

## **ANEJO Nº 07.- ESTUDIO DE INUNDABILIDAD**



**ANEJO Nº 07.- ESTUDIO DE INUNDABILIDAD****Índice**

<b>1</b>	<b>ESTUDIO DE INUNDABILIDAD .....</b>	<b>1</b>
----------	---------------------------------------	----------

*APÉNDICE 1: ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL PROYECTO BÁSICO Y ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DE LA E.D.A.R. Y COLECTORES GENERALES DE PEÑÍSCOLA, ELABORADO POR LA EMPRESA CIOPU.*

*APÉNDICE 2: VALIDACIÓN DEL ESTUDIO DE INUNDABILIDAD REALIZADO*



## **1 ESTUDIO DE INUNDABILIDAD**

En la documentación adjunta al Pliego de Bases del Concurso, en el Anejo nº10, se incluye un Estudio de inundabilidad elaborado por la empresa CIOPU. Dicho estudio se ha analizado detalladamente y se ha adaptado a las características constructivas del Proyecto de Construcción de la nueva E.D.A.R.

En el apartado 4.3. Resultados obtenidos, del mismo, se concluye que:

Se observa que la cota de la lámina de agua (para la avenida de 500 años) resulta de 39,00 m. en el perímetro de la parcela de la EDAR coincidente con el margen izquierdo de la rambla.

En el presente proyecto de construcción, la situación de la EDAR no ha cambiado y la cota de urbanización prevista es la 47,00. Por tanto, existe un resguardo suficiente para garantizar el nivel de seguridad exigido para este tipo de infraestructuras.

Se incluye en el Apéndice 1 copia del citado Estudio de Inundabilidad.

Además, y a modo de comprobación, se ha realizado en el Apéndice 2 una validación del estudio de inundabilidad realizado por CIOPU recalculando y justificando los datos básicos de partida (dimensiones de la cuenca y valor de precipitación en la zona) y realizando de nuevo un modelo hidrológico en relación con la topografía con la que se cuenta para poder comparar las cotas de inundación máximas para el periodo de retorno de 500 años y su extensión.



## APÉNDICE Nº 1.- ESTUDIO DE INUNDABILIDAD



**APÉNDICE Nº 1.- ESTUDIO DE INUNDABILIDAD****Índice**

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>NIVEL DE PROTECCIÓN FRENTE A INUNDACIONES. ....</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA HIDROLÓGICA. ....</b>	<b>1</b>
3.1	ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES. ....	1
3.2	PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA A ESTUDIO.....	2
3.3	ZONIFICACIÓN HIDROLÓGICA. ....	2
3.4	ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES GENERADOS. ....	4
3.4.1	MODELO HEC-HMS.....	4
3.4.2	CONCEPTUALIZACIÓN DEL SISTEMA HIDROLÓGICO. SUBMODELO DE CUENCA. ....	4
3.4.3	SUBMODELO METEOROLÓGICO.....	5
3.4.4	SUBMODELO DE PRODUCCIÓN. ....	7
3.4.5	SUBMODELO DE TRANSFORMACIÓN DE LLUVIA EN ESCORRENTÍA.....	9
3.4.6	SUBMODELO DE PROPAGACIÓN DE LOS HIDROGRAMAS. ....	10
3.4.7	RESULTADOS OBTENIDOS.....	11
<b>4</b>	<b>MODELACIÓN HIDRÁULICA. ....</b>	<b>12</b>
4.1	COEFICIENTES DE RUGOSIDAD DE MANNING.....	12
4.2	CONDICIONES DE CONTORNO.....	13
4.3	RESULTADOS OBTENIDOS. ....	13



## **1 INTRODUCCIÓN**

El objetivo del presente estudio hidrológico es la obtención mediante métodos hidrometeorológicos de los caudales propiciados por lluvias que presentan diferentes periodos de recurrencia, en la cuenca hidrológica de la Rambla de Alcalá (Castellón), así como el estudio de la inundabilidad de la parcela que se propone para albergar la futura E.D.A.R. de Peñíscola (Castellón).

## **2 NIVEL DE PROTECCIÓN FRENTE A INUNDACIONES.**

Un aspecto fundamental que se debe afrontar necesariamente cuando se realiza todo trabajo encaminado a la protección frente a inundaciones es el establecimiento o asunción de un riesgo o nivel de protección. Dichos niveles de protección dependen generalmente del tipo de cuenca que genere el problema.

