Discurre por el Nordeste del sector PA-T.2 "Buenavista" del PGOU de Málaga.



1.1 ANTECEDENTES.

Uno de los principales objetivos de un estudio de delimitación de zonas inundables como el aquí presentado es la ordenación hidráulica de las vegas de inundación de los ríos, de forma que se consiga compatibilizar su empleo para el desarrollo socio-económico del territorio con la necesaria prevención de daños por avenidas. En este sentido, si bien las zonas urbanas consolidadas, que presenten un riesgo apreciable de afección por avenidas deben implicar, en general, la ejecución de obras de defensa que eviten en el futuro la pérdida de vidas humanas o la existencia de daños económicos importantes. Las zonas actualmente no ocupadas son susceptibles de ser planificadas en función de sus riesgos inherentes. Por ello, para una adecuada ordenación es preciso obtener la zonificación fluvial en el ámbito de estudio.

En relación con los antecedentes, destacamos en los siguientes epígrafes los aspectos más relevantes de la actuación.

1.1.1 Planes de Gestión de Riesgos de Inundación.

En relación a los antecedentes hasta el momento presente podemos destacar que, en 2002 el gobierno autonómico publica el Plan de Prevención de Avenidas e Inundaciones en Caudales Urbanos Andaluces (PCAI), mediante Decreto 189/2002. En dicho plan para Málaga la lista de arroyos es numerosa, con los cauces como Guadalhorce, Jaboneros, Toquero, Boticario, Gálica o de Las Cañas entre otros. Todos calificados como punto de riesgo C, B o A, según corresponda.

Todos ellos discurren por diferentes partes del núcleo urbanos de Málaga distintos al ámbito de la parcela, por tanto, no existen cauces contemplados en el PCAI en la zona de actuación.

En diciembre de 2012 la Agencia Andaluza del Agua, hoy Agencia de Medio Ambiente y Agua, redacta y publica el denominado Estudio Hidráulico para la prevención de inundaciones y la Ordenación de la cuenca del río Guadalhorce, (en adelante EHOCA) el cual persigue:

- La delimitación de zonas inundables para distintos periodos de retorno.
- La identificación de los niveles de riesgo de acuerdo con los criterios de la Directriz Básica de Planificación de Protección civil ante el riesgo de inundaciones.
- La identificación de núcleos urbanos con riesgo de inundaciones y su nivel de riesgo de acuerdo a los niveles establecidos en el Plan de Prevención de avenidas e inundaciones en cauces urbanos andaluces.
- El inventario de infraestructuras y edificaciones en zonas inundables rurales.
- Hacer una propuesta de aptitud de los terrenos inundables para los distintos usos.
- Estudiar las actuaciones de medida y carácter preventivo que eliminen o reduzcan la problemática de las inundaciones.

Este documento, estudia el cauce del arroyo Merino y de Las Cañas, aunque el tramo estudiado no alcanza los terrenos de la finca de estudio. Las conclusiones del EHOCA sirve de base técnica para la posterior delimitación de las zonas inundables de los Mapas de Peligrosidad y de riesgo de inundación.

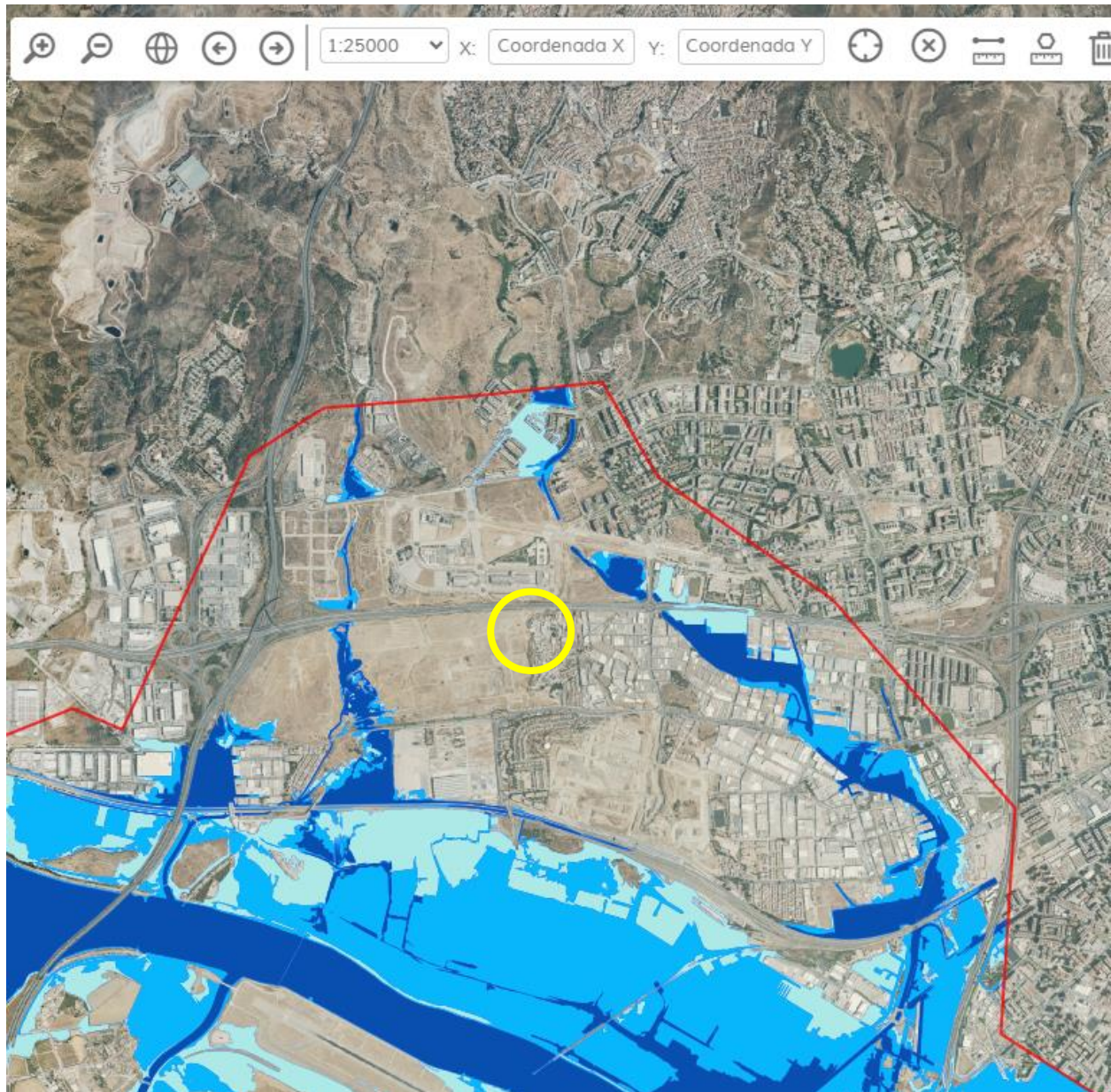
Con respecto a la legislación sectorial en materia de aguas, la Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo, tiene como objetivo el establecimiento de un marco común europeo para la gestión de las inundaciones. Las determinaciones de dicha directiva fueron transpuestas al marco legislativo nacional mediante RD 903/2010 de evaluación y gestión de riesgos de inundación. La directiva obliga a los organismos de cuenca de los Estados miembros a la elaboración de los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRI) de forma cíclica, en tres fases:

- Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI).
- Elaboración de Mapas de Peligrosidad y de Riesgo de inundación (MPRI).
- Redacción de los PGRI.

Para las áreas de riesgo potencial significativo de inundación (ARPSI) delimitadas en la fase de EPRI, se laboran los MPRI que delimitan las zonas inundables y señalan los daños potenciales que la inundación puede causar al medio físico, a la población y sus actividades en los escenarios de alta, media y baja probabilidad.

Tras la aprobación de la EPRI de las demarcaciones internas andaluzas, en 2014 se sometieron a información pública el primer ciclo de los Mapas de Peligrosidad y Riesgo de inundación. El primer ciclo de Planificación comprende el periodo desde el 2016-2021. En la actualidad nos encontramos inmersos en el segundo ciclo de PGRI 2021-2027.

Recientemente, el 16 de abril de 2021 se publica en el BOJA de 26 de abril el acuerdo de la Dirección General de Planificación y Recursos Hídricos, por el que se abre el periodo de información y consulta pública sobre el segundo ciclo de los Mapas de Peligrosidad y Riesgo de inundación de la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas.



Láminas de inundación de T500 años, T100 años y T10 del MPRI 2º ciclo. Fuente Visor MPRI 2º ciclo.

Mediante el visor de la cartografía de inundación que la administración hidráulica ha puesto a disposición para su consulta, se muestran los mencionados mapas de peligrosidad y riesgo. Como podemos observar en la figura anterior, el ámbito de estudio no se encuentra entre los cauces que conforman la cartografía de peligrosidad y riesgo de inundación. Por lo tanto, se hace necesaria la estimación de la zonificación fluvial y las zonas inundables en el ámbito del Sector.

1.2 NORMATIVA LEGAL

La normativa que rige los usos compatibles en las zonas inundables viene desde diferentes estamentos. Varias son las administraciones con competencias en la materia que han legislado al respecto.

Así, por ejemplo, definir con claridad los límites del dominio público hidráulico y sus zonas asociadas, con objeto no sólo de proteger dicho dominio sino también de poder evitar o disminuir riesgos potenciales en áreas contiguas de propiedad privada es fundamental en estos casos. La definición sobre planos de las líneas de agua para facilitar la determinación del dominio público hidráulico y de las zonas inundables que

corresponden a avenidas con distintos períodos de retorno, es fundamental como paso previo a futuras actuaciones de Ordenación Territorial en conjunción con otros Entes como Comunidades Autónomas y Ayuntamientos.

En el texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2001 de 20 de julio, se definen los elementos que constituyen el dominio público hidráulico (DPH).

Artículo 2 Definición de dominio público hidráulico.

Constituyen el dominio público hidráulico del Estado, con las salvedades expresamente establecidas en esta Ley:

- a) Las aguas continentales, tanto las superficiales como las subterráneas renovables con independencia del tiempo de renovación.*
- b) Los cauces de corrientes naturales, continuas o discontinuas.*
- c) Los lechos de los lagos y lagunas y los de los embalses superficiales en cauces públicos.*
- d) Los acuíferos, a los efectos de los actos de disposición o de afección de los recursos hidráulicos.*
- e) Las aguas procedentes de la desalación de agua de mar.*

Así, el DPH comprende tanto el agua como la superficie por la que discurre o la contiene.

A colación de lo anterior se trae la definición del artículo 4.1

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

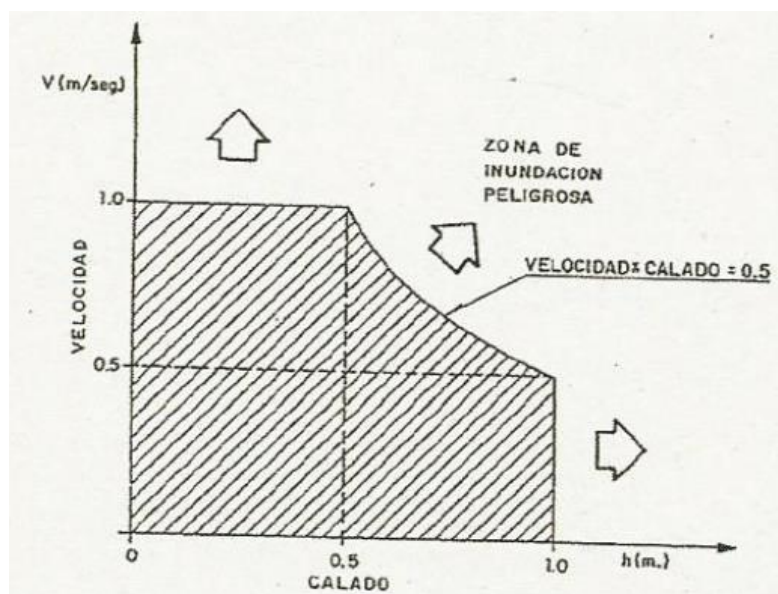
De acuerdo con el artículo 6 del RDPH se define la zona de policía y en el 9.2 se define la zona de flujo preferente:

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

La definición anterior, introduce dos nuevos conceptos, que son la Zona de Inundación Peligrosa (ZIP) y la Vía de Intenso Desagüe (VID). A continuación, se define la ZIP.

A los efectos de la aplicación de la definición anterior, se considerará que pueden producirse graves daños sobre las personas y los bienes cuando las condiciones hidráulicas durante la avenida satisfagan uno o más de los siguientes criterios:

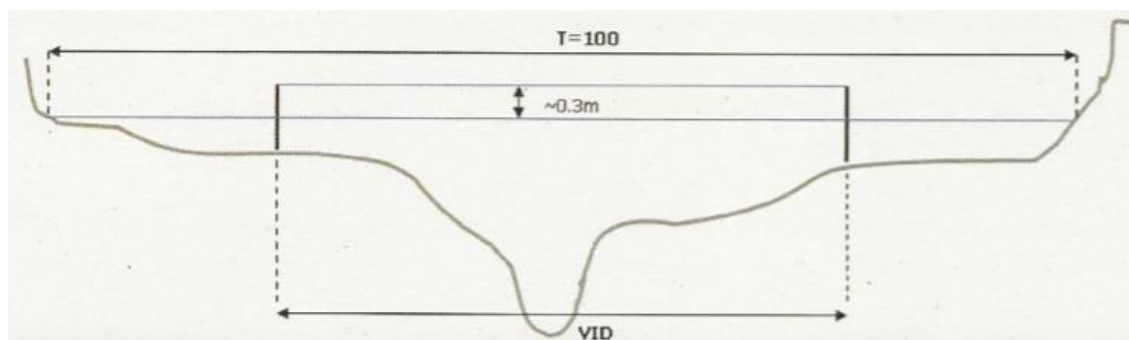
- Que el calado sea superior a 1 m.*
- Que la velocidad sea superior a 1 m/s.*
- Que el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m²/s.*



Criterio para la delimitación de la peligrosidad. Fuente: CEDEX 1991

En lo siguiente se define la VID.

Se entiende por vía de intenso desagüe la zona por la que pasaría la avenida de 100 años de periodo de retorno sin producir una sobreelevación mayor que 0,3 m, respecto a la cota de la lámina de agua que se produciría con esa misma avenida considerando toda la llanura de inundación existente. La sobreelevación anterior podrá, a criterio del organismo de cuenca, reducirse hasta 0,1 m cuando el incremento de la inundación pueda producir graves perjuicios o aumentarse hasta 0,5 m en zonas rurales o cuando el incremento de la inundación produzca daños reducidos.



Criterio para la delimitación de la VID

En el artículo 14.1 del RDPH se definen las zonas inundables.

Se considera zona inundable los terrenos que puedan resultar inundados por los niveles teóricos que alcanzarían las aguas en las avenidas cuyo periodo estadístico de retorno sea de 500 años, atendiendo a estudios geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos, así como de series de avenidas históricas y documentos o evidencias históricas de las mismas en los lagos, lagunas, embalses, ríos o arroyos.

El Reglamento de Dominio Público Hidráulico introduce una regulación detallada y con carácter de legislación básica de los usos y construcciones prohibidos y permitidos, con condiciones, en las zonas inundables de los cauces distinguiendo la zona de flujo preferente (de mayor riesgo) dentro de la zona inundable (arts. 9 bis, ter y quater y art. 14 bis).

El caso que nos ocupa contempla unos terrenos que a la entrada en vigor del RD se encuentra en situación básica urbano, por lo que le aplica el artículo 9 ter del que se transcribe la excepción a las prohibiciones para este tipo de suelo en zona de flujo preferente

Artículo 9 ter. Obras y construcciones en la zona de flujo preferente en suelos en situación básica de suelo urbanizado.

1. En el suelo que se encuentre a fecha 30 de diciembre de 2016 en la situación básica de suelo urbanizado de acuerdo con establecido con el artículo 21.3 y 4 del texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana, se podrán realizar nuevas edificaciones, obras de reparación o rehabilitación que supongan un incremento de la ocupación en planta o del volumen de edificaciones existentes, cambios de uso, garajes subterráneos, sótanos y cualquier edificación bajo rasante e instalaciones permanentes de aparcamientos de vehículos en superficie, siempre que se reúnan los siguientes requisitos y sin perjuicio de las normas adicionales que establezcan las comunidades autónomas:

a) No representen un aumento de la vulnerabilidad de la seguridad de las personas o bienes frente a las avenidas, al haberse diseñado teniendo en cuenta el riesgo al que están sometidos.

b) No se incremente de manera significativa la inundabilidad del entorno inmediato ni aguas abajo, ni se condicionen las posibles actuaciones de defensa contra inundaciones de la zona urbana. Se considera que no se produce un incremento significativo de la inundabilidad cuando a partir de la información obtenida de los estudios hidrológicos e hidráulicos, que en caso necesario sean requeridos para su autorización y que definan la situación antes de la actuación prevista y después de la misma, no se deduzca un aumento de la zona inundable en terrenos altamente vulnerables.

c) No se traten de nuevas instalaciones que almacenen, transformen, manipulen, generen o viertan productos que pudieran resultar perjudiciales para la salud humana y el entorno (suelo, agua, vegetación o fauna) como consecuencia de su arrastre, dilución o infiltración, en particular estaciones de suministro de carburante, depuradoras industriales, almacenes de residuos, instalaciones eléctricas de media y alta tensión.

d) No se trate de nuevos centros escolares o sanitarios, residencias de personas mayores, o de personas con discapacidad, centros deportivos o grandes superficies comerciales donde puedan darse grandes aglomeraciones de población.

e) Que no se trate de nuevos parques de bomberos, centros penitenciarios o instalaciones de los servicios de Protección Civil.

f) Las edificaciones de carácter residencial se diseñarán teniendo en cuenta el riesgo y el tipo de inundación existente y los nuevos usos residenciales se dispondrán a una cota tal que no se vean afectados por la avenida con periodo de retorno de 500 años. Podrán disponer de garajes subterráneos y sótanos, siempre que se garantice la estanqueidad del recinto para la avenida de 500 años de período de retorno, y que se realicen estudios específicos para evitar el colapso de las edificaciones, todo ello teniendo en cuenta la carga sólida transportada y que además dispongan de respiraderos y vías de evacuación por encima de la cota de dicha avenida. Se deberá tener en cuenta, en la medida de lo posible, su accesibilidad en situación de emergencia por inundaciones.

2. Además de lo exigido en el artículo 9 bis.3, con carácter previo al inicio de las obras, el promotor deberá disponer del certificado del Registro de la Propiedad en el que se acredite que existe anotación registral indicando que la construcción se encuentra en zona de flujo preferente.

3. Para los supuestos excepcionales anteriores, y para las edificaciones ya existentes, las administraciones competentes fomentarán la adopción de medidas de disminución de la

vulnerabilidad y autoprotección, todo ello de acuerdo con lo establecido en la Ley 17/2015, de 9 de julio, y la normativa de las comunidades autónomas.

Para las zonas inundables no calificadas de flujo preferente el RD introduce el artículo 14 bis por el que propone los desarrollos fuera de la zona inundable "en la medida de lo posible".

- 1. Las nuevas edificaciones y usos asociados en aquellos suelos que se encuentren en situación básica de suelo rural en la fecha de entrada en vigor del Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, se realizarán, en la medida de lo posible, fuera de las zonas inundables.*

En aquellos casos en los que no sea posible, se estará a lo que al respecto establezcan, en su caso, las normativas de las comunidades autónomas, teniendo en cuenta lo siguiente

- a) Las edificaciones se diseñarán teniendo en cuenta el riesgo de inundación existente y los nuevos usos residenciales se dispondrán a una cota tal que no se vean afectados por la avenida con periodo de retorno de 500 años, debiendo diseñarse teniendo en cuenta el riesgo y el tipo de inundación existente. Podrán disponer de garajes subterráneos y sótanos, siempre que se garantice la estanqueidad del recinto para la avenida de 500 años de período de retorno, se realicen estudios específicos para evitar el colapso de las edificaciones, todo ello teniendo en cuenta la carga sólida transportada, y además se disponga de respiraderos y vías de evacuación por encima de la cota de dicha avenida. Se deberá tener en cuenta su accesibilidad en situación de emergencia por inundaciones.*
- b) Se evitará el establecimiento de servicios o equipamientos sensibles o infraestructuras públicas esenciales tales como, hospitales, centros escolares o sanitarios, residencias de personas mayores o de personas con discapacidad, centros deportivos o grandes superficies comerciales donde puedan darse grandes aglomeraciones de población, acampadas, zonas destinadas al alojamiento en los campings y edificios de usos vinculados, parques de bomberos, centros penitenciarios, depuradoras, instalaciones de los servicios de Protección Civil, o similares. Excepcionalmente, cuando se demuestre que no existe otra alternativa de ubicación, se podrá permitir su establecimiento, siempre que se cumpla lo establecido en el apartado anterior y se asegure su accesibilidad en situación de emergencia por inundaciones.*
- 2. En aquellos suelos que se encuentren a 30 de diciembre de 2016, en la situación básica de suelo urbanizado, podrá permitirse la construcción de nuevas edificaciones, teniendo en cuenta, en la medida de lo posible, lo establecido en las letras a) y b) del apartado 1*
- 3. Para los supuestos anteriores, y para las edificaciones ya existentes, las administraciones competentes fomentarán la adopción de medidas de disminución de la vulnerabilidad y autoprotección, todo ello de acuerdo con lo establecido en la Ley 17/2015, de 9 de julio, del Sistema Nacional de Protección Civil y la normativa de las comunidades autónomas. Asimismo, el promotor deberá suscribir una declaración responsable en la que exprese claramente que conoce y asume el riesgo existente y las medidas de protección civil aplicables al caso, comprometiéndose a trasladar esa información a los posibles afectados, con independencia de las medidas complementarias que estime oportuno adoptar para su protección. Esta declaración responsable deberá estar integrada, en su caso, en la documentación del expediente de autorización. En los casos en que no haya estado incluida en un expediente de autorización de la administración hidráulica, deberá presentarse ante ésta con una antelación mínima de un mes antes del inicio de la actividad.*
- 4. Además de lo establecido en el apartado anterior, con carácter previo al inicio de las obras, el promotor deberá disponer del certificado del Registro de la Propiedad en el que se acredite que existe anotación registral indicando que la construcción se encuentra en zona inundable.*

5. En relación con las zonas inundables, se distinguirá entre aquéllas que están incluidas dentro de la zona de policía que define el artículo 6.1.b) del TRLA, en la que la ejecución de cualquier obra o trabajo precisará autorización administrativa de los organismos de cuenca de acuerdo con el artículo 9.4, de aquellas otras zonas inundables situadas fuera de dicha zona de policía, en las que las actividades serán autorizadas por la administración competente con sujeción, al menos, a las limitaciones de uso que se establecen en este artículo, y al informe que emitirá con carácter previo la Administración hidráulica de conformidad con el artículo 25.4 del TRLA, a menos que el correspondiente Plan de Ordenación Urbana, otras figuras de ordenamiento urbanístico o planes de obras de la Administración, hubieran sido informados y hubieran recogido las oportunas previsiones formuladas al efecto.

Todo lo anteriormente expuesto se resume en el siguiente cuadro.

Zona	Autorización por parte del OC en zona de policía (artículo 6 del TRLA)	Informe del OC sobre planeamiento urbanístico (artículo 25.4 del TRLA)
1: Zona de flujo preferente dentro zona de policía.	Sí es necesaria. Se informa conforme a los artículos 9 bis, 9 ter o 9 quater.	Se informa conforme a los artículos 9 bis, 9 ter o 9 quater. Régimen de corrientes: si se aumenta el tamaño de la ZFP será desfavorable.
2: Zona inundable dentro de zona de policía.	Sí es necesaria. Se informa conforme al artículo 14 bis.	Se informa conforme al artículo 14 bis.
3: Zona de flujo preferente fuera de zona de policía.	No es necesaria. Si se solicita autorización al OC se comunicará que no es necesaria y se analizará el caso advirtiendo de la viabilidad o no de la actuación.	Si se prevé un uso incorrecto del suelo conforme a los artículos 9 bis, 9 ter o 9 quater se advertirá en el informe. Régimen de corrientes: si se aumenta el tamaño de la ZFP será informe desfavorable.
4: Zona inundable fuera de zona de policía.	No es necesaria. Si se solicita autorización al OC se comunicará que no es necesaria y se analizará el caso advirtiendo de la viabilidad o no de la actuación.	Si se prevé un uso incorrecto del suelo conforme al artículo 14 bis se advertirá en el informe.

Criterios a seguir por los Organismos de Cuenca según artículo 25.4 del TRLA

Distinguir las competencias de las diferentes administraciones concurrentes es complejo pues la legislación producida en esta materia es abundante. A continuación, pasamos a enumerarla desde los diferentes estamentos:

1.2.1 Ámbito Europeo.

Dentro del ámbito europeo encontramos las directivas:

- Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.

1.2.2 Ámbito Estatal.

A nivel nacional encontramos:

- Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH), que desarrolla los Títulos Preliminar, I, IV, V, VI y VIII de la Ley 29/85, de 2 de septiembre y modificaciones realizadas con posterioridad.
- Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica (RPH), en desarrollo de los títulos II y III de la Ley de Aguas y modificaciones realizadas con posterioridad.
- Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, aprobada por el Consejo de Ministros en su reunión del día 9 de diciembre de 1994.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas y posteriores modificaciones.
- Real Decreto 125/2007, de 2 de febrero, por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas y sus modificaciones.
- Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación, modificado por el Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre.
- Plan Estatal de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones, aprobado por el Consejo de Ministros en su reunión del día 29 de julio de 2011.
- Ley 17/2015, de 9 de julio, del Sistema Nacional de Protección Civil.
- Ley 39/2015, de 1 de octubre, del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas.
- Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público.

1.2.3 Ámbito Autonómico.

En la esfera autonómica encontramos:

- Acuerdo de 13 de julio de 2004, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Plan de Emergencia ante el riesgo de inundaciones en Andalucía.
- Ley 9/2010, de 30 de julio, de Aguas de Andalucía.

2 DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO.

El presente estudio recoge el análisis de toda la documentación disponible de los Planes de Gestión de Riesgo de Inundación, que en el caso del arroyo San Carlos obtienen sus conclusiones del documento titulado "Estudio Hidráulico para la prevención de inundaciones y la Ordenación de la cuenca del río Guadalhorce" (EHO CG), y redactado por Sener en 2012.

Durante los últimos años ha servido de referencia para conocer e identificar la problemática asociada en cada suelo afectado por zonas inundables.

2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES.

Para la determinación del caudal de avenida para el cálculo la zona inundable del cauce en cuestión, en el tramo objeto de delimitación se han realizado los necesarios estudios hidrológicos e hidráulicos de acuerdo a los siguientes apartados.

2.1.1 Estudio Hidrológico.

Tras la publicación del EHO CG, este documento se ha convertido en referencia para los estudios realizados en su ámbito territorial, no obstante, se han obtenido mayores valores en cuanto a las Precipitaciones máximas diarias para los diferentes periodos de retorno en la publicación Máximas lluvias diarias en la España Peninsular. Se toman éstos últimos, del lado de la seguridad, en la determinación de caudales máximos.

Se aplicará la metodología descrita en la Instrucción de carreteras 5.2 IC "Drenaje Superficial" 2016, para obtener unos caudales punta asociados a los diferentes periodos de retorno.

La siguiente figura muestra los diferentes caudales punta para los periodos de retorno de 10 y 500 años en la sección de control, con una cuenca vertiente de aproximadamente 0.297 Km².

Cuenca	Área (km ²)	Q10 DPH (m ³ /s)	Q500 ZI (m ³ /s)
Ayo. San Carlos	0.297	3.36	8.87

Los resultados que se desprenden del estudio hidrológico se emplearán en las condiciones de contorno de modelo hidráulico.

2.1.2 Estudio hidráulico.

En el área de hidráulica, se ha empleado el programa HEC-RAS "River Analysis System" del cuerpo de ingenieros de la armada de los E.E.U.U., para crear un modelo unidimensional del arroyo en el tramo objeto del presente proyecto, estudiando su comportamiento ante los caudales de avenida.

Partiendo de las secciones transversales del cauce a lo largo del tramo objeto estudio, de las rugosidades estimadas según los usos y coberturas del terreno actuales y de los resultados obtenidos en el cálculo hidrológico, se determina la sección hidráulica y perímetro mojado, los calados, las velocidades, etc. para los caudales de cálculo.

Este análisis se lleva a cabo en la situación actual. En el anejo nº3. del presente documento se aportan los cálculos hidráulicos que sirven de base para la estimación de las láminas de inundación.



2.1.3 Condicionantes y criterios de cálculo.

Los datos que se han introducido para crear el modelo del arroyo en la situación actual son los siguientes:

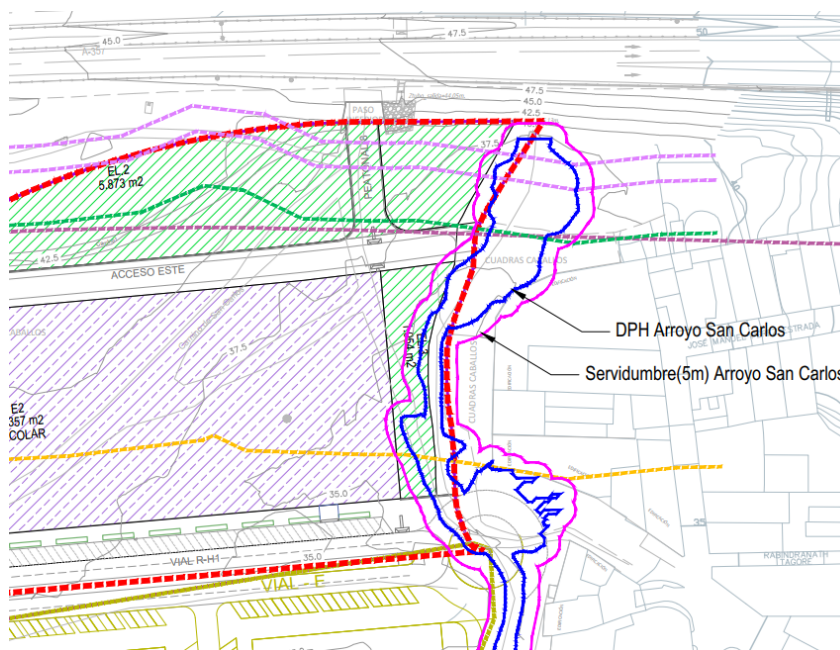
- Topografía del sector en situación actual, procedente del levantamiento topográfico del sector realizado en 2023.
- Se han tenido en cuenta los máximos caudales de cálculo para las avenidas de 10, 25, 50, 100 y 500 años, a efecto de la determinación de la altura de lámina de agua en avenidas.

- Coeficiente de rugosidad de Manning. Se ha considerado un valor de 0,050 en el canal principal y 0.045 correspondiente a la cubierta del suelo en las riberas, apropiado para cauces naturales como es el caso que nos ocupa y adoptado en función de los valores experimentales presentados en la Bibliografía de Ven Te Chow (Hidráulica de los Canales Abiertos) y siguiendo las recomendaciones para estudios hidrológicos promulgadas por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía.
- Coeficientes de contracción y expansión 0.1 y 0.3 respectivamente para la estimación de las pérdidas de energía.
- Dada la pendiente natural se adoptan como condiciones de contorno, el calado crítico para aguas arriba y la pendiente del lecho para aguas abajo, para un cálculo hidráulico en régimen mixto, para tener en consideración los posibles cambios de régimen (resaltos hidráulicos, etc).

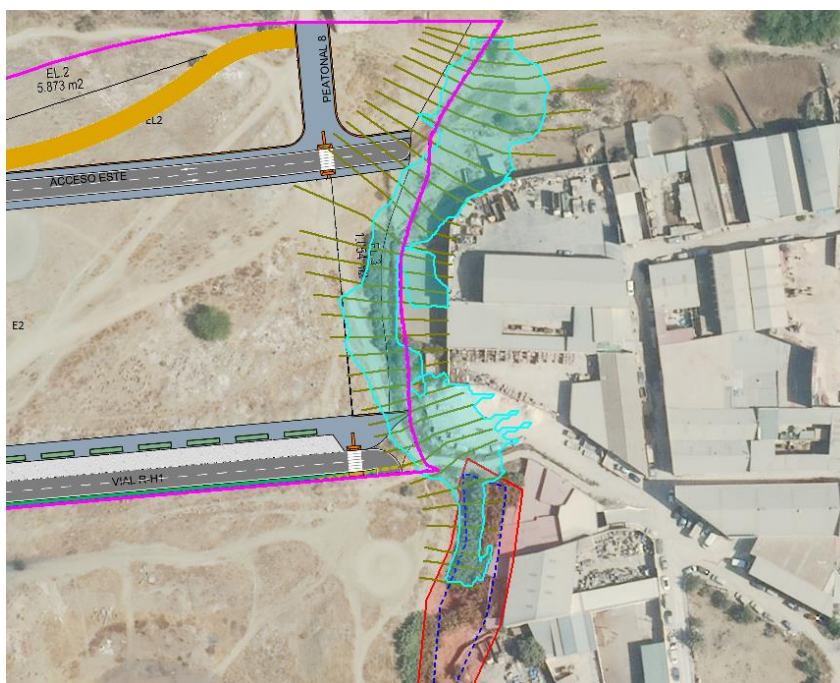
3 CONCLUSIONES.

El estudio realizado presenta un nivel de detalle suficiente, de modo que entendemos que refleja con definición las singularidades del comportamiento del cauce en situación de avenida en el tramo de estudio. La realización del Estudio Hidrológico e Hidráulico del arroyo San Carlos en el tramo de estudio ha permitido:

- Según la estimación de DPH del arroyo San Carlos, la parcela de estudio respeta tanto el DPH como la zona de servidumbre y se encuentra en en Zona de Policía.



- En la situación actual, la parcela de estudio se encuentra libre de afecciones por la zona inundable (cian).



Vista de las zonas inundables T500 (cian).

4 DOCUMENTOS QUE COMPONEN EL ESTUDIO.

Los documentos que componen este estudio son los siguientes:

DOCUMENTO Nº1.- MEMORIA y ANEJOS DE CALCULO

DOCUMENTO Nº2.- PLANOS

Con el siguiente índice de planos:

De Información:

- I.1 Situación Y Emplazamiento
- I.2 Topográfico.
- I.3 Cuenca vertiente

De Estudio:

- 1. Estimación de DPH y zonas de servidumbre.
- 2. Zonas Inundables. Planta y perfil T10, Y T500

Estepona, Febrero de 2.024



Enrique de la Torre Lara.
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Colegiado Nº 16.917.

5 ANEJO FOTOGRÁFICO.

5.1 INTRODUCCIÓN.

En el presente anejo se muestran algunas de las imágenes del entorno de los terrenos de estudio y las estructuras que tienen relevancia en el modelo, así como una colección cronográfica de ortoimágenes del ámbito de estudio.



Ortoimagen del ámbito de estudio. Vuelo Americano 1956. Fuente: IGN.



Ortoimagen del ámbito de estudio. Vuelo Interministerial 1983. Fuente: IGN.



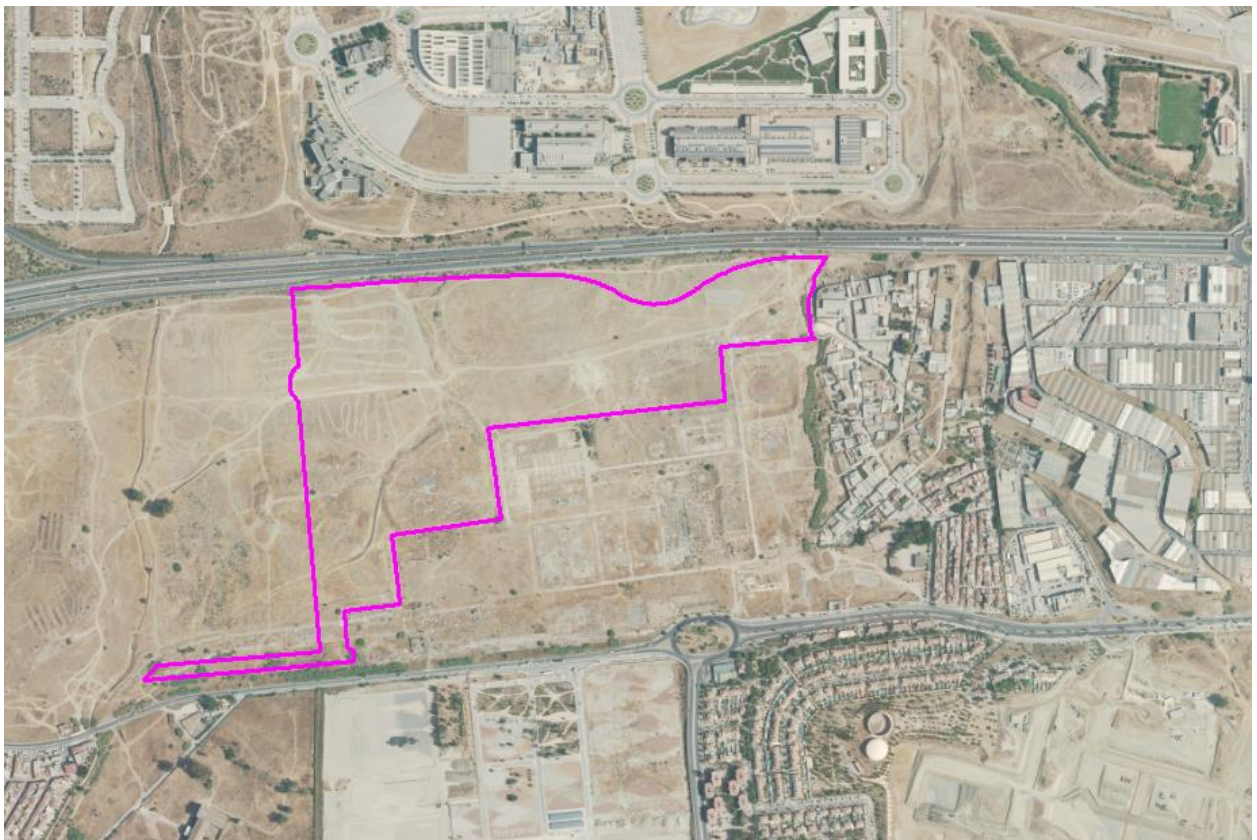
Ortoimagen del ámbito de estudio. Vuelo Sig Oleícola 1998. Fuente: IGN.