El PATRICOVA (Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre prevención de Riesgos de Inundación de la Comunidad Valenciana), propone que para instalaciones prioritarias, como es el caso de la EDAR este nivel de protección alcance los 500 años de periodo de retorno.

## **3 METODOLOGÍA HIDROLÓGICA.**

La modelación hidrológica permite la obtención para diferentes niveles de frecuencia (o periodos de retorno) del caudal máximo o punta generado por un episodio de tormenta teórico. Una de las posibilidades es el empleo de métodos hidrometeorológicos, aptos para aplicar en cuencas de pequeña superficie. En estos métodos se parte de un análisis de la frecuencia de las precipitaciones máximas, con el objetivo de obtener en una primera fase el hietograma de diseño correspondiente a cada periodo de retorno. Posteriormente y mediante la utilización de un modelo de transformación de la lluvia en escorrentía, se convierten estos hietogramas en caudales máximos. Se propone para el cálculo de los caudales en el estudio de inundabilidad, un modelo pseudodistribuido cuya metodología se describe en apartados posteriores.

### **3.1 ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES.**

Las precipitaciones máximas anuales en 24 horas son descritas por una función de distribución, que para el presente estudio se ha ajustado a la SQRT- Exponential Type Distribution of Maximum, descrita por Etoh et al.

El enfoque empleado en el presente proyecto para el análisis de las mismas ha sido el siguiente:

- Ajuste regionalizado a una función de distribución SQRT-ET max.

En el caso del ajuste regionalizado de la función de distribución SQRT-ET max se han utilizado los proporcionados por el S.I.G. de la aplicación informática MAXPLU desarrollada por el CEDEX (ministerio de Fomento).

Se obtiene cuantil de precipitación diaria asociado a un periodo de retorno de 500 años de:

- Pd: 336 mm.

### 3.2 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA A ESTUDIO.

Los parámetros que caracterizan desde el punto de vista geomorfológico el modelo planteado en el presente estudio se recogen en la siguiente tabla:

SUBCUENCA	Zs (m)	Zi (m)	L (m)	J (m/m)	A (m2)	Tc (h)	Tlag (h)
Cubeta	420	146	7.900	0,035	28.100.000	2,73	0,99
Alta	485	95,9	13.071	0,030	27.600.000	4,13	1,52
Mas	616	95,9	13.660	0,038	48.500.000	4,07	1,50
Intermedia	462	36	11.750	0,036	37.890.000	3,66	1,34
Baja	292	24	4.977	0,054	5.410.000	1,77	0,99

### 3.3 ZONIFICACIÓN HIDROLÓGICA.

La estimación del umbral de escorrentía ( $P_0$ ), parámetro necesario para obtener la escorrentía superficial se obtiene, para el método propuesto por el Soil Conservation Service, en función de:

- Clasificación de los suelos.
- Usos del suelo.
- Pendiente del terreno.
- Condiciones previas de humedad del suelo y la cubierta.

La estimación del parámetro de umbral de escorrentía  $P_0$  implica la asimilación de la litología existente a la clasificación hidrológica de los suelos propuesta por el S.C.S, por la que se agrupan los distintos materiales en cuatro grupos (A, B, C, D) de tal modo que el grado de permeabilidad disminuye de A hasta D. Esta asimilación se realizó de acuerdo con los parámetros propuestos en el PATRICOVA (Plan de Acción Territorial sobre prevención del Riesgo de inundación en la comunidad Valenciana). En la tabla se presentan la clasificación adoptada en función de las características litológicas:

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	GRUPO HIDROLÓGICO
Masas de agua	D
Conglomerados	B
Conglomerados y areniscas	B
Conglomerados, areniscas y arcillas	B
Conglomerados y arcillas	C
Conglomerados y margas	B
Areniscas	B
Areniscas y arcillas	C
Areniscas y margas	B
Arcillas	C
Arcillas y areniscas	C
Arcillas y margas	C
Calizas	B
Calizas y areniscas	B
Calizas y calcarenitas	B
Calizas y calizas margosas	B
Calizas y dolomías	B
Calizas y margas	B

Calcarenitas	B
Calcarenitas y margas	B
Calizas margosas	B
Calizas margosas y margas	B
Calizas tobáceas	B
Dolomías	B
Dolomías y calizas	B
Dolomías y margas	B
Margas	C
Margas y areniscas	C
Arcillas, margas y yesos	D
Cantos y gravas	B
Cantos, gravas y arenas	B
Cantos, gravas, arenas y limos	B
Cantos, gravas, arenas y arcillas	B
Cantos, gravas y limos	B
Cantos, gravas y arcillas	B
Arenas	B
Arenas, gravas y cantos	B
Arenas y limos	B
Arenas y arcillas	C
Limos	D
Limos, gravas y cantos	D
Limos y arenas	D
Limos y arcillas	D
Arcillas	D
ROCAS CONSOLIDADAS	-
ROCAS NO CONSOLIDADAS	-

Tras la asimilación de la anterior clasificación a las unidades existentes en la cuenca se ha obtenido que la superficie de la Rambla de Alcalá pertenece a los grupos B, C, y en menor medida D.

En lo que a los usos de los suelos se refiere y siguiendo las directrices propuestas para la determinación de los umbrales de escorrentía propuestos por la instrucción 5.2-IC de Drenaje superficial, podemos realizar la siguiente asimilación de las cubiertas encontradas en las diferentes.

Para las cuencas rústicas se adoptará un nivel de protección superior al citado anteriormente. En consonancia con las directrices proporcionadas por el PATRICOVA en su artículo 32, el cual establece la necesidad de diseñar las estructuras de defensa contra inundaciones en zonas urbanas con un periodo de retorno comprendido entre 100 y 500 años, y teniendo en cuenta la peculiaridad de las obras se propone un nivel de protección asimilado a 500 años de periodo de retorno.

<b>CUBIERTA EXISTENTE</b>	<b>ADAPTACIÓN A LA CUBIERTA DEL SUELO PARA OBTENCIÓN DE Po</b>
Masas forestales de densidad media. Constituidas por manchas de coníferas con presencia de abundante de matorral y manchas dispersas de roca desnuda.	Masas forestales de densidad media. Monte bajo.

Mezcla de matorral de densidad media con manchas dispersas de cultivos arbóreos de secano e inclusiones de zonas improductivas o eriales.	Masas forestales de densidad media. Monte bajo.
Cultivos de cítricos, almendros u olivos, abancalados.	Cultivos en hilera R/N.
Zonas residenciales/industriales/equipamientos.	Pavimentos bituminosos o de hormigón. Impermeable.
Zonas urbanas.	Pavimentos bituminosos o de hormigón. Impermeable.

De la combinación de los diferentes factores que intervienen en la obtención del umbral de escorrentía (tipo de suelo, cubierta, pendiente, características hidrológicas) y para la condición II de humedad inicial en el suelo, se obtienen las zonas de comportamiento hidrológico homogéneo.

### **3.4 ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES GENERADOS.**

En el presente estudio estimaremos los caudales generados en la cuenca mediante el planteamiento de un modelo hidrológico, utilizando la aplicación informática HMS.

#### **3.4.1 MODELO HEC-HMS.**

La aplicación informática Hydrologic Modeling System (HMS) versión 3.0.0, desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers es un programa que simula los procesos de precipitación-escorrentía en un sistema hidrológico, proporcionando como resultado de la modelación los hidrogramas en los diferentes puntos representativos de la conceptualización realizada sobre la cuenca hidrológica objeto de estudio. Para la obtención de los parámetros característicos de la cuenca se ha empleado la aplicación Geo-HMS 2.2 desarrollada por el Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers, con apoyo de la aplicación ArcGis 9.1 de Esri.

Para simular el proceso el programa utiliza diferentes modelos, tanto de precipitación, intercepción e infiltración como de escorrentía, propagación y laminación de avenidas.

#### **3.4.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL SISTEMA HIDROLÓGICO. SUBMODELO DE CUENCA.**

Se ha modelizado toda la cuenca de la Rambla de Alcalá, si bien los resultados que se presentan para el presente estudio se limitan a la cuenca ubicada aguas arriba del puente de la N-340 emplazado junto al límite de los términos municipales de Peñíscola y Benicarló.

El esquema conceptual del modelo hidrológico utilizado en el presente estudio comprende los siguientes elementos:

- Subcuencas. Las seis subcuencas en las que se ha dividido la cuenca total de la Rambla de Alcalá, sitien hasta el punto de emplazamiento de la nueva EDAR sólo contribuyen cinco de dichas cuencas (Subcuenca Cubeta, subcuenca Alta, subcuenca Barranco de Mas, subcuenca intermedia y subcuenca baja).
- Tramo de propagación de hidrogramas. Se consideran hasta el punto de cálculo un total de cuatro tramos, si bien para la totalidad de la cuenca se han propuesto cinco tramos. Los cuatro tramos implicados los nombraremos como: T1, T2, T3, T4.