Ortoimagen del ámbito de estudio. PNOA 2002. Fuente: IGN.



Ortoimagen del ámbito de estudio. PNOA 2010. Fuente: IGN.



Ortoimagen del ámbito de estudio. PNOA 2022. Fuente: IGN.

6 ANEJO HIDROLÓGICO.

6.1 INTRODUCCIÓN

En el presente apartado se aborda la descripción de los trabajos realizados en el área de climatología e hidrología a efectos de determinar la cuenca vertiente y determinación de los caudales de cálculo de las avenidas de cálculo.

El fin último de estos trabajos consiste en la determinación de los datos, caudales fundamentalmente, necesarios para la determinación del dominio público hidráulico, es decir, la franja de cauce ocupada por el arroyo en las máximas crecidas ordinarias, correspondiente a la avenida 10 años de período de recurrencia, así como la determinación de la zona inundable correspondiente al período de retorno de 500 años o a las máximas crecidas extraordinarias.

Se estudiarán los diferentes parámetros climáticos, pluviométricos, hidrológicos, etc., con el fin de obtener los datos necesarios que definan hidráulicamente la actuación, determinando las avenidas de cálculo.

En cuanto a normativa y publicaciones consultadas a continuación se presenta una relación de las mismas:

- Instrucción de carreteras 5.2-IC "Drenaje superficial". Aprobada por Orden de 14 de mayo de 1.990.
- Estadística de precipitaciones máximas en 24 horas. Confederación Hidrográfica del Sur.
- Isolíneas de Precipitaciones Máximas Previsibles en un Día. Dirección General de Obras Hidráulicas. Centro de Estudios Hidrográficos (M.O.P.T.), Marzo de 1.976.
- Estudio hidráulico para la ordenación de las cuencas de la Costa del Sol occidental 2007.
- Máximas lluvias diarias en la España peninsular. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras 1.999.

6.2 CLIMATOLOGÍA.

El ámbito de estudio se encuentra en el piso bioclimático termomediterráneo, con una temperatura media anual de 18º C, mínimas medias anuales superiores o iguales a 5º C, y una estación lluviosa que se extiende de noviembre-marzo.

La temperatura media estacional de las medias para la zona de estudio adopta en todos los casos valores relativamente altos para el contexto global de la provincia de Málaga. Como cabía esperar el menor valor estacional se presenta en invierno, con una temperatura en torno a los 12º C. Primavera presenta un valor de 17º C, mientras que en otoño se registra una temperatura muy similar (19º C). Los veranos, en general calurosos, registran una temperatura media estacional de 25ºC.

Los meses más fríos del año son diciembre, enero y febrero, con valores de temperatura que oscilan entre 12º y 13º C. Por el contrario, los meses más cálidos corresponden a julio y agosto con valores de temperatura media mensual de 24.3º y 24.7º, respectivamente.

Las precipitaciones verticales (lluvia, granizo) son frecuentes, quedando la zona clasificada como subhúmeda, con unos volúmenes de precipitación de 600 a 800 mm anuales. Generalmente, estas precipitaciones tienen un carácter torrencial, con un elevado poder de erosión.

Los valores pluviométricos medios mensuales muestran un período de lluvias que se extiende desde noviembre a marzo, con máximos de precipitación en el mes de enero (97.2 mm). Como cabía esperar por su posicionamiento geográfico, los valores pluviométricos más bajos se registran en julio y agosto, con cantidades inferiores a 2.2 mm mensuales.

En los períodos primaverales y otoñales los valores de precipitación media mensual se encuentran entre 25 y 60 mm.

Un análisis de los vientos predominantes en el ámbito de estudio indica la prevalencia de los de componente Este (Levante), y los de componente Oeste (Poniente), quedando la zona afectada por el

régimen de brisas costero (velocidades medias de 6 km/h). Este fenómeno es responsable de la aparición de bancos de niebla matinales en la franja agrícola. El viento de componente Sur o Suroeste (Terral) resulta muy cálido e infrecuente, mientras el viento de componente Norte apenas afecta como consecuencia de la protección que crea las estribaciones próximas.

La proximidad de la zona al Estrecho de Gibraltar, que funciona como un embudo natural para las masas nubosas, junto a la influencia tamponadora del Mediterráneo y húmeda del Atlántico, marca el clima del ámbito de estudio. En este sentido al clima de la zona puede denominarse Mediterráneo de tendencia atlántica y que queda caracterizado por inviernos suaves, veranos calurosos y secos y un alto grado de humedad durante el resto del año.

6.3 PLUVIOMETRÍA.

En este punto se analizan los datos de origen pluviométricos de que se disponen, comparando los mismos y seleccionando los más apropiados tanto por la naturaleza de la cuenca afectada como por las necesidades del propio estudio.

Los datos disponibles son los siguientes:

- Estadística de precipitaciones máximas en 24 horas. Confederación Hidrográfica del Sur.
- Isolíneas de Precipitaciones Máximas Previsibles en un Día. Dirección General de Obras Hidráulicas. Centro de Estudios Hidrográficos (M.O.P.T.), Marzo de 1.976.
- Precipitación empleada en el Estudio hidráulico para la ordenación de las cuencas de la Costa del Sol occidental.
- Máximas lluvias diarias en la España peninsular. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras 1.999.

De los que se determinarán las intensidades máximas horarias definitivas empleadas en el estudio hidrológico.

6.3.1 Estadística de precipitaciones máximas en 24 horas (C.H.S.).

La Confederación Hidrográfica del Sur, a partir de los datos disponibles en las estaciones pluviométricas de su ámbito ha elaborado un estudio estadístico para la obtención de la precipitación máxima en 24 horas en los diferentes periodos de retorno que suele ser habitual su cálculo.

En dichas páginas se presentan:

- Relación de Estaciones Pluviométricas de la Cuenca del Sur.
- Cuadro de Estadística de precipitaciones máximas en 24 horas.
- Con ellas se puede obtener para cada Estación:
 - Número de registro del I.N.M.
 - Denominación.
 - Cota (en m.).
 - Coordenadas geográficas (referidas a Greenwich).
- Precipitaciones máximas en 24 horas para periodos de retorno de 25, 50, 100 y 500 años. No proporciona datos para avenidas de cálculo menores de 25 años, siendo necesario recurrir a otras metodologías para su obtención.

De las estaciones presentadas se han seleccionado las siguientes, por encontrarse en la cuenca de estudio o próxima a la misma, y con los siguientes valores:

Nº	Denominación	Altitud	COORDENADAS		PERIODO DE RETORNO			
Estación			LONGITUD	LATITUD	25	50	100	500
170	PANTANO DEL AGUJERO	80	0 – 45W	36 – 46	159	183	207	263
171	MÁLAGA "INSTITUTO"	8	0 – 44W	36 – 43	135	154	173	217

Resultando un valor medio de

T= 25 años: 147 mm

T= 50 años: 169 mm

T= 100 años: 190 mm

T= 500 años: 240 mm

6.3.2 Isolíneas de Precipitaciones Máximas Previsibles en un Día. Dirección General de Obras Hidráulicas. Centro de Estudios Hidrográficos (M.O.P.T.), Marzo de 1.976.

De la publicación "Isolíneas de Precipitación Máxima Previsibles en un Día" del M.O.P.T., se han consultado las hojas correspondientes a los periodos de retorno de 5, 10, 15, 25, 50, 100 y 500 años, de las que se deducen, para la situación geográfica de la cuenca de estudio, los siguientes valores de precipitaciones máximas en un día:

PERIODO DE RETORNO (T) AÑOS	Pmáx en 24H (mm/día)
5	90
10	100
25	120
50	140
100	160
500	180

6.3.3 Máximas llluvias diarias en la España peninsular. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras 1.999.

El cálculo de la máxima lluvia diaria puede ser también efectuado a partir de la recientemente publicada, por parte del Ministerio de Fomento: "Máximas llluvias diarias en la España Peninsular".

En este documento se realizan las siguientes fases:

1. Selección de estaciones pluviométricas y recopilación de sus datos correspondientes a las máximas llluvias diarias.
2. Modelación estadística de las series anuales de máximas llluvias diarias realizando una estimación regional de parámetros y cuantiles.
3. Análisis de la distribución del valor medio de las series anuales de máximas llluvias diarias, estimado directamente a partir de las muestras.
4. Resumen y presentación de los resultados alcanzados en versión informática aprovechando la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

De modo que el programa permite simplemente aportando las coordenadas bien geográficas, bien UTM del lugar geográfico que se esté estudiando (centroide de la cuenca), y el periodo de retorno considerado, obtener de forma automática los siguientes valores:

- Precipitación media en 24 horas: P_{media} (mm/día)
- Coeficiente de variación C_v .
- Precipitación máxima en 24 horas: P_t (mm/día)

El mapa de Isolíneas C_v fue obtenido mediante una interpolación espacial en una malla por el método inverso de la distancia al cuadrado. Los datos empleados para la interpolación fueron las 1545 estaciones "básicas" a las que se asigna el C_v regional correspondiente.

Las funciones de distribución que se analizaron para que las aplicara el programa fueron las siguientes:

Distribución	$f(x)$ ó $F(x)$	Parámetros
GEV	$F(x) = \exp \left\{ - \left[1 - k \left(\frac{x-u}{\alpha} \right) \right]^{1/k} \right\}$	u, α, k
LP3	$f(x) = \frac{\left(\frac{\log_{10} x - u}{\alpha} \right)^{k-1}}{x \alpha \Gamma(k)} \exp \left\{ - \left(\frac{\log_{10} x - u}{\alpha} \right) \right\}$	u, α, k
TCEV	$F(x) = \exp \left(-\alpha_1 e^{-x/\theta_1} - \alpha_2 e^{-x/\theta_2} \right)$	$\alpha_j, \theta_j, j = 1, 2$
SQRT-ET max	$F(x) = \exp \left[-k \left(1 + \sqrt{\alpha x} \right) \exp(-\sqrt{\alpha x}) \right]$	α, k

En el programa, un análisis de los cuantiles regionales Y_t estimados, con los cuatro modelos de ley seleccionados en las 26 zonas adoptadas, muestran diferencias prácticamente inexistentes para bajos y medios periodos de retorno (2, 5, 10 y 25 años), y sólo cuando los periodos de retorno son mayores, existen ligeras diferencias siempre inferiores al 8% para 500 años.

Este hecho, reduce en cierto modo la transcendencia del proceso de selección del modelo de ley, siendo la ley SQRT-ET max la finalmente seleccionada por las siguientes razones:

- a) Es el único de los modelos analizados de la ley de distribución, que ha sido propuesto específicamente para la modelación estadística de máximas lluvias diarias.
- b) Está formulada con sólo dos parámetros lo que conlleva una completa definición de los cuantiles en función exclusivamente del coeficiente de variación con lo que se consigue una mayor facilidad de presentación de resultados.
- c) Por la propia definición de la ley proporciona resultados más conservadores que la tradicional ley de Gumbel.
- d) Conduce a valores más conservadores que los otros modelos de ley analizados para las 17 regiones con cuantiles menores, mostrando unos resultados similares en el resto de las regiones.
- e) Demuestra una buena capacidad para reproducir las propiedades estadísticas observadas en los datos, lo que se comprobó mediante técnicas de simulación de Montecarlo.

En nuestro caso particular se han obtenido los siguientes resultados para el punto situado en la cuenca de estudio, con las siguientes coordenadas:

$X_{UTM \text{ huso } 30} = 366.689 \text{ m}$

$Y_{UTM \text{ huso } 30} = 4.064.390 \text{ m}$

PERIODO DE RETORNO (T) AÑOS	Pt (mm/día)
5	90
10	112
25	140
50	164
100	189
500	253

6.3.4 Análisis de los datos de precipitación disponibles.

De la observación de los cuadros de resultados obtenidos con cada uno de los datos relacionados en los apartados anteriores se deduce que los máximos valores de Pd se obtienen en orden de mayor a menor:

1. Máximas lluvias diarias en la España peninsular. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras 1.999.
2. Estadística de precipitaciones máximas en 24 horas. Confederación Hidrográfica del Sur.
3. Isolíneas de Precipitaciones Máximas Previsibles en un Día. Dirección General de Obras Hidráulicas. Centro de Estudios Hidrográficos (M.O.P.T.), marzo de 1.976.

En segundo lugar “Estadística de las precipitaciones máximas en 24 h”, la generalidad del ámbito de estudio y la antigüedad de la publicación hacen pensar en una valoración desfasada e imprecisa de las Pd obtenidas, por lo que no se han considerado en el estudio. Al haberse obtenido mayores valores en la fuente de las “Máximas lluvias diarias en la España peninsular”, se adoptan estos últimos valores de manera conservadora.

6.4 HIDROLOGÍA.

Se ha procedido a la determinación de los parámetros físicos representativos de la cuenca estudiada a partir de la cartografía a escala 1/10.000 del Mapa Topográfico de Andalucía, disponible a través del Centro de Estudios Territoriales y Urbanos de la Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía. Hojas:

1053 –(1-3)

En la cuenca, dada su superficie y tiempo de concentración (inferior a 6 horas), es aplicable el Método Hidrometeorológico conocido como Método Racional (norma 5.2.I.C.), calculándose los caudales máximos de avenidas para los periodos de retorno considerados.

6.4.1 Periodo de retorno a considerar en el cálculo de caudales.

La selección del caudal de referencia para el que debe proyectarse un elemento de drenaje superficial, obra de cruce de un arroyo o río, está relacionada con la frecuencia de su aparición, que se puede definir por su periodo de retorno.

El periodo de retorno de un caudal (T) se define como aquel que, como media, es superado una vez cada T años. Sin embargo, el riesgo de que ese caudal sea excedido alguna vez durante un cierto intervalo de tiempo depende también de la duración del intervalo.

Según establece la ley de Aguas, así como el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, se define Cauce como el terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias. El Caudal de máxima crecida ordinaria media de los máximos caudales anuales, en su régimen natural, producidos durante diez años consecutivos, que sean representativos del comportamiento hidráulico de la corriente.

El concepto de caudal de M.C.O. es fundamental para la delimitación del cauce y por tanto de los bordes y zonificaciones del Dominio Público Hidráulico que establece la Ley de Aguas, y más ampliamente su Reglamento. Sin embargo, la propia definición de la M.C.O. que se establece en la Ley de Aguas no representa un caudal concreto, sino que constituye una serie temporal de medias de valores máximos. Para resolver los aspectos prácticos que conlleva la aplicación de la definición anterior, en la definición del Dominio Público Hidráulico, se efectuó un estudio en el CEDEX en 1.994 en el que se establece de forma aproximada el valor del caudal de M.C.O., $Q_{M.C.O.}$, en función de la media, Q_m , y el coeficiente de variación, C_v , de la distribución de máximos caudales anuales mediante la expresión

$$\frac{Q_{MCO}}{Q_m} = 0.7 + 0.6 \cdot C_v$$

O bien, el T_p mediante la expresión alternativa.

$$T(Q_{MCO}) = 5 \cdot C_v$$

El coeficiente de variación, C_v , de la mayoría de los cursos de agua españoles está comprendido en el intervalo $0,3 \leq C_v \leq 1,4$, que según la expresión anterior conduce a periodos de retorno entre 1,5 y 7 años. Los valores bajos corresponden a regímenes de hidrología moderada y los altos a las corrientes con hidrología extrema.

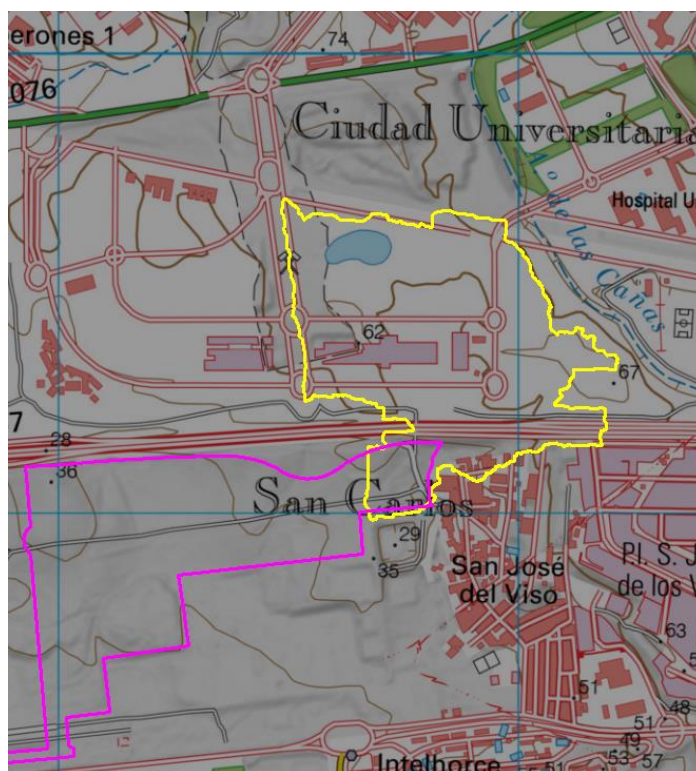
En nuestro caso en particular tendremos que determinar el dominio público hidráulico, para lo cual se considera la avenida de 10 años de periodo de retorno y de 500 años para la zona inundable.

6.4.2 Características de la Cuenca. Parámetros físicos.

Es objeto de este apartado la definición de los parámetros físicos representativos de la cuenca que vierte aguas a la zona de estudio. Estos parámetros físicos, junto con los datos de precipitaciones máximas para el periodo de retorno considerado, servirán de base para la determinación de los caudales de cálculo.

La superficie de la cuenca, longitudes, cotas de los puntos más altos y más bajos, y pendiente media aguas arriba de la sección de control se ha determinado en base a la cartografía básica de la Junta de Andalucía a escala 1/10.000.

La cuenca del arroyo San Carlos está situada al Oeste de la Costa del Sol, entre los ríos Padrón y Monterroso. Tiene una marcada orientación NNW-SSE. La cuenca está situada al sur de Sierra Bermeja en el término municipal de Estepona, desembocando en la playa de la Rada, al Este del núcleo urbano de Estepona. En la siguiente imagen se representa esquemáticamente el cauce en cuestión:



- TIPO DE TERRENOS QUE ATRAVIESA: El suelo tiene un escaso recubrimiento vegetal sin cultivo específico, con predominio de la vegetación arbustiva de monte bajo. Si bien existe un cierto grado de urbanización en la zona Sur de la cuenca que previsiblemente aumentará con el desarrollo de las obras.

Cuenca	Área (km2)	L (km)	Zmax (m)	Zmin (m)	Pend (m/m)
Ayo. San Carlos	0.297	1.253	56	33	0.018

siendo C el coeficiente de escorrentía.

El caudal máximo se dará en el equilibrio y valdrá:

$$Q = E \cdot A = \frac{C \cdot I \cdot A}{K} \quad (1)$$

siendo:

C: coeficiente medio de escorrentía de la cuenca o superficie drenada.

A: su área, salvo que tenga aportaciones o pérdidas importantes, tales como resurgencias o sumideros, en cuyo caso el cálculo del caudal Q deberá justificarse convenientemente.

I: la intensidad media de precipitación correspondiente al periodo de retorno considerado y a un intervalo igual al tiempo de concentración.

K: un coeficiente que depende de las unidades en las que se midan Q, I y A. Habitualmente: $Q = \text{m}^3/\text{seg.}$, $I = \text{mm/h}$, $A = \text{Km}^2$ con lo que $K = 3,6$.

Suponiendo un aguacero de duración indefinida, sería suficiente un determinado tiempo T_c (característico de cada cuenca) para alcanzar un máximo igual al caudal de equilibrio. Este tiempo de concentración, se define como el transcurrido desde el tiempo de aguacero hasta el final de su hidrograma superficial.

De este modo, el máximo caudal originado por un aguacero estará constituido por agua precipitada exclusivamente dentro de un intervalo de duración T_c . Si la lluvia neta ($C \times I$) en este lapso tiene lugar con intensidad constante, el caudal punta se podrá calcular por la fórmula racional ya mencionada.

Entre todos los lapsos del aguacero de duración T_c , el suministrador del caudal punta será aquel que proporcione el máximo valor de I y por tanto, el cálculo estadístico de caudales punta se reduce al de los valores extremos de la intensidad media (I) de precipitación en los intervalos de duración T_c y al valor del coeficiente de escorrentía (C) que cabe esperar en esos mismos intervalos.

La sencilla formulación del método racional lo hace muy atrayente en los casos en que no haya que estudiar los efectos de la laminación y sólo interese el valor del caudal punta. Si fuera necesario obtener la distribución del caudal punta a lo largo del tiempo debería utilizarse otro método.

Según han podido constatar numerosos autores, los métodos hidrometeorológicos, y entre ellos el racional, suelen presentar un marcado sesgo hacia la sobreelevación de los caudales, que suponen la existencia implícita de un coeficiente de seguridad.

La hipótesis de lluvia neta constante admitida en el método racional no es real y en la práctica, existen variaciones en su reparto temporal que favorecen el desarrollo de los caudales punta. Sin embargo, en cuencas pequeñas ($T_c < 6 \text{ h}$), la influencia de la variación temporal de la lluvia neta es secundaria y se puede reflejar mediante un factor corrector (K') con lo que (1) quedaría:

$$Q = \frac{I(T, t_c) \cdot C \cdot A \cdot K_t}{3.6} \quad (2)$$

siendo:

Q (m^3/seg): caudal punta correspondiente a un periodo de retorno dado.

C: coeficiente medio de escorrentía de la cuenca o superficie drenada.

I (mm/h): Intensidad media de precipitación correspondiente al periodo de retorno considerado y a intervalo igual tiempo de concentración.

A (Km^2): área de la cuenca o superficie drenada.

K: Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación, que viene dado por la expresión

$$K = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14}$$

A continuación, se expondrá el proceso de obtención de los valores de I y de C que definirán totalmente la fórmula anterior.

6.5.1 Intensidad media de precipitación.

La intensidad a utilizar en la aplicación del método racional, recordando la formulación anterior, es la correspondiente a un periodo de retorno y a un intervalo igual al tiempo de concentración.

$$I(T, t) = I_d \cdot F_{int}$$

La intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al periodo de retorno T, se obtiene mediante la fórmula

$$I_d = \frac{P_d \cdot K_A}{24}$$

Donde:

I_d : Intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al periodo de retorno T (mm/h)

P_d : Precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno T (mm)

K_A : Factor reductor de la precipitación por área

Si $A < 1 \text{ km}^2$ $K_A = 1$

Si $A > 1 \text{ km}^2$ $K_A = 1 - \frac{\log A}{15}$

Para el cálculo de F_{int} se tomará el mayor de los obtenidos mediante la expresión:

$$F_{int} = \max (F_a, F_b)$$

Siendo:

F_a : Factor obtenido a partir del índice de torrencialidad (I_1/I_d)

F_b : Factor obtenido a partir de las curvas IDF de un pluviógrafo próximo. No se expondrá por no disponer de datos en las proximidades.

Para el cálculo del factor a (F_a) se emplea una ley intensidad duración en la forma:

$$F_a = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{3.5287 - 2.5287 \cdot t^{0.1}}$$

donde:

El valor del ratio (I_1/I_d) se determina a partir de la fig. 2.4 (Instrucción 5.2.-IC)

t: es la duración del aguacero, si se toma $t = T_c$ se obtiene la intensidad a emplear.

6.5.2 Tiempo de concentración.

El tiempo de concentración, es el mínimo tiempo necesario desde el comienzo del aguacero para que toda la superficie de la cuenca esté colaborando en la escorrentía generada en el punto de control se ha evaluado siguiendo la norma 5.2-IC, como:

$$t_c = 0.3 \cdot L_c^{0.76} \cdot J_c^{-0.19}$$

siendo:

T_c : tiempo de concentración (en horas).

L: longitud del cauce principal en (km).

J: pendiente media del cauce principal (m/m).

Teniendo en cuenta que la longitud del cauce principal se toma desde el nacimiento del río y el punto de cota máxima se encuentra referido al nacimiento del cauce principal. El cauce o recorrido que debe escogerse es el que dé lugar a un mayor tiempo de concentración.

Si el tiempo de recorrido en flujo difuso sobre el terreno fuese relativamente apreciable, como es el caso de la plataforma de una carretera y de las márgenes que a ella vierten, la fórmula anterior no resulta aplicable. Se considera que se produce esta circunstancia cuando $t_c < 0.25$ h.

$$t_{dif} = 2 \cdot L_{dif}^{0.408} \cdot n_{dif}^{0.312} \cdot J_{dif}^{-0.209}$$

donde:

Tdif: tiempo de recorrido en flujo difuso sobre el terreno en minutos.

ndif: Coeficiente de flujo difuso

Ldif: longitud de recorrido en flujo difuso en metros.

Jdif: Pendiente media.

El valor del tiempo de concentración t_c , a considerar se obtiene de la siguiente tabla 2.2:

t dif(minutos)	t_c (minutos)
≤ 5	5
$5 \leq t_{dif} \leq 40$	t dif
≥ 40	40

6.5.3 Escorrentía.

El coeficiente de escorrentía (C), define la proporción de la componente superficial de la precipitación de intensidad I, y depende de la razón entre la precipitación diaria Pd correspondiente al periodo de retorno y el umbral de escorrentía Po a partir del cual se inicia esta, este umbral de escorrentía es característico de cada cuenca.

La formulación utilizada está basada en el método propuesto por la Ley del Soil Conservation Service (USA) para las relaciones lluvia-escorrentía y que corresponde a las expresiones:

$$E/P = 0 \quad \text{si } (P/P_o) < 1 \quad (6)$$

$$E/P_o = \frac{[(P/P_o) - 1]^2}{(P/P_o) + 4} \quad \text{si } (P/P_o) \geq 1$$

siendo:

E(mm): escorrentía igualmente acumulada y provocada por P.

P(mm): precipitación acumulada desde el comienzo del aguacero hasta el instante dado.

Po(mm): parámetro o umbral de escorrentía que define la precipitación total por debajo de la cual no se produce escorrentía.

El coeficiente instantáneo de escorrentía C , en un instante dado hasta el cual ha precipitado P y se ha provocado una escorrentía E , se puede obtener derivando las expresiones anteriores:

$$C = \frac{\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} - 1\right) \cdot \left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} + 23\right)}{\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} + 11\right)^2} \quad (7)$$

C va creciendo a lo largo del aguacero y su valor medio en un intervalo será mayor que el correspondiente a su origen y menor que el del final. El intervalo objeto de estudio es aquel que proporciona mayor escorrentía y se admite que corresponde al de duración igual al tiempo de concentración y que contiene el máximo del hietograma. Si se conoce el valor de P en dicho instante, la expresión (7) permitirá obtener el coeficiente de escorrentía buscado.

Se ha comprobado en distintas estaciones pluviométricas españolas que puede admitirse una ley lineal del tipo:

$(P)\text{máx. intensidad} = b \times P_d$; donde b es un parámetro que refleja la posición relativa del intervalo de máxima intensidad dentro del pluviograma diario, y que puede admitirse que toma un valor de 0.5. Con esto, quedaría fijado el valor del coeficiente de escorrentía a utilizar en función de P_d .

Esta formulación debe ser corregida en los casos de aguaceros con pequeño periodo de retorno puesto que en estos casos no se cumple sistemáticamente la hipótesis básica: el máximo caudal no está asociado al intervalo de máxima intensidad y duración T_c , ya que dicha precipitación quedará absorbida íntegramente por el terreno al ser menor que el umbral de escorrentía.

En estos casos, el intervalo generador del máximo caudal, y con él, el punto intermedio indicativo del coeficiente de escorrentía, se desplazan en el tiempo hacia la zona final del aguacero, en espera de condiciones más favorables de la humedad del suelo que las correspondientes al intervalo de máxima intensidad.

Este problema se aborda modificando la ley anterior (7) en los entornos de los pequeños valores, haciéndola despegar del eje $C=0$ para $P_d \cdot K_A \leq P_0$, para tender posteriormente a confundirse con la curva primitiva, proponiéndose finalmente:

$$C = 0 \quad \text{si } (P_d \cdot K_A / P_0) < 1$$

Las cuencas heterogéneas deberán dividirse en áreas parciales cuyos coeficientes de escorrentías se calcularán por separado, reemplazándose el término CxA en (3) por $\sum(CxA)$.

Según la administración hidráulica, no se aceptarán valores del coeficiente de escorrentía inferiores a 0.65 para un periodo de retorno de 500 años.

6.5.4 Determinación del Umbral de Escorrentía

El valor del umbral de escorrentía (P_0), en un sentido determinístico, depende de las características de la cuenca y se determinará por la siguiente fórmula:

$$P_0 = P_0^i \cdot \beta$$

donde:

P_0 : Umbral de escorrentía (mm)

P_0^i : Valor inicial del umbral de escorrentía (mm)

β : Coeficiente corrector del umbral de escorrentía

El valor de P_0^i puede obtenerse como valor promedio de la cuenca (basándose en el concepto de "número de curva" del Soil Conservation Service) a partir de la tabla 2.3 de la Instrucción 5.2.IC y de los siguientes datos:

- pendiente (%).
- capacidad de infiltración del suelo.
- vegetación.
- características del laboreo.

El valor obtenido de dicha tabla se deberá multiplicar por el coeficiente corrector β . Este coeficiente refleja la variación regional de la humedad habitual en el suelo al comienzo de aguaceros significativos. Como regla general se adoptará:

- Valor obtenido, cuando se disponga de una calibración específica para la cuenca de estudio.
- Valor obtenido por calibración entre datos reales de caudales y resultados del método racional, y estos coincidan sensiblemente.
- Valor obtenido a partir de la tabla 2.5, correspondiente a las regiones definidas en la figura 2.9., cuando no se disponga de información para la calibración.

Para este último caso se procede atendiendo al tipo de obra de que en cada caso se trate, según la importancia de la vía:

- Drenaje transversal de vías de servicio, ramales, caminos, accesos a instalaciones y edificaciones y drenaje de plataforma y márgenes:

$$\beta^{PM} = \beta_m \cdot F_T$$

- Drenaje transversal de la carretera, puentes, alcantarillas y obras de drenaje transversal:

$$\beta^{DT} = (\beta_m - \Delta_{50}) \cdot F_T$$

donde:

β^{PM} : Coeficiente corrector del umbral de escorrentía para drenaje de plataforma y márgenes

β^{DT} : Coeficiente corrector del umbral de escorrentía para drenaje transversal de la vía.

β_m : Valor medio del coeficiente corrector del umbral de escorrentía (tabla 2.5).

F_T : factor función del periodo de retorno.

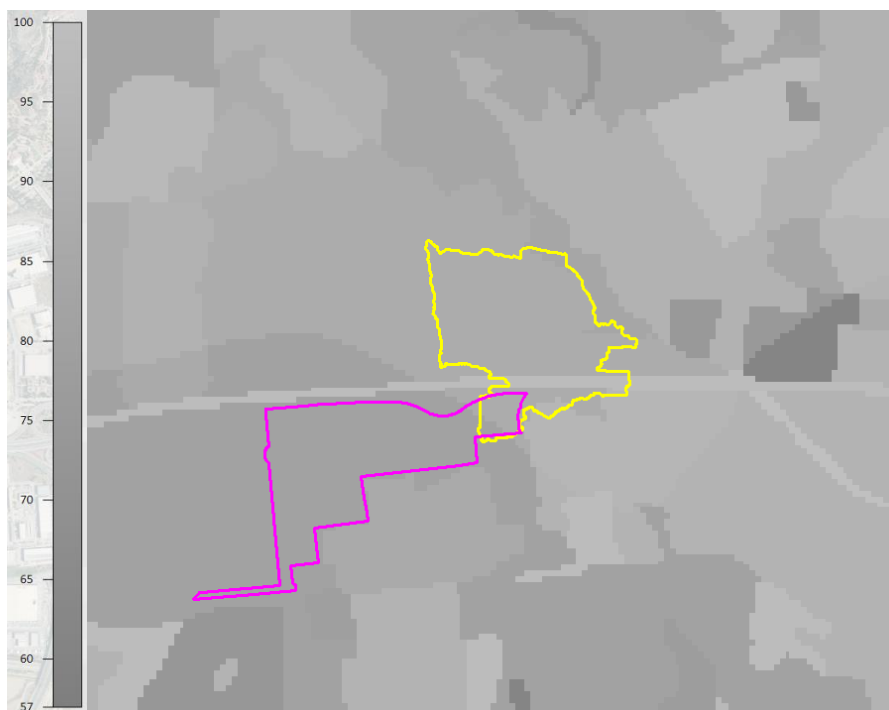
Δ_{50} : Desviación respecto al valor medio: intervalo de confianza correspondiente al 50%.

Se podrá justificar la conveniencia de adoptar un intervalo de confianza superior al definido con carácter general.

Para una mejor estimación de este parámetro, la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM) ha editado una capa SIG "Grid del Número de Curva en condición antecedente de humedad II. Andalucía" con una resolución de pixel de 20x20m. De esta se obtiene el valor promedio del parámetro Número de Curva con grado de humedad antecedente tipo II (CN II), del que se puede transformar en umbral de escorrentía (mm).

Este análisis se lleva a cabo a partir de la situación actual, se determinan los caudales a emplear en la zonificación fluvial.

Fruto del análisis de la cuenca de estudio, se obtienen los valores de P_0 correspondientes a la cuenca que a continuación se muestra. Se pueden distinguir los valores altos en tonos claros y los valores bajos en tonos oscuros. Como operación final se promedian los valores de P_0 de la cobertura SIG, por cada área de cuenca considerada.



Valores del umbral de escorrentía P_0 .

Es criterio de la Administración Hidráulica Andaluza no corregir el valor final del umbral de escorrentía P_0' , o sea, $\beta=1$. Visto lo anterior se adopta finalmente el valor de P_0 , que figura en las tablas, que a su vez cumple con la premisa del organismo de cuenca que cita textualmente, "En ningún caso se utilizarán valores de umbral de escorrentía ya corregidos P_0 superiores a 25mm. Así mismo, tampoco se aceptarán coeficientes de escorrentía C inferiores a 0,65 para un periodo de retorno de 500 años."

Como veremos a continuación, se cumplen ambos preceptos en la aplicación del método racional.

6.5.5 Criterio de caudal específico de cuenca.

Según especificaciones de la administración hidráulica, para determinar el caudal de la cuenca vertiente en el punto donde se proyecten las obras, se adoptará el mayor de los siguientes caudales:

1. El obtenido por el método racional previsto en la Instrucción 5.2 I.C. Drenaje Superficial con la modificación propuesta por J.R. Témez, adoptando valores de escorrentía no inferiores a 0.65 para un período de retorno de 500 años.
2. Los siguientes valores en función de las superficies vertientes para cuencas de naturaleza urbana o rústica.

Superficies (km ²)	Q (m ³ /s/km ²)	Características de los terrenos
0-5	20	Rústicos y Urbanos
5-20	20-15	Rústicos
5-30	20-15	Urbanos

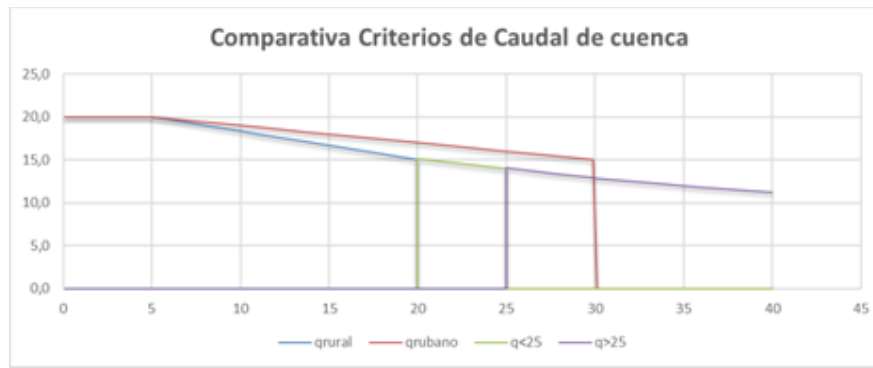
3. El valor arrojado de la siguiente fórmula empírica:

$$\text{Si } S > 25 \text{ km}^2$$

$$Q = 65.54 \cdot S^{0.522}$$

Si $S < 25 \text{ km}^2$

$$Q = 45 \cdot S^{0.636}$$



6.6 RESULTADOS.

A continuación, se presentan los resultados de la aplicación del método propuesto por la instrucción de carreteras 5.2 I.C. "Drenaje Superficial" anteriormente descrito a la cuenca de estudio, para los periodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años.