- Confluencias de flujo. Modelan la combinación de los hidrogramas de las diferentes subcuencas.
- Cubeta de laminación: modelizada como un embalse, pretende simular el comportamiento de la cubeta endorreica de Alcalá de Xivert, con una única salida constituida por la obra de drenaje transversal existente en la línea férrea Valencia-Barcelona.

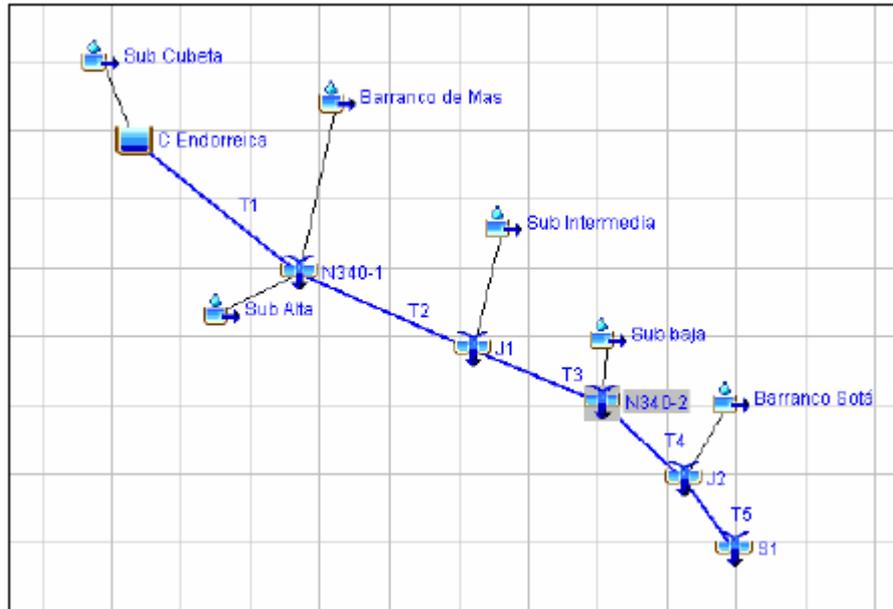


Figura nº1. Esquema del modelo planteado.

### 3.4.3 SUBMODELO METEOROLÓGICO.

Implementa el análisis de datos meteorológicos, en concreto para nuestro caso los datos de precipitación.

Una vez conocidas los cuantiles de precipitaciones máximas en 24 h, es necesario construir una tormenta ideal que se hará llover sobre la cuenca para obtener los caudales de proyecto.

La duración de la tormenta debe obtenerse de un análisis estadístico de las tormentas de la zona y reflejar un valor característico de un aguacero completo, el cual viene condicionado por el clima de la zona y no por el tamaño de la cuenca objeto del estudio. En ausencia de datos específicos de duración de los chubascos es recomendable el empleo de tormentas con duración del orden de 24 horas dado el carácter diario de la mayor parte de los registros pluviométricos. Por tanto la duración de nuestra tormenta de proyecto se establece en 24 horas.

Para modelizar la tormenta se deben tener en cuenta dos aspectos: la distribución temporal y la distribución espacial de la precipitación.

#### **Distribución temporal.**

El enfoque utilizado para la obtención de la distribución temporal es aquel que utiliza directamente las curvas intensidad duración. Para su obtención se ha utilizado el método propuesto por JR Témez y descrita en puntos anteriores.

Para el presente estudio se define un hietograma sintético, que en nuestro caso se trata del modelo de bloques alternos. La precipitación acumulada en el tiempo se obtiene con tal de aplicar la intensidad

a la duración de los intervalos ( $D_t, 2D_t, 3D_t, \dots$ ). Para definir el hietograma sintético de bloques alternos obtendremos la precipitación incremental para cada uno de los  $n$  intervalos en que se divide el hietograma y los ordenaremos de tal forma que el intervalo de mayor intensidad se sitúe en el centro, seguido por el segundo de mayor intensidad y precedido por el tercero de mayor intensidad y así sucesivamente, tal y como a modo de ejemplo se indica en la siguiente figura.