	Area		Zmax	Zmin	Pend	Tc Temez	Tc difuso	Tc					
Cuenca	(km2)	L (km)	(m)	(m)	(m/m)	(h)	(min)	adoptad	Kt	Ka			
Ayo San Carlos	0.297	1.253	56	33	0.01836	0.761108	NP	0.76111	1.0483	1			
	T Pd Q												
Cuenca	POi	βm	Δ50	Ft	βdt	P0 (mm)	(años)	(mm)	I1/Id	Pd·Ka	I	C	5.2IC
Ayo San Carlos	7.19	1.1	0.25	1.17	1	7.19	500	253.1	9	253.12	110.24	0.93	8.87
Ayo San Carlos	7.19	1.1	0.2	1.18	1	7.19	100	189.6	9	189.56	82.56	0.9	6.43
Ayo San Carlos	7.19	1.1	0.25	1.13	1	7.19	50	163.9	9	163.94	71.4	0.87	5.37
Ayo San Carlos	7.19	1.1	0.25	1.1	1	7.19	25	140.5	9	140.49	61.19	0.85	4.5
Ayo San Carlos	7.19	1.1	0.25	1	1	7.19	10	111.7	9	111.65	48.63	0.8	3.36
Ayo San Carlos	7.19	1.1	0.25	0.91	1	7.19	5	90.2	9	90.2	39.28	0.74	2.51

Como resultado final, para la avenida de 500 años, vemos que predomina el criterio empírico para superficies. A la vista de lo anterior, los caudales adoptados se resumen en la siguiente tabla.

Cuenca	Área (km ²)	Q10 (m ³ /s)	DPH	Q500 (m ³ /s)	ZI
Ayo. San Carlos	0.479	3.36		8.87	

7 ANEJO HIDRÁULICO

7.1 INTRODUCCIÓN.

En este anejo se recogen los trabajos realizados en el área hidráulica para modelar el tramo de cauce a estudiar.

En este anejo se determina, partiendo de la sección transversal del cauce a lo largo del tramo objeto del presente estudio y de los datos obtenidos en el anterior cálculo hidrológico, la sección hidráulica y perímetro mojado para el caudal de cálculo de la avenida de 10 y 500 años.

Para este cálculo no debemos tener en cuenta exclusivamente la forma de la sección transversal del cauce, el caudal y la pendiente, ya que, en el tramo del arroyo estudiado, se presentan variaciones en pendiente y sección que introducen importantes variaciones en el flujo de agua.

Teniendo en cuenta estas variaciones se determinará la sección hidráulica y altura de la lámina de agua a lo largo del tramo para la avenida de cálculo.

7.2 METODOLOGÍA APLICADA.

Se ha empleado el programa HEC-RAS "River Analysis System" del cuerpo de ingenieros de la armada de los EE. UU., para modelar 200 metros de cauce, con secciones transversales cada 5 m en promedio. El programa HEC-RAS aplica la fórmula de la energía a modelos de cauces. Para poder utilizarlo, hemos creado un modelo unidimensional, que simula su situación ante caudales correspondientes a las avenidas de cálculo.

Los datos que se han introducido para crear el modelo del arroyo en la situación actual son los siguientes:

- Topografía del sector en situación actual, procedente del levantamiento topográfico del sector realizado en 2023.
- Se han tenido en cuenta los máximos caudales de cálculo para las avenidas de 10, 25, 50, 100 y 500 años, a efecto de la determinación de la altura de lámina de agua en avenidas.
- Coeficiente de rugosidad de Manning. Se ha considerado un valor de 0,050 en el canal principal y 0.045 correspondiente a la cubierta del suelo en las riberas, apropiado para cauces naturales como es el caso que nos ocupa y adoptado en función de los valores experimentales presentados en la Bibliografía de Ven Te Chow (Hidráulica de los Canales Abiertos) y siguiendo las recomendaciones para estudios hidrológicos promulgadas por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía.
- Coeficientes de contracción y expansión 0.1 y 0.3 respectivamente para la estimación de las pérdidas de energía.
- Dada la pendiente natural se adoptan como condiciones de contorno, el calado crítico para aguas arriba y la pendiente del lecho para aguas abajo, para un cálculo hidráulico en régimen mixto, para tener en consideración los posibles cambios de régimen (resaltos hidráulicos, etc).

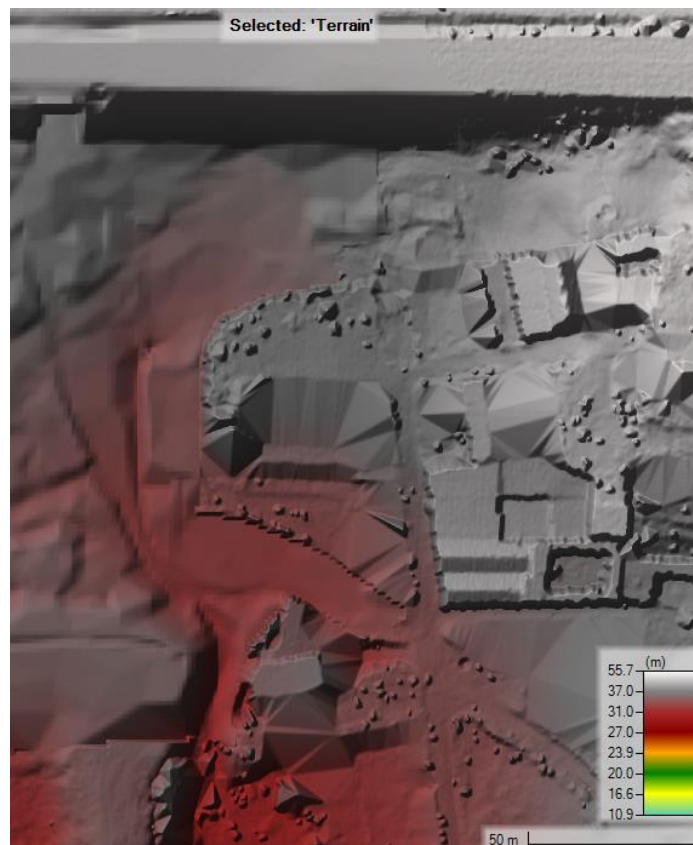
TRAMO DE ESTUDIO.



Elementos del modelo hidráulico realizado.

7.2.1 Confección del modelo digital del terreno.

Con el fin de recoger la situación actual, se confecciona un modelo digital del terreno, a partir de la topografía del sector obtenida en 2023. En la siguiente imagen del MDT confeccionado.



MDT confeccionado para el modelo hidráulico en estado actual

7.2.2 Estructuras presentes en el modelo.

En el tramo de estudio se localiza aguas abajo de la ODT de la A-357 y aguas arriba del sector "Cortijo Merino". No se encuentran estructuras de interés para representar en el modelo hidráulico.

7.3 RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE LOS MISMOS.

En primer lugar, se estudia el comportamiento del cauce ante la avenida de 10, 100 y 500 años, con el ánimo de conocer las principales variables hidráulicas.

Se muestran los resultados para el estado actual.

7.3.1 Tablas de resultados.

En los datos que se adjuntan, se muestran los resultados obtenidos en el cálculo con la lámina de agua de la avenida de 10 y 500 años.

Estos datos se pueden contrastar numéricamente en las tablas de resultados que incluyen los siguientes valores:

- Sección: sección transversal a la que se refieren los resultados.
- Perfil: avenida de cálculo.
- Q total: caudal de la avenida de cálculo.
- Alt. Min. Canal: altura de la base del canal en la sección de cálculo.
- Cota crítica: cota de la lámina de agua para el caudal de cálculo en régimen crítico.
- Pte. Energía: pendiente de energía en la sección considerada.
- Velocidad: velocidad calculada en la sección.
- Sup. Mojada: superficie de la sección transversal de agua.
- Anch. Sup: anchura ocupada por el agua en la sección de cálculo.
- N° Froude: número de froude de la sección de cálculo.

A partir de los datos obtenidos se plasma en el tramo objeto de estudio los límites que determinan la zona inundable.

7.3.1.1 Tabla de resultados T10.

River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
194	T010	3.36	37.29	37.64	37.64	37.76	0.04036	1.56	2.15	8.86	1.01
190	T010	3.36	36.52	36.67	36.8	37.33	0.712812	3.59	0.94	9.57	3.66
186	T010	3.36	36.41	36.64	36.64	36.72	0.048482	1.3	2.63	18.32	1.04
182	T010	3.36	36.26	36.46	36.45	36.51	0.033214	1.07	3.3	24.98	0.86
177	T010	3.36	36.12	36.31	36.3	36.36	0.034989	1.05	3.34	26.64	0.87
172	T010	3.36	35.92	36.17		36.22	0.020855	0.96	3.86	28.82	0.7
166	T010	3.36	35.79	36.01	36.01	36.07	0.037479	1.16	3.15	25.71	0.91
160	T010	3.36	35.51	35.72	35.73	35.81	0.045861	1.28	2.67	17.67	1.01
154	T010	3.36	35.19	35.44	35.44	35.52	0.046862	1.29	2.68	18.51	1.02
147	T010	3.36	34.99	35.24	35.21	35.29	0.023836	1	3.39	19.22	0.74
142	T010	3.36	34.88	35.12		35.17	0.022246	0.99	3.43	18.45	0.72
134	T010	3.36	34.62	34.92		34.98	0.026431	1.09	3.08	16	0.79
128	T010	3.36	34.31	34.67	34.67	34.77	0.042419	1.44	2.34	11.35	1.01
120	T010	3.36	33.82	34.41	34.29	34.49	0.015441	1.28	2.63	6.97	0.67
115	T010	3.36	33.48	34.36		34.42	0.010096	1.15	2.91	6.4	0.55
110	T010	3.36	33.48	34.32		34.38	0.007859	1.05	3.2	6.73	0.49
104	T010	3.36	33.39	34.28		34.33	0.007332	0.98	3.41	7.53	0.47
100	T010	3.36	33.38	34.16		34.27	0.019304	1.48	2.27	5.6	0.74
94	T010	3.36	33.23	33.94	33.94	34.13	0.036554	1.9	1.77	5.08	1
89	T010	3.36	33.08	33.77	33.82	33.94	0.031209	1.91	2.16	13.08	0.95
84	T010	3.36	33.03	33.55	33.6	33.73	0.059061	1.97	1.97	13.06	1.23
79	T010	3.36	32.99	33.53	33.43	33.57	0.012541	0.94	3.55	13.63	0.57
73	T010	3.36	32.9	33.43		33.5	0.014346	1.24	2.84	8.67	0.64
68	T010	3.36	32.88	33.3	33.3	33.4	0.031089	1.38	2.64	14.59	0.89
64	T010	3.36	32.83	33.21	33.17	33.24	0.016875	0.95	4.05	25.79	0.64
60	T010	3.36	32.8	33.14		33.17	0.009272	0.77	5.46	35.94	0.49
54	T010	3.36	32.63	33.03	33.03	33.08	0.016228	1.1	4.18	39.07	0.66
49	T010	3.36	32.42	32.96	32.81	33	0.007372	0.86	4.47	32.24	0.46
43	T010	3.36	32.33	32.88	32.77	32.94	0.011744	1.13	3.24	18.76	0.59
35	T010	3.36	32.06	32.73	32.64	32.83	0.017904	1.38	2.44	6.41	0.71
30	T010	3.36	32.1	32.52	32.52	32.68	0.037416	1.78	1.89	5.95	1.01
22	T010	3.36	31.69	32.36	32.2	32.45	0.011143	1.3	2.61	5.53	0.58
14	T010	3.36	31.48	32.25	32.1	32.34	0.01397	1.38	2.44	5.31	0.64
10	T010	3.36	31.53	32.19	32.08	32.29	0.014917	1.36	2.49	6.34	0.66
4	T010	3.36	31.5	32.14	31.98	32.21	0.010008	1.2	2.86	6.51	0.56

7.3.1.2 Tabla de resultados T500.

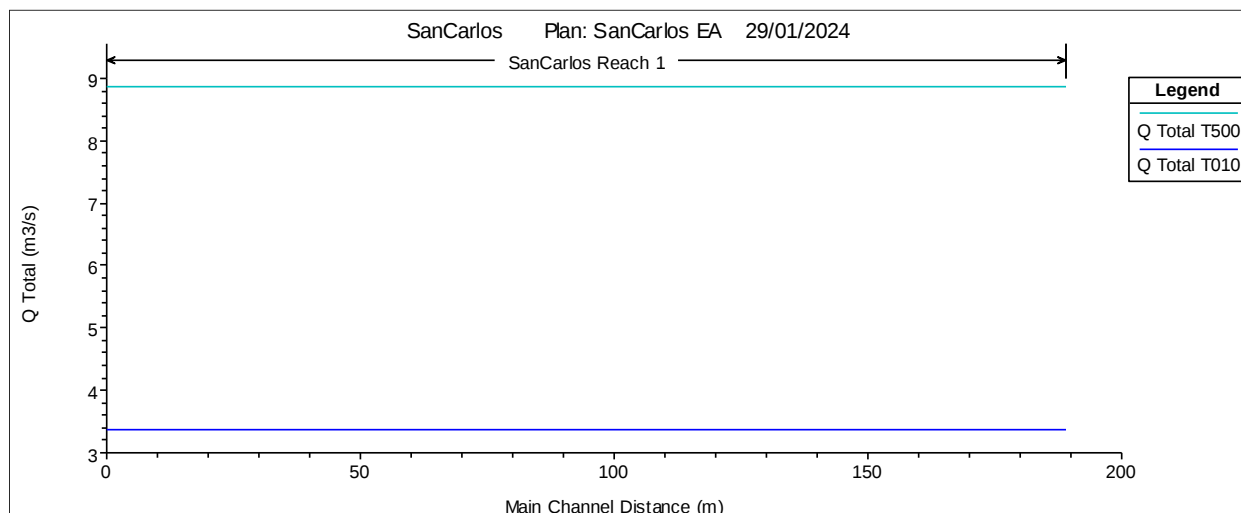
River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
194	T500	8.87	37.29	37.87	37.87	38.07	0.032472	1.99	4.49	11.58	0.99
190	T500	8.87	36.52	36.78	36.99	37.7	0.450723	4.26	2.08	11.74	3.21
186	T500	8.87	36.41	36.73	36.79	36.94	0.066375	2.06	4.53	22.16	1.31
182	T500	8.87	36.26	36.54	36.57	36.68	0.049392	1.73	5.51	28.36	1.12
177	T500	8.87	36.12	36.42	36.42	36.52	0.032336	1.45	6.55	32.1	0.92
172	T500	8.87	35.92	36.29	36.26	36.37	0.021673	1.33	7.43	33.07	0.77
166	T500	8.87	35.79	36.12	36.12	36.22	0.031922	1.52	6.51	32.1	0.92
160	T500	8.87	35.51	35.86	35.89	36	0.037524	1.73	5.74	30.44	1.01
154	T500	8.87	35.19	35.55	35.58	35.72	0.0512	1.9	4.97	22.96	1.16
147	T500	8.87	34.99	35.39	35.35	35.49	0.022352	1.37	6.44	21.47	0.79
142	T500	8.87	34.88	35.29		35.38	0.017952	1.32	6.79	21.19	0.72
134	T500	8.87	34.62	35.06	35.05	35.19	0.030618	1.63	5.51	18.5	0.92
128	T500	8.87	34.31	34.91		35.03	0.021848	1.55	5.84	16.81	0.8
120	T500	8.87	33.82	34.78		34.89	0.015004	1.49	5.95	13.54	0.68
115	T500	8.87	33.48	34.69	34.5	34.81	0.016644	1.58	5.98	20.1	0.72
110	T500	8.87	33.48	34.62		34.74	0.012144	1.54	6.27	18.77	0.63
104	T500	8.87	33.39	34.58		34.68	0.008624	1.42	7.34	24.16	0.54
100	T500	8.87	33.38	34.49	34.49	34.62	0.014312	1.7	6.54	29.65	0.69
94	T500	8.87	33.23	34.14	34.24	34.47	0.046782	2.71	3.98	16.25	1.2
89	T500	8.87	33.08	33.92	33.99	34.19	0.044702	2.64	4.21	14.93	1.17
84	T500	8.87	33.03	33.84	33.76	33.93	0.014904	1.46	6.61	18.87	0.68
79	T500	8.87	32.99	33.8		33.86	0.007767	1.17	7.99	17.94	0.51
73	T500	8.87	32.9	33.64	33.64	33.79	0.02564	1.74	5.45	20.44	0.87
68	T500	8.87	32.88	33.43	33.48	33.61	0.045448	1.97	4.88	20.1	1.12
64	T500	8.87	32.83	33.34	33.28	33.41	0.016049	1.26	7.65	27.66	0.68
60	T500	8.87	32.8	33.3		33.34	0.006287	0.88	11.3	36.85	0.44
54	T500	8.87	32.63	33.28		33.3	0.003362	0.76	14.1	40.77	0.33
49	T500	8.87	32.42	33.27		33.28	0.001834	0.65	17.3	45.4	0.25
43	T500	8.87	32.33	33.25		33.27	0.001806	0.7	16.2	37.51	0.26
35	T500	8.87	32.06	33.08	32.96	33.22	0.015655	1.68	5.58	14.8	0.71
30	T500	8.87	32.1	32.82	32.82	33.08	0.03026	2.29	3.92	7.68	0.99
22	T500	8.87	31.69	32.74	32.54	32.91	0.012361	1.85	4.99	7.28	0.66
14	T500	8.87	31.48	32.56	32.46	32.78	0.01844	2.1	4.36	7.31	0.79
10	T500	8.87	31.53	32.62	32.41	32.69	0.006257	1.31	7.45	11.36	0.47
4	T500	8.87	31.5	32.51	32.29	32.65	0.01	1.64	5.62	8.32	0.6

7.3.2 Gráficas de resultados.

A continuación, se presentan los resultados de la aplicación del modelo de forma gráfica.

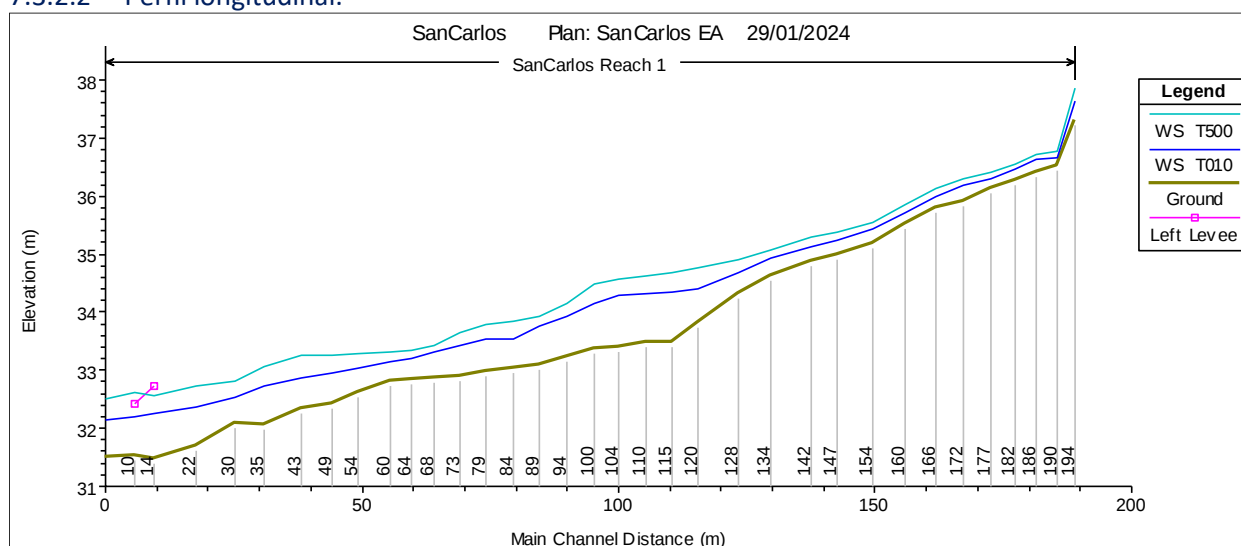
7.3.2.1 Asignación de caudales en el tramo de estudio.

En el presente apartado se muestra como han sido asignados los caudales obtenidos a lo largo de los tramos de estudio, en azul para periodo de retorno de 10 años y cian para el de 500 años.



Asignación de caudales del arroyo San Carlos.

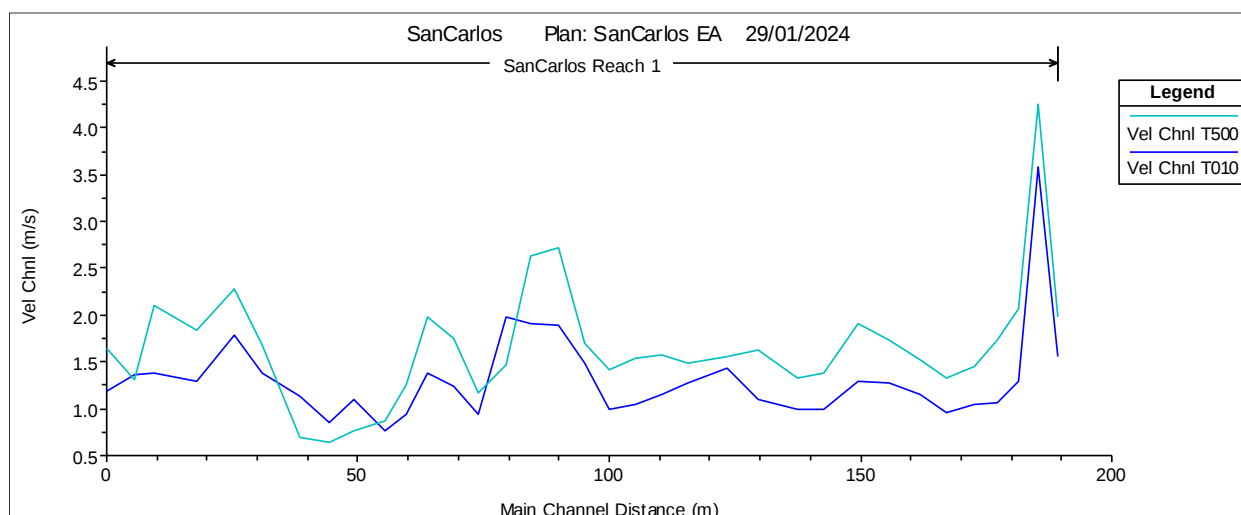
7.3.2.2 Perfil longitudinal.



Perfil longitudinal del arroyo San Carlos en estado actual.

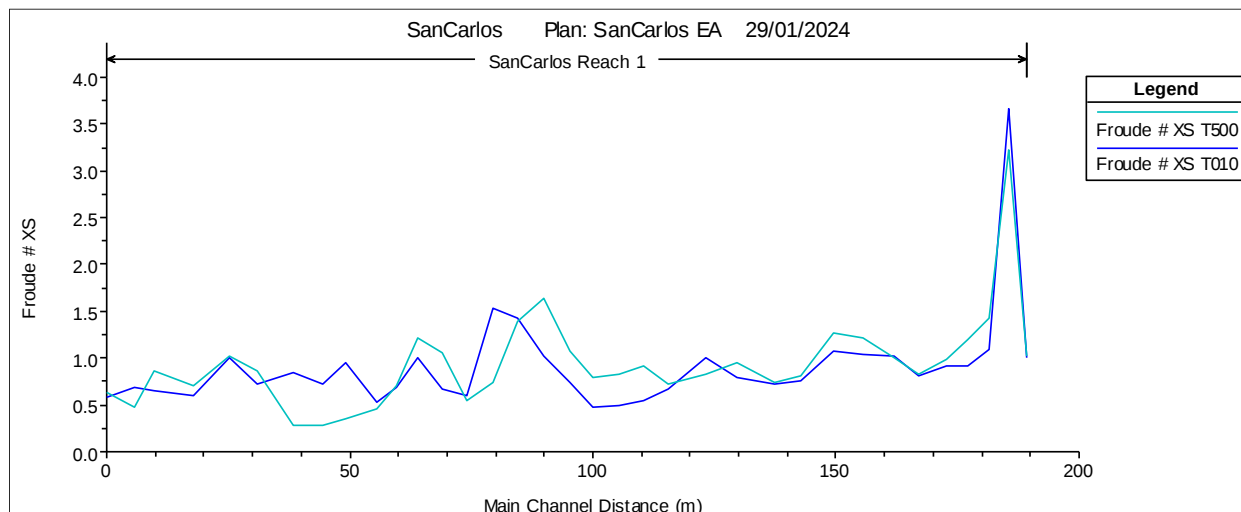
7.3.2.3 Perfil de velocidades.

Seguidamente, podemos observar los dominios de velocidades en el rango del canal central.



Perfil de velocidades en el arroyo San Carlos.

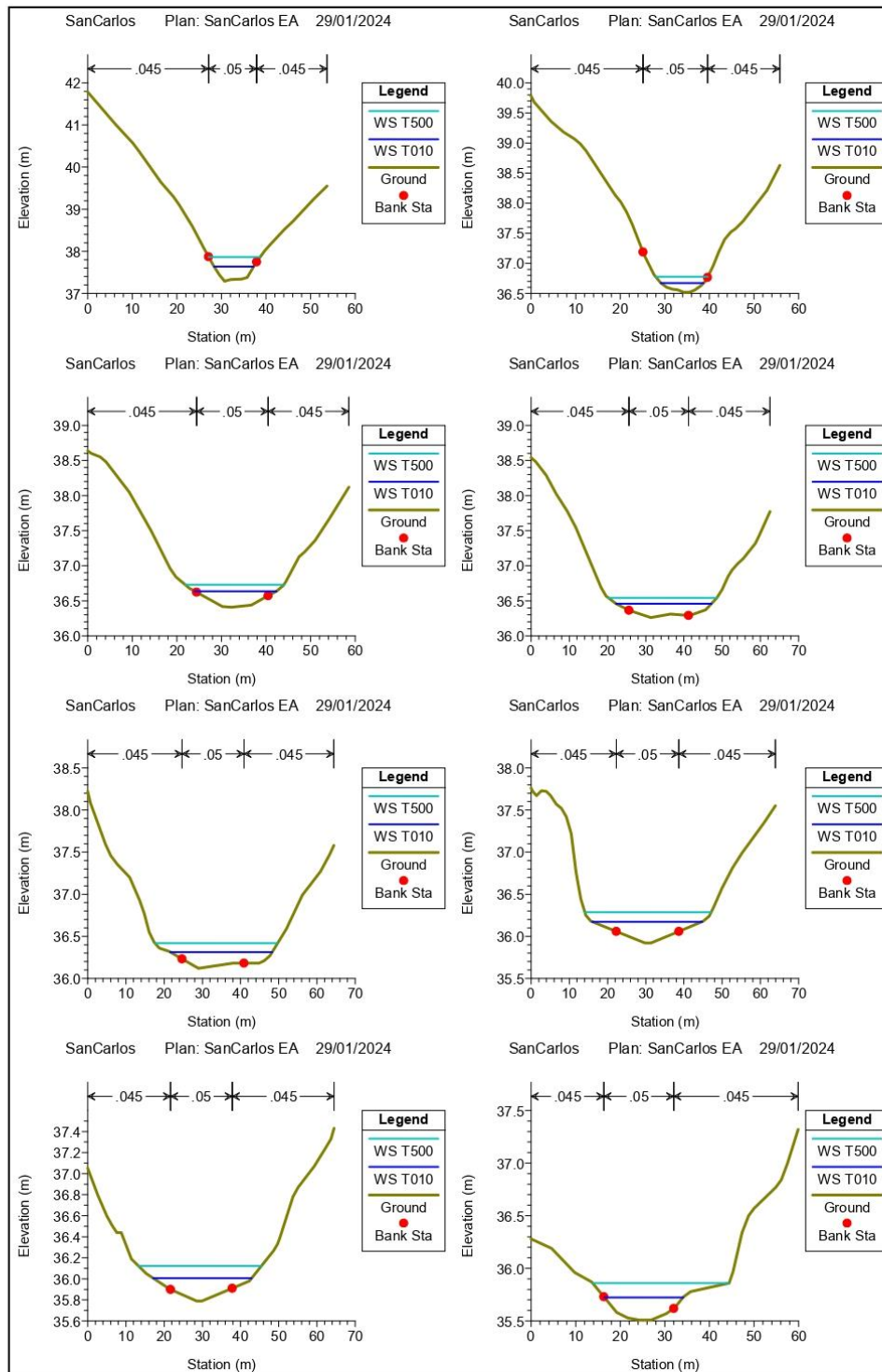
Análogamente a lo anterior, vemos como el número de Froude, indicativo del régimen del flujo, produce alternancia de valores ≥ 1 , propia de la variabilidad de cauces naturales con secciones irregulares. Los valores ≥ 1 es indicativo de régimen supercrítico, por lo que queda de manifiesto que en la situación actual los fenómenos erosivos se dan naturalmente en el cauce durante las avenidas.

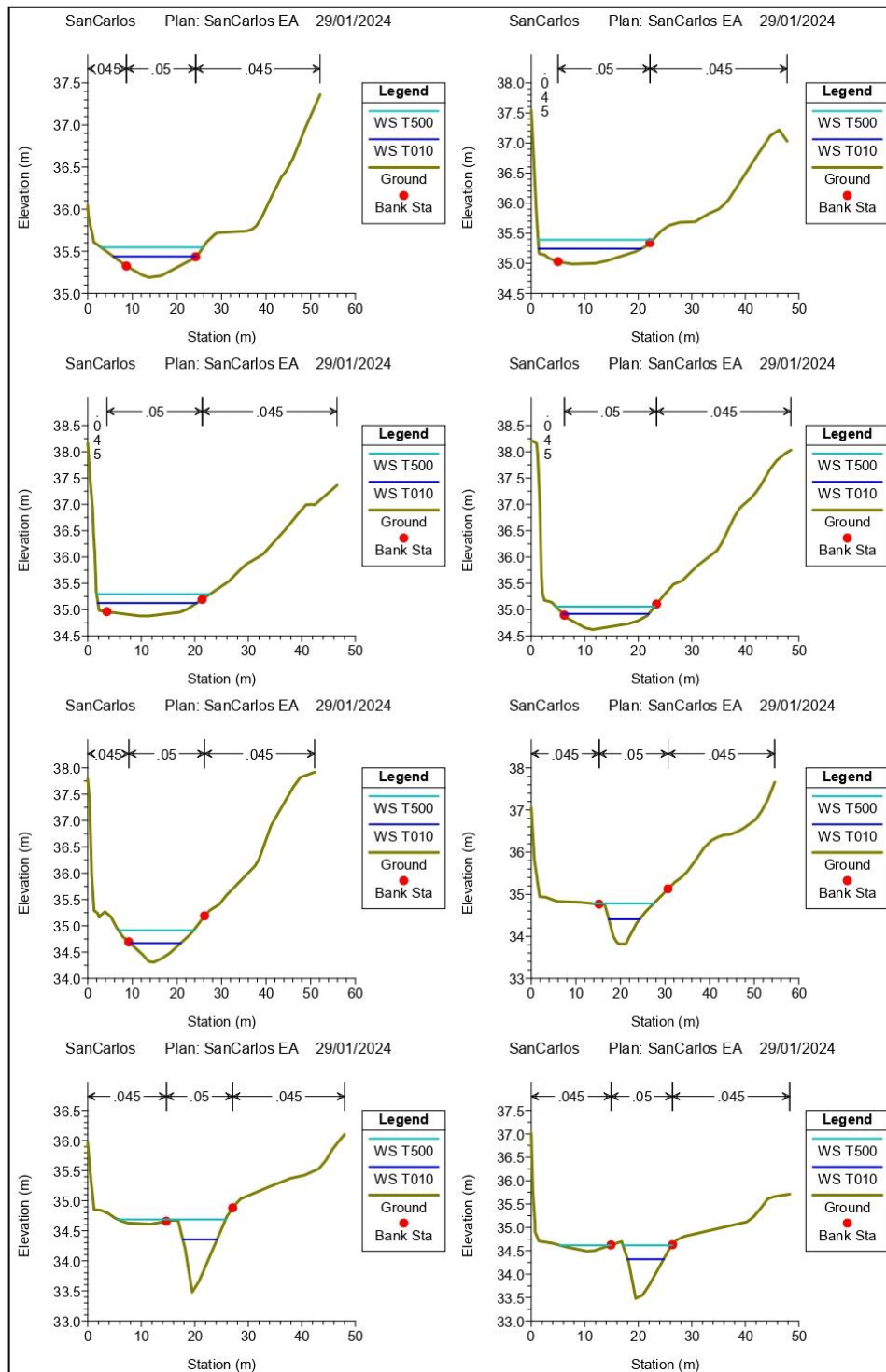


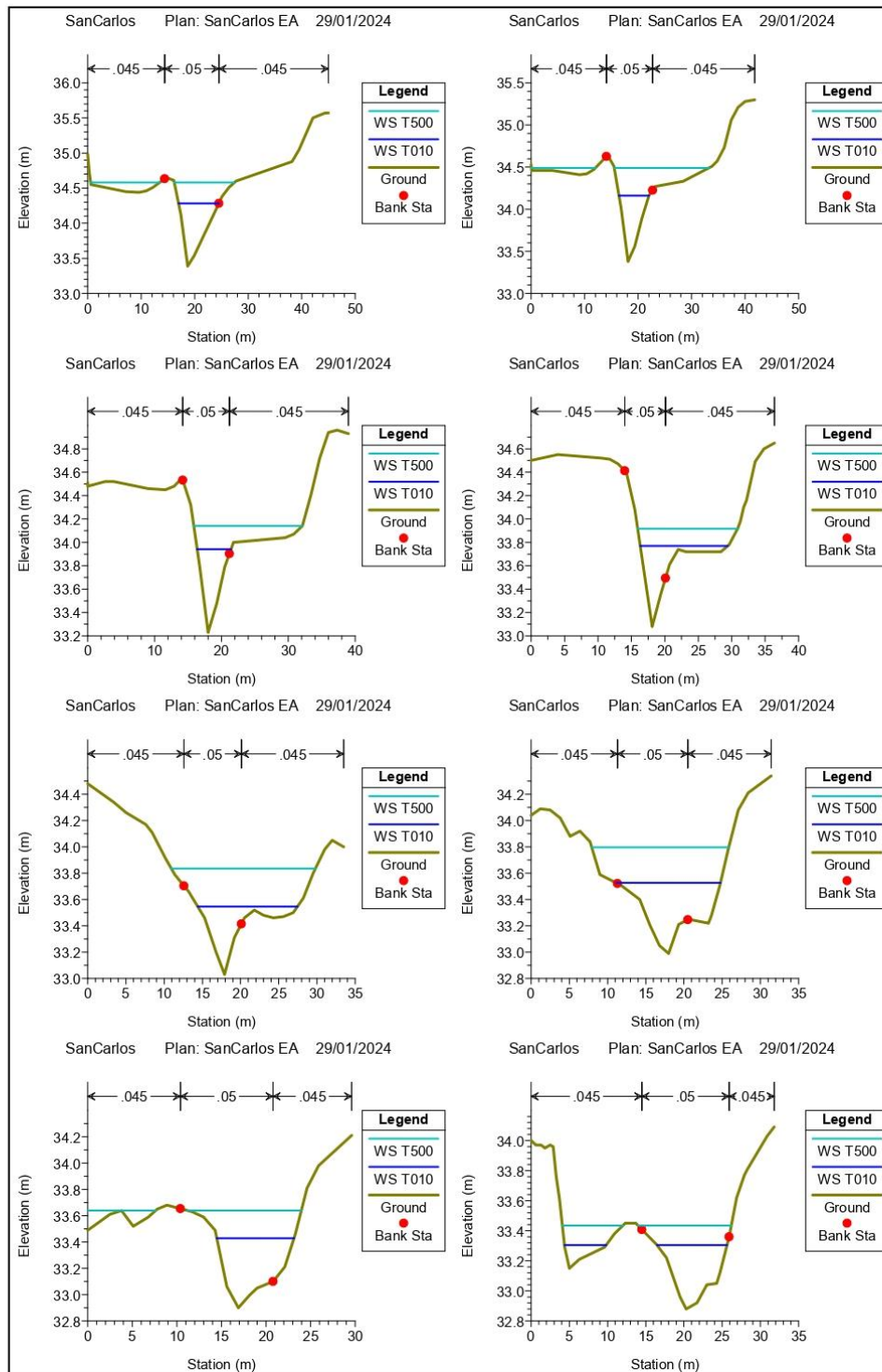
Perfil de número de Froude en el arroyo San Carlos.