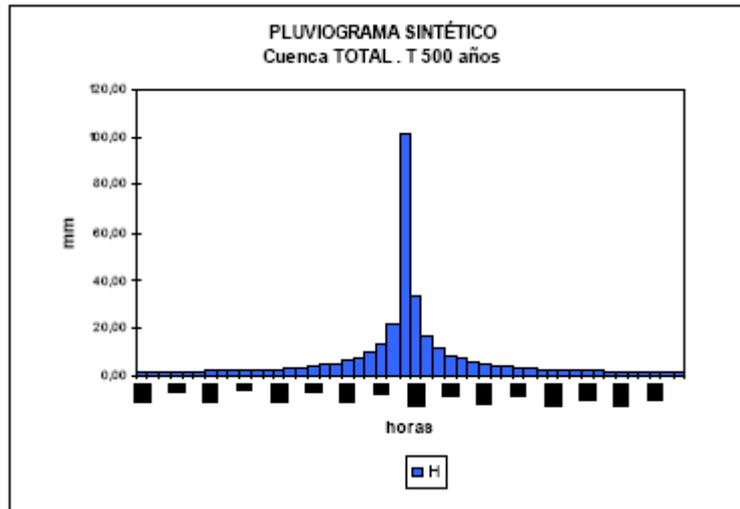


Figura nº2. Ejemplo de pluviograma teórico.

**Distribución espacial de la precipitación.**

Para tener en cuenta la no simultaneidad de la lluvia máxima en 24 h sobre toda la cuenca se ha adoptado un coeficiente reductor de la lluvia puntual (ARF), que tiene en cuenta el hecho de no simultaneidad de la precipitación en todo el área.

Dicho coeficiente se aplica sobre la precipitación máxima en 24 h. Para ello se afecta la precipitación por un coeficiente reductor  $K_A$ .

$$P = P_d \cdot K_A$$

$K_A$  viene dada por la siguiente expresión:

$$K_A = 1 - (\log A / 15)$$

donde:

A: Superficie de la cuenca en  $Km^2$ .

Se ha elegido como tormenta la obtenida por este método, adoptándose como duración de la tormenta aquella que proporcione los valores máximos diarios.

Para el presente estudio partimos de la hipótesis de simultaneidad temporal en los aportes realizados por todas las subcuencas, por lo que el valor de  $K_A$ , común para todas las subcuencas, es función del área total ocupada por ellas. Se corrigen los valores de precipitación máxima en 24 h, mediante la aplicación de un coeficiente corrector de valor 0,852.

**TORMENTA SINTÉTICA T=500 AÑOS DURACIÓN 24 h**

<b>D</b>	<b>24</b>	<b>NT</b>	<b>48</b>	$P_d$	336 mm	S	$m^2$
<b>Dt</b>	0.5	<b>L1/ld</b>	11,3	$P_d \cdot K_A$	<b>286.3</b> mm	$K_A$	0,852063

Así pues el valor del cuantil de precipitación diaria asociado al periodo de retorno de 500 años y que empleamos en el presente estudio (incluyendo la corrección ARF).

- Pd: 286,3 mm.

### 3.4.4 SUBMODELO DE PRODUCCIÓN.

Para el modelo planteado en el presente anejo se desprecian tanto la interceptación, como los posibles almacenamientos puntuales, de modo que tomamos como factor principal de las pérdidas que se producen en el proceso lluvia-escorrentía superficial a la infiltración. La capacidad de infiltración de un suelo es la que determina principalmente el inicio de la escorrentía en superficie, así como el volumen total de la escorrentía superficial que produce el aguacero.

Para el presente estudio empleamos el modelo de infiltración propuesto por el SCS (Soil Conservación Service), que para el caso de España sirve como base para la determinación del coeficiente de escorrentía, utilizado en la determinación de los caudales de escorrentía en la actual Instrucción 5.2-IC.

El método del SCS asume la existencia de un umbral por debajo del cual las precipitaciones no producen escorrentías, una vez rebasado dicho umbral se inicia el fenómeno de la escorrentía superficial. A partir de ese momento la relación entre precipitación que escurre superficialmente y la que se infiltra se evalúa mediante la expresión:

$$\frac{F}{S} = \frac{E}{\sum P - P_0}$$

Donde:

- F: infiltración acumulada desde el comienzo de la escorrentía.
- E: escorrentía acumulada.
- S: máxima infiltración acumulada posible.
- $\sum P$ : precipitación acumulada.
- $P_0$ : Umbral de escorrentía en m.