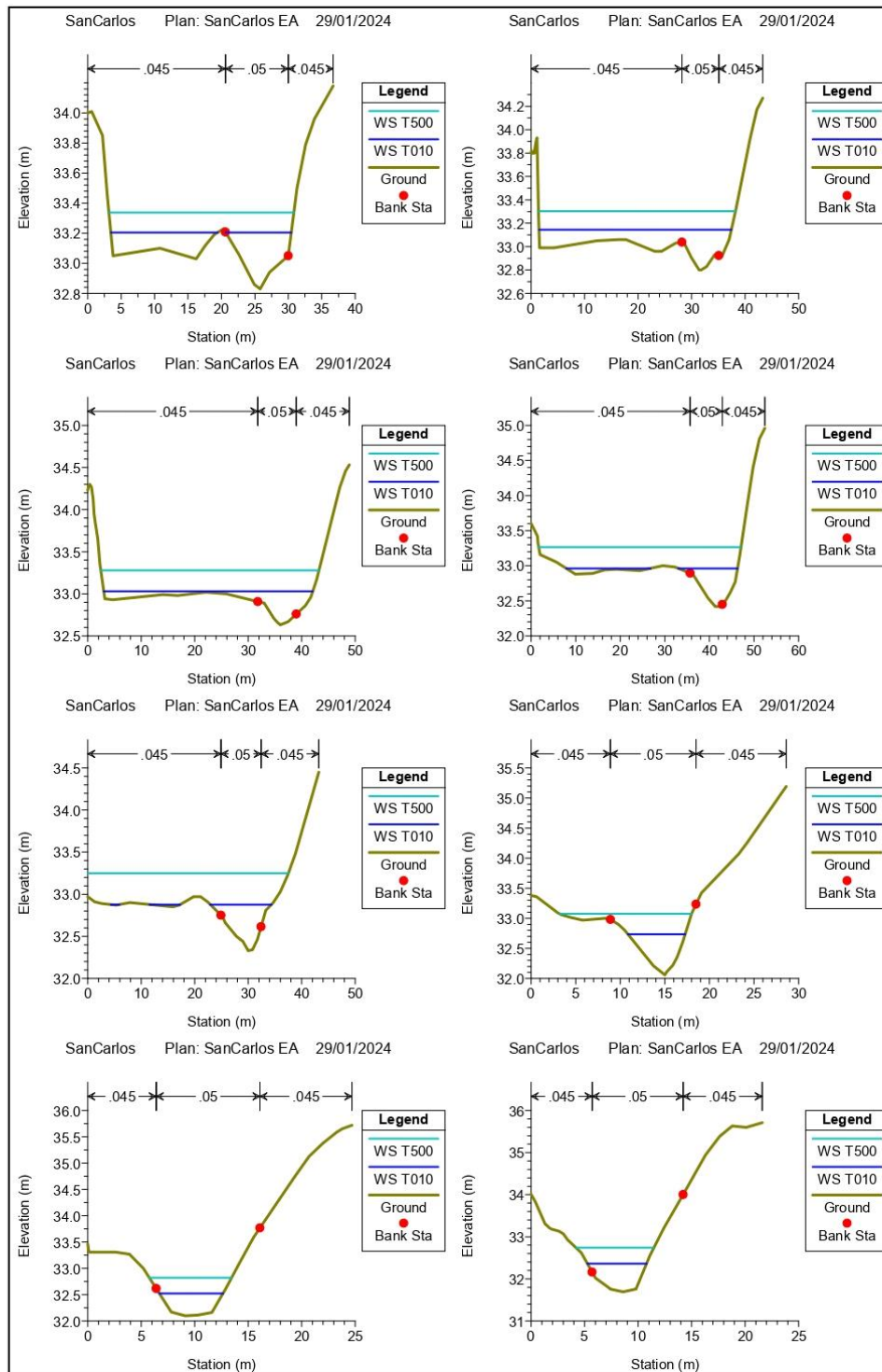
7.3.2.4 Secciones transversales en estado actual.

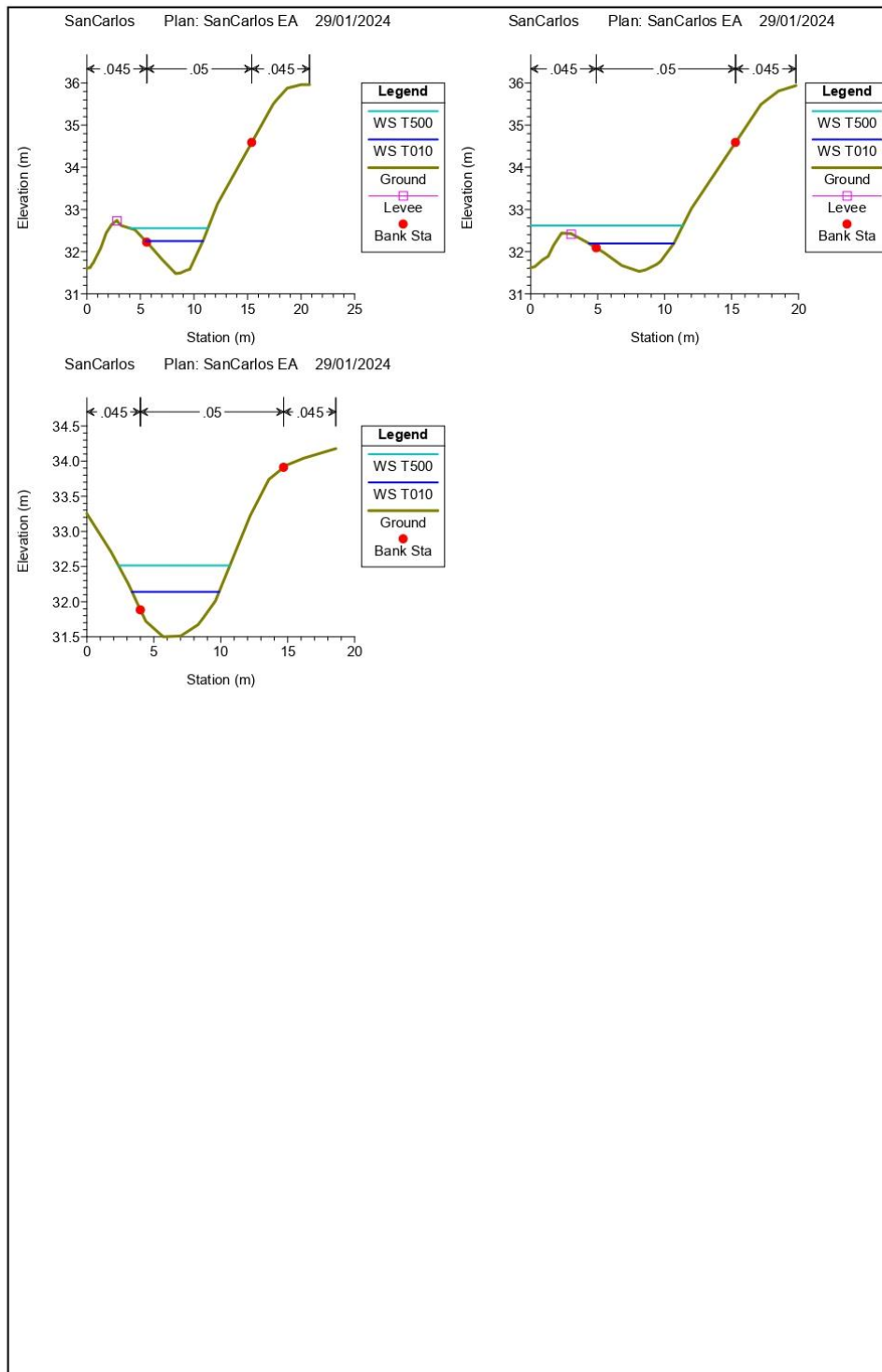
A continuación, se presentan las secciones del cauce a lo largo del tramo objeto del presente estudio. Figuran las alturas de lámina de agua para la avenida de 10 y 500 años.











7.3.2.5 Vista sobre ortofoto de calados T10 en estado actual.



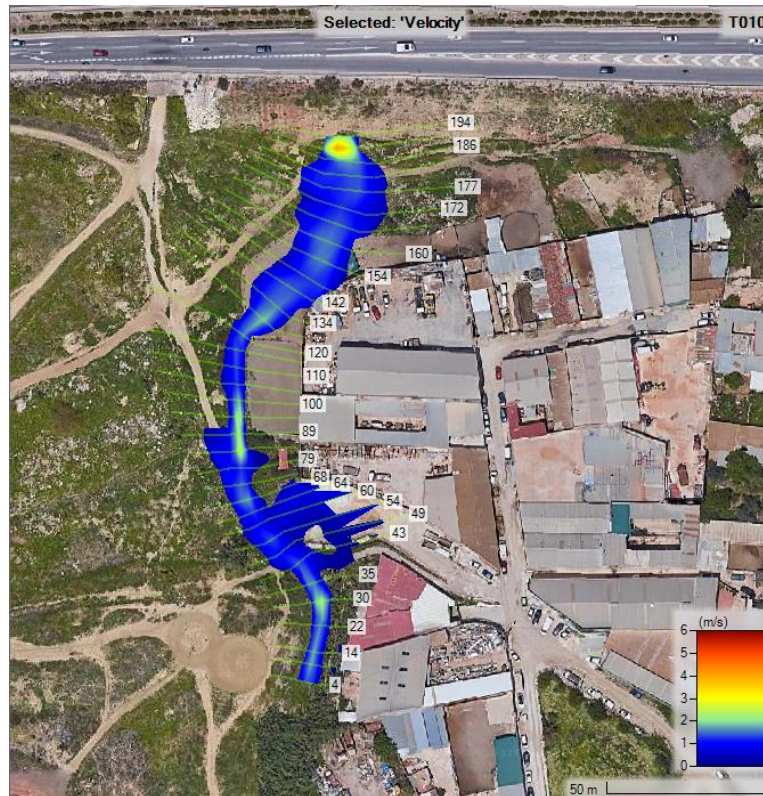
Vista de calados para avenida T10 en estado actual.

7.3.2.6 Vista sobre ortofoto de calados T500 en estado actual.



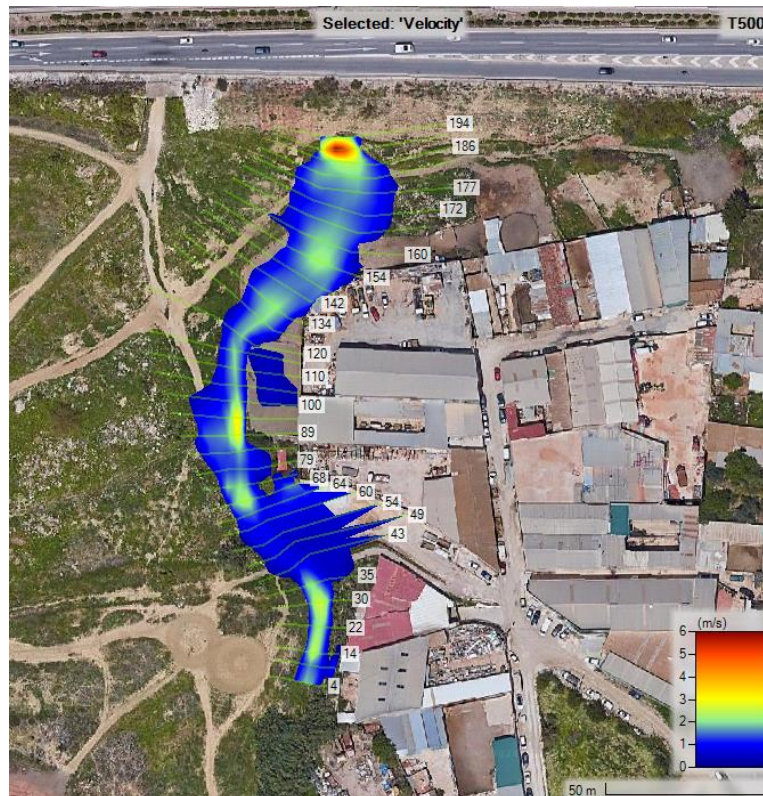
Vista de calados para avenida T500 en estado actual.

7.3.2.7 Vista sobre ortofoto de velocidades T10 en estado actual.



Vista de velocidades para avenida T10 en estado actual.

7.3.2.8 Vista sobre ortofoto de velocidades T500 en estado actual.

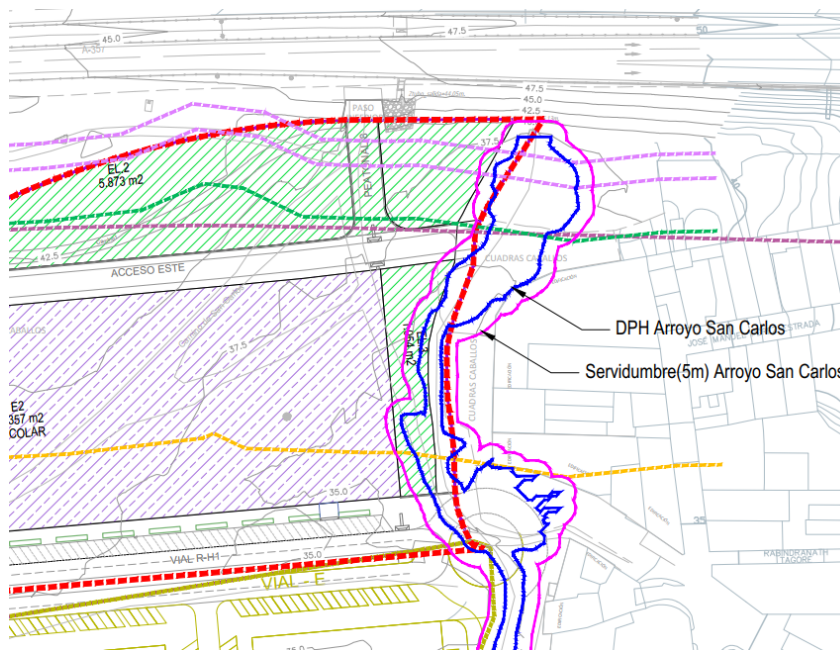


Vista de velocidades para avenida T500 en estado actual.

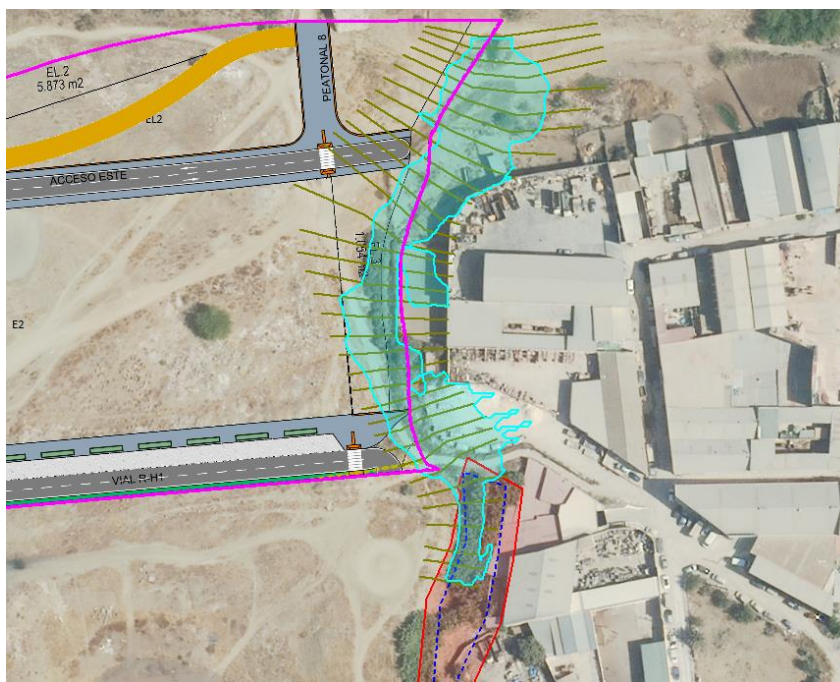
7.4 CONCLUSIÓN.

El estudio realizado presenta un nivel de detalle suficiente, de modo que entendemos que refleja con definición las singularidades del comportamiento del cauce en situación de avenida en el tramo de estudio. La realización del Estudio Hidrológico e Hidráulico del arroyo San Carlos en el tramo de estudio ha permitido:

- Según la estimación de DPH del arroyo San Carlos, la parcela de estudio respeta tanto el DPH como la zona de servidumbre y se encuentra en en Zona de Policía.

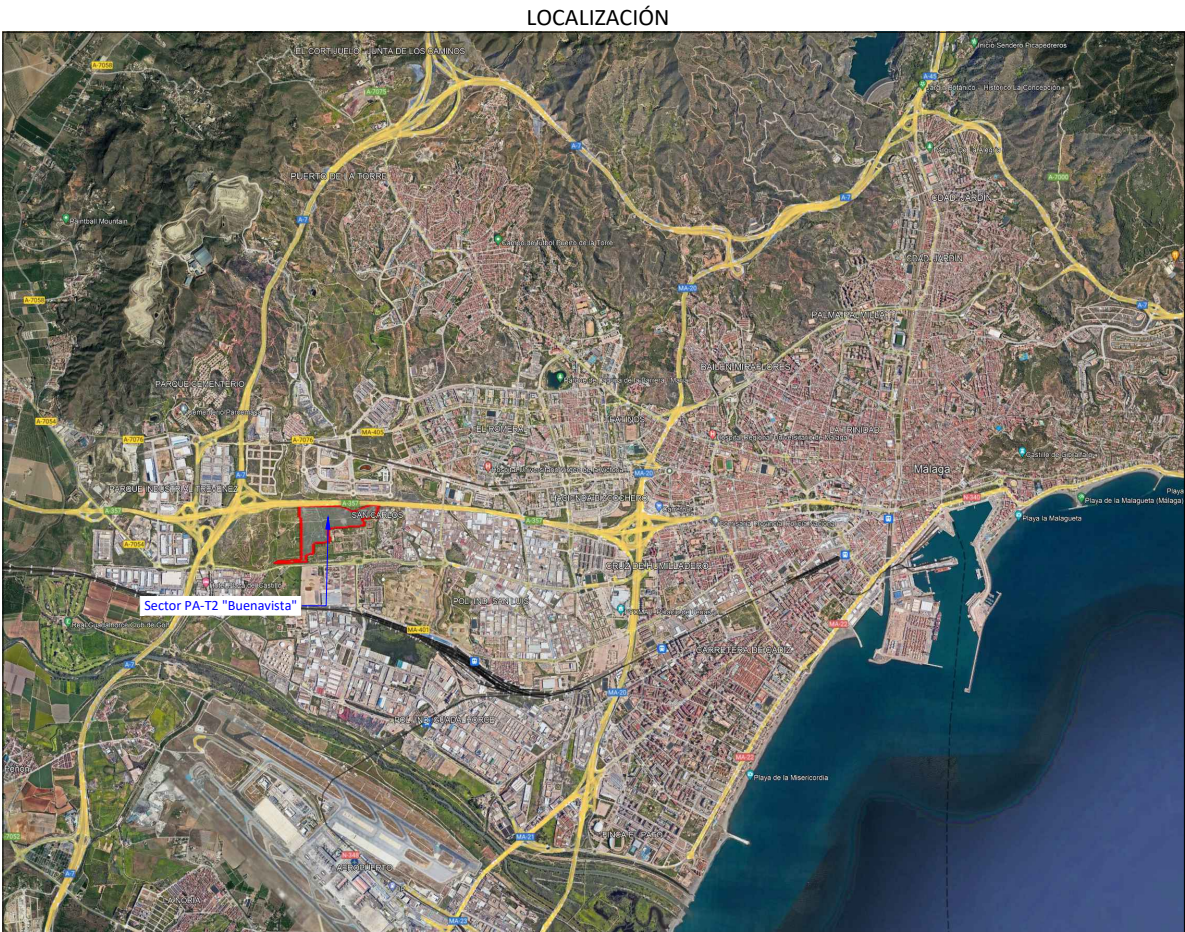
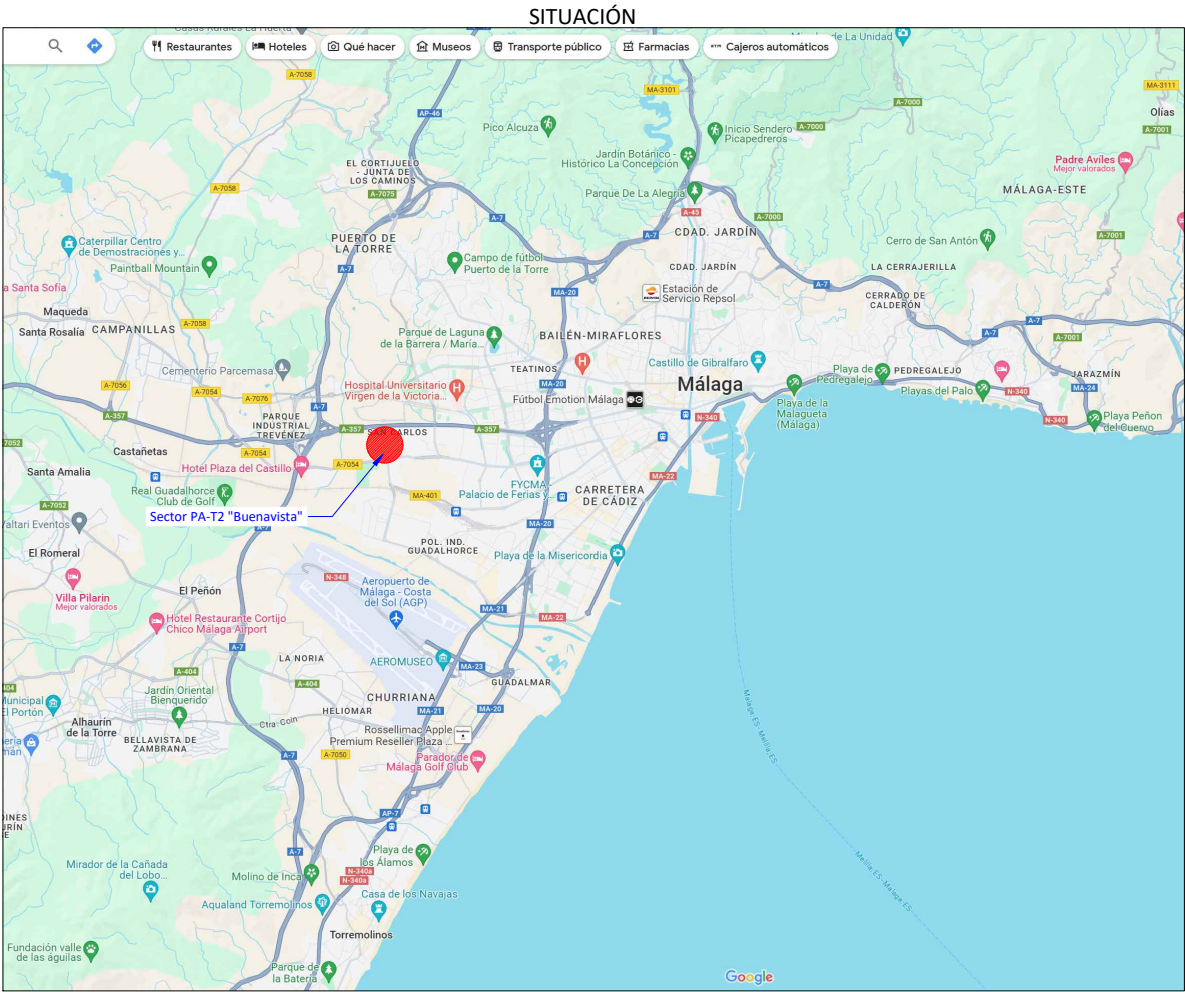


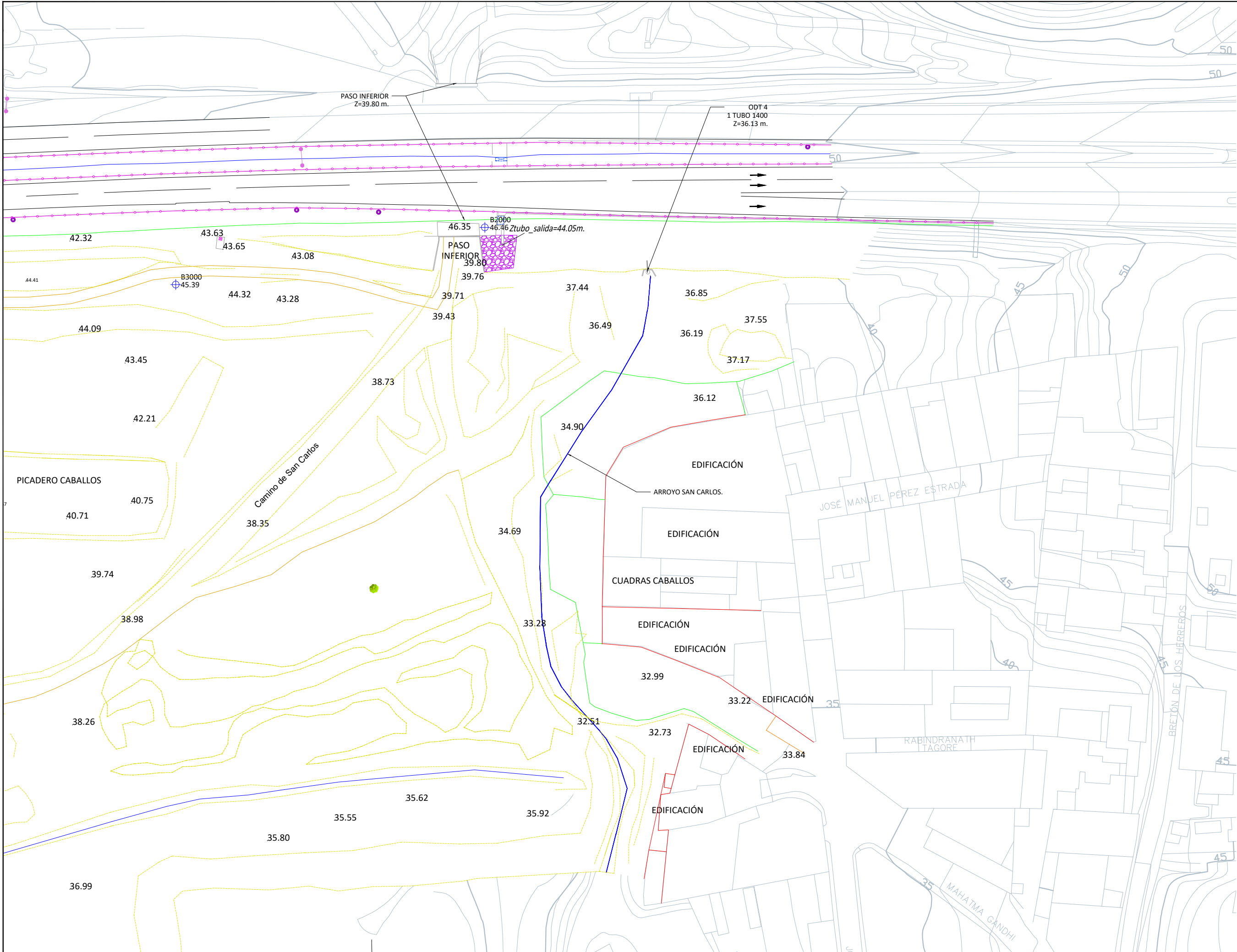
- En la situación actual, la parcela de estudio se encuentra libre de afecciones por la zona inundable (cian).

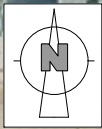


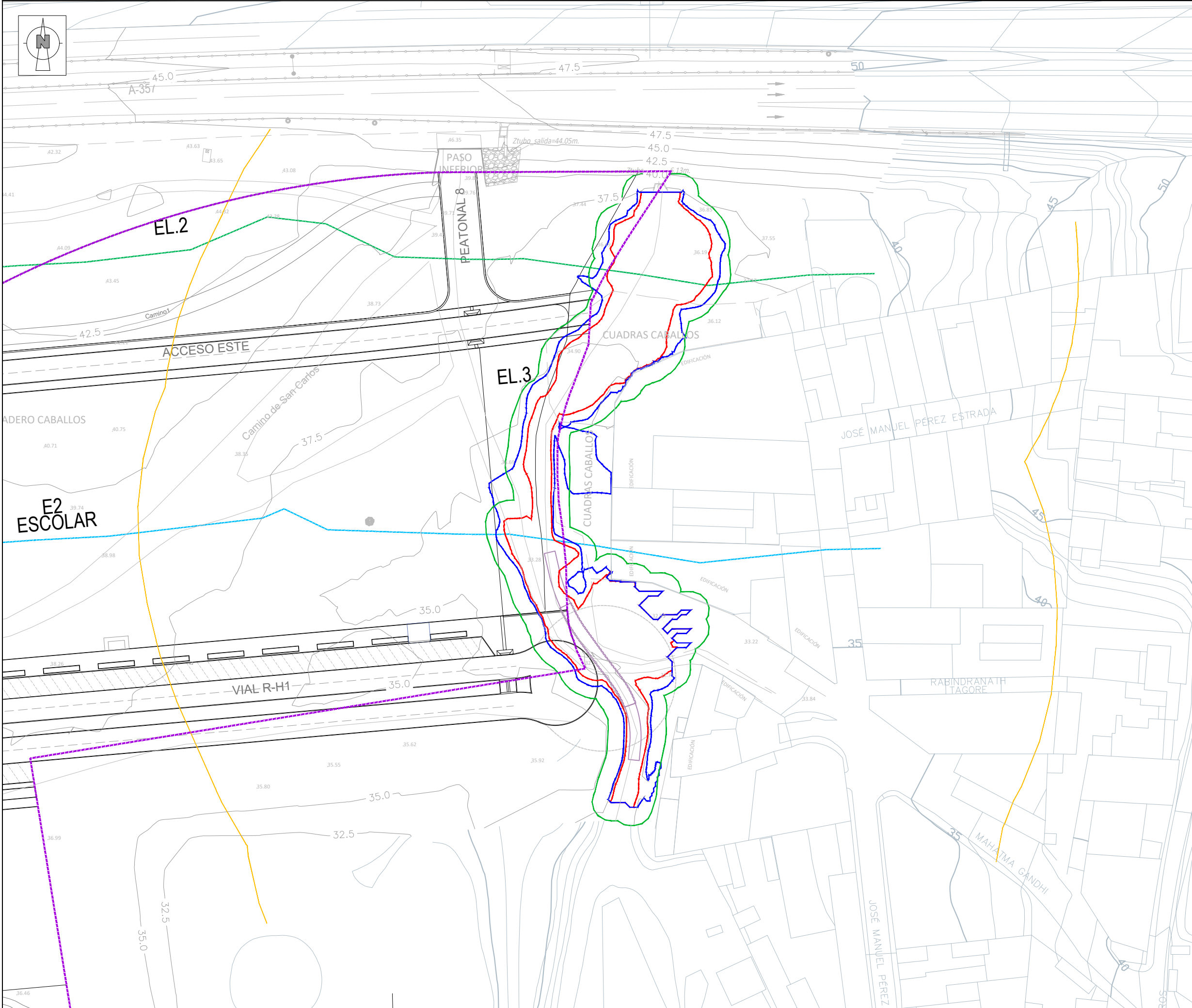
Vista de las zonas inundables T500 (cian).

PLANOS.

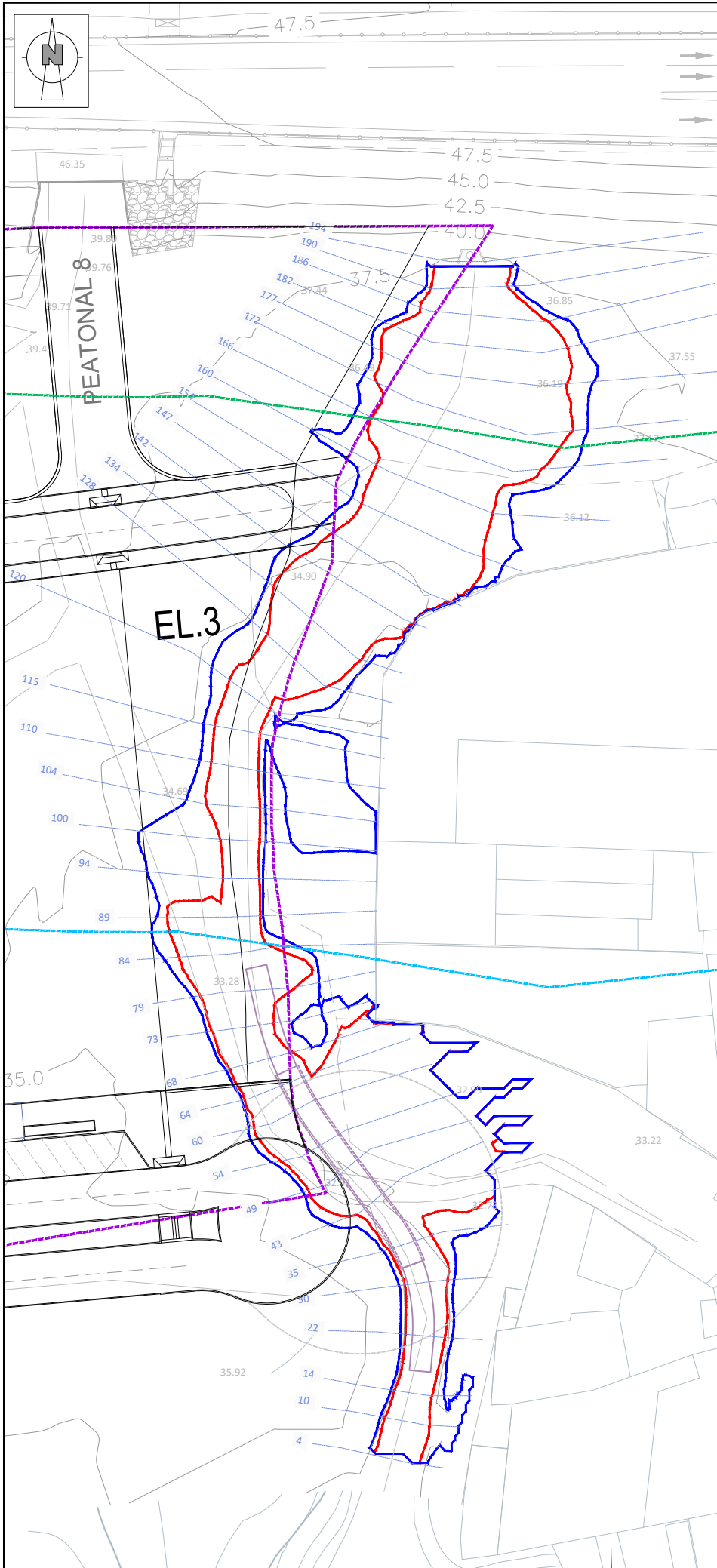




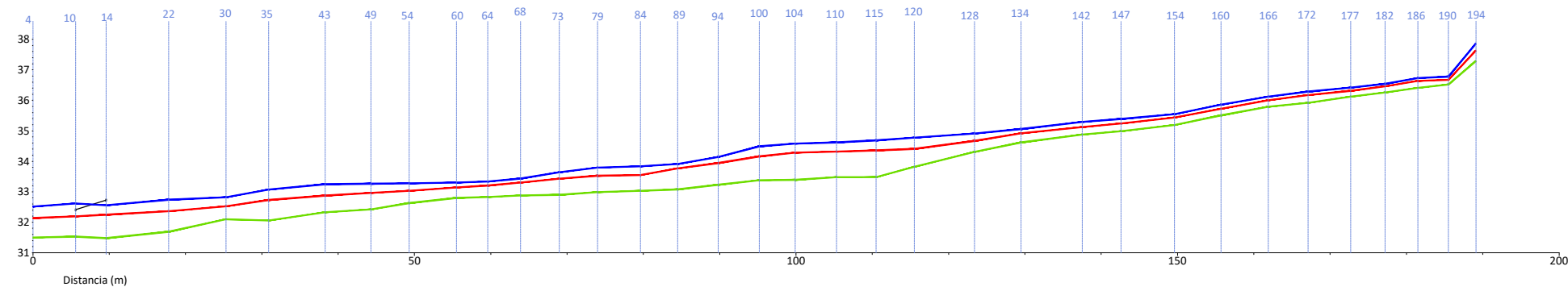




- LIMITE DEL SECTOR
- ZONA D.P.H (T10)
- ZONA SERVIDUMBRE (5m DPH)
- ZONA INUNDABILIDAD (T500)
- ZONA POLICÍA



PERFIL LONGITUDINAL
EH 1/800 EV 1/200



- LIMITE DEL SECTOR
- ZONA D.P.H (T10)
- ZONA INUNDABILIDAD (T500)