Y por continuidad:

$$\sum P = P_0 + E + F$$

De ambas ecuaciones se obtiene la expresión que relaciona la escorrentía acumulada en cada instante:

$$E = \frac{(\sum P - P_0)^2}{(\sum P - P_0) + S}$$

El SCS propone la relación que liga el umbral de escorrentía con la máxima infiltración acumulada posible, como:

$$P_0 \approx 0.2 \cdot S$$

Por tanto la obtención de la precipitación eficaz (o escorrentía superficial acumulada) hasta un instante dado, se determina mediante la siguiente expresión:

$$E = 0 \quad \text{si } \sum P \leq P_0$$

$$E = \frac{(\sum P - P_0)^2}{(\sum P + 4 \cdot P_0)} \quad \text{si } \sum P > P_0$$

donde:

- E: Precipitación eficaz en mm.
- Po: Umbral de escorrentía en mm.
- $\sum P$ : Precipitación acumulada en mm.

El método propuesto por el SCS se basa en el concepto del número de la curva (adimensional y con valores enteros entre 0 y 100), según el cual calculamos un número de curva ponderado para la cuenca, en función de las características del suelo, sus usos, su vegetación y la condición inicial de humedad.. Dichos números de curva, para distintos tipos de suelos, están adaptados en España por Témez a las condiciones de humedad inicial esperables en las zonas y épocas en que se presentan las avenidas mediante un coeficiente corrector  $\beta$ . Para las condiciones de la zona a estudiar tomamos un valor de  $\beta = 2.0$ .

Las expresiones que relacionan el número de la curva (condiciones humedad II) con el umbral de escorrentía:

$$S = \frac{25400}{N} - 254$$

Donde:

- S: Escorrentía en mm.
- N: Número de la curva según el S.C.S.
- Po : Umbral de escorrentía en mm.

Y por tanto la expresión que relaciona el umbral de escorrentía con el número de la curva será:

$$CN = \frac{5080}{P_0 + 50.8}$$

De la aplicación de las anteriores expresiones, y lo visto en el punto 3 del presente anejo los números de la curva asociado a cada una de ellas, son los que a continuación se presentan:

NÚMERO DE LA CURVA		$\beta$	2.7
SUBCUENCA	PO(mm)	Po* (mm)	CN
Cubeta	18,1	49	51
Alta	28,6	77,2	39
Mas	27,8	75	40
Intermedia	25,7	69,3	42
Baja	20,8	56,2	47
Sotá	33,3	90	36

Donde:

- Po: Umbral de escorrentía para cada subcuenca.
- CN: número de la curva del SCS.
- Po\*: Umbral de escorrentía corregido para las condiciones de humedad iniciales de la zona de estudio.

### 3.4.5 SUBMODELO DE TRANSFORMACIÓN DE LLUVIA EN ESCORRENTÍA.

El modelo utilizado en el presente estudio es el del hidrograma unitario del Soil Conservation Service. Este hidrograma se basa en un hidrograma adimensional obtenido tras analizar un elevado número de hidrogramas unitarios en cuencas rurales de reducido tamaño y obtener unos valores medios. Un hidrograma adimensional es un hidrograma unitario en el cual tanto el caudal como el tiempo se expresan como cociente respecto al caudal punta (Qp) y tiempo punta (Tp) respectivamente, con lo que se elimina el efecto del tamaño de la cuenca y gran parte del efecto de la forma de dicha cuenca.

Las relaciones que definen el presente hidrograma adimensional y que nos permiten obtener el caudal punta y el tiempo de la punta son:

$$Q_p = \frac{A}{4.8 \cdot T_p}$$

$$T_p = \frac{D}{2} + T_{\phi}$$

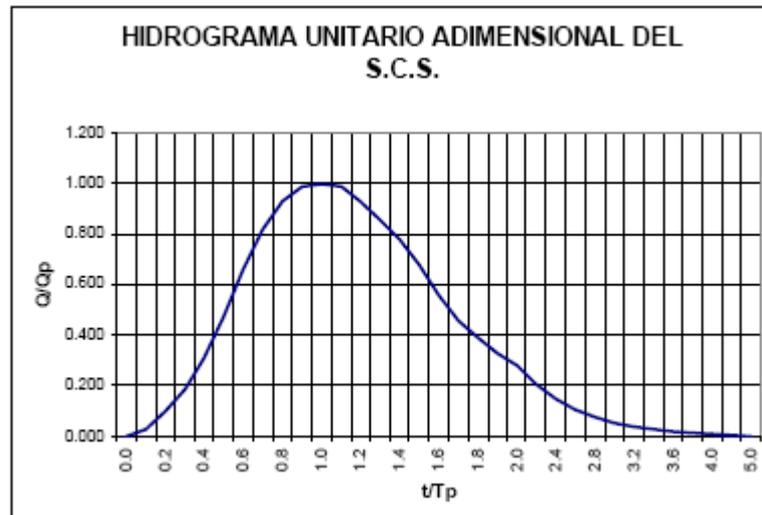


Figura nº3: Hidrograma unitario adimensional del SCS.

Donde el único parámetro necesario es el tiempo de desfase de la punta (Tdp) que para cuencas en las que predomine el flujo en cauce se obtiene aplicando:

$$T_{\phi} = \frac{3}{8} \cdot T_c - \frac{1}{8} \cdot D$$

donde:

- Tc: Tiempo de concentración.
- D: intervalo de discretización.

Para la obtención del tiempo de concentración de cada una de las subcuencas se utiliza la formulación propuesta por Témez, por estar contrastada en diversas cuencas españolas, habiéndose obtenido en dichas cuencas unos resultados bastante acordes con la realidad.

$$T_c = 0.3 \cdot \left[ \frac{L}{J^{1/4}} \right]^{0.76}$$

donde:

- T<sub>c</sub>: Tiempo de concentración de la cuenca en horas.
- L : Longitud del cauce principal en Km.
- J : pendiente del cauce principal en tanto por uno.

El intervalo de discretización del hietograma, propuesto por el SCS, debe cumplir la expresión siguiente:

$$D < 0.29 \cdot T_{dp}$$

Los valores obtenidos para T<sub>c</sub> y T<sub>dp</sub>:

SUBCUENCA	T <sub>c</sub> (h)	Tlag (h)
Cuebta	2,73	0,99
Alta	4,13	1,52
Mas	4,07	1,50
Intermedia	3,66	1,34
Baja	1,77	0,63

### 3.4.6 SUBMODELO DE PROPAGACIÓN DE LOS HIDROGRAMAS.

En el presente estudio emplearemos exclusivamente métodos hidrológicos, los cuales utilizan como base la ecuación de continuidad:

$$I(t) - O(t) = \frac{dS(t)}{dt}$$

donde:

- I (t): hidrograma de entrada en el tramo en el tiempo t.
- O (t): hidrograma de salida en el tramo en el tiempo t.
- S (t): volumen almacenado en el tramo en el tiempo t.

En concreto la traslación de hidrogramas se ha calculado por el método de Muskingum-Cunge, y los parámetros utilizados para los diferentes tramos modelizados se presentan a continuación:

#### Tramo T1

- Longitud: 7066 m
- J: 0,006
- n (Manning): 0,05
- Forma: trapezoidal, con ancho medio 18 m, y taludes 1:1

#### Tramo T2

- Longitud: 3776 m
- J: 0,005
- n (Manning): 0,08
- Forma: trapezoidal, con ancho medio 20 m, y taludes 1:1

#### Tramo T3

Longitud: 4361 m

J: 0,009

n (Manning): 0,1

Forma: trapezoidal, con ancho medio 25 m, y taludes 1:1

#### Tramo T4

- Longitud: 1645 m
- J: 0,009
- n (Manning): 0,03
- Forma: trapezoidal, con ancho medio 35 m, y taludes 1:1

#### Tramo T5

- Longitud: 2111 m
- J: 0,007
- n (Manning): 0,028
- Forma: trapezoidal, con ancho medio 35 m, y taludes 1:1

### 3.4.7 RESULTADOS OBTENIDOS.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la modelación hidrológica realizada, incluyendo la comparativa realizada con el método racional modificado.

Los caudales punta obtenidos para el periodo de retorno **500 años** ambas cuencas se presentan a continuación:

CUENCA RAMBLA ALCALÁ	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
N-340 (2)	728

Los hidrogramas obtenidos para la cuenca de la Rambla de Alcalá se presentan en la siguiente figura:

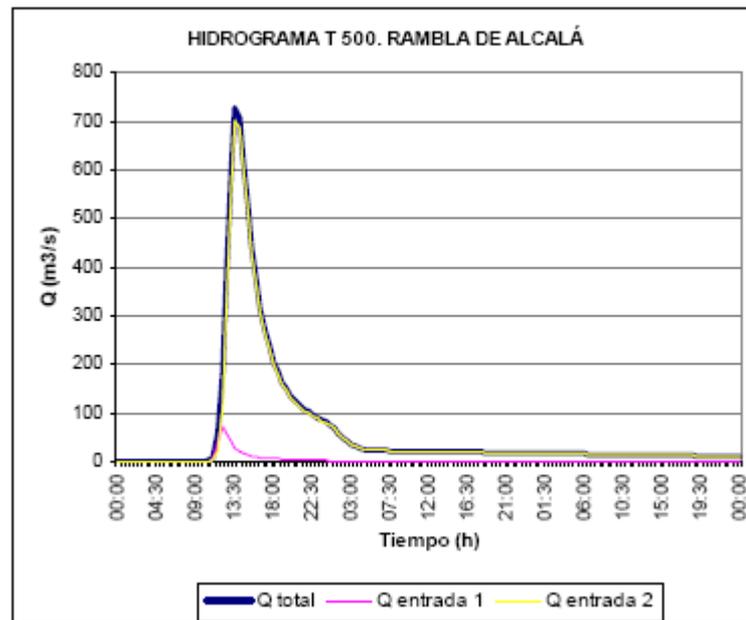


Figura nº5: Hidrograma de caudales.

## 4 MODELACIÓN HIDRÁULICA.

Para el análisis hidráulico se proponen el estudio de un tramo de 1555 m de longitud, de los cuales 830 m se encuentran aguas arriba del emplazamiento de la EDAR, 383 m discurren paralelos al futuro emplazamiento de la EDAR, y el resto (342 m) se emplazan aguas abajo de la EDAR. Se obtienen con la aplicación Gis Geo-Ras perfiles transversales cada 50 m, a lo largo de una longitud total del tramo a estudio, interpolando posteriormente secciones cada 15 m.

Para la obtención de los parámetros característicos del cauce y llanuras de inundación se ha empleado la aplicación Geo-Ras 4.0 desarrollada por el Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers, con apoyo de la aplicación ArcGis 9.1 de Esri. Y la modelación hidráulica se ha realizado con la aplicación Hec-Ras 3.1.3 desarrollada por el Hydrologic Engineering Center.

### 4.1 COEFICIENTES DE RUGOSIDAD DE MANNING.

Para el tramo de cauce principal se ha adoptado en el tramo de la rambla a estudio un coeficiente de rugosidad de Manning de valor 0.0350 correspondiente a los valores recomendados en textos clásicos como los de Ven Te Chow para cauces naturales en planicies.

Para las zonas anexas al cauce principal y para tener en cuenta el efecto de un posible desbordamiento se adopta un valor de n igual a 0.050 correspondiente a campos de cultivo maduros.

Para las zonas anexas al cauce principal con campos de cultivo jóvenes o sin plantación se adopta un valor de n igual a 0.030.

Para las zonas anexas al cauce principal en zona urbanizada se adopta un valor de 0.020.

La conceptualización realizada para la distribución de las zonas con coeficientes de rugosidad de Manning homogéneas, se presenta en el plano A.10.3, adjunto al final del presente anejo.

## 4.2 CONDICIONES DE CONTORNO.

Para el presente estudio suponemos las siguientes hipótesis básicas:

- Se analiza el régimen permanente y también en régimen variable.
- La distribución de presiones es hidrostática.
- La única componente de la velocidad es en la dirección del flujo.
- El calado vertical es representativo de la altura de presión.
- Los contornos son rígidos.

Para la resolución de las ecuaciones del flujo permanente gradualmente variado y transitorio, se ha de proporcionar al programa de unas condiciones iniciales de contorno, en nuestro caso proporcionamos dos condiciones de contorno.

Para el caso en que hemos supuesto para el presente estudio que el régimen alcanzado en el cauce es variable, hipótesis para la cual se muestran los resultados, se proporciona al programa el dato de la pendiente media en el tramo bajo del río donde asumimos que se producirá dicho régimen. Así la pendiente media obtenida es  $I_0 = 0.008$ . La segunda de las condiciones de contorno adoptadas es la y aplicada aguas arriba es el hidrograma de caudales.

Señalar que aplicamos en el tramo de aguas arriba el hidrograma de caudales obtenidos en el modelo hidrológico para un punto situado una distancia similar a 900 m aguas abajo del futuro emplazamiento de la EDAR, por lo que estamos del lado de la seguridad, al aplicar un caudal mayor (obtenido para una determinada superficie) en un punto donde lógicamente la cuenca es ligeramente más pequeña al estar ubicada aguas arriba del punto de obtención de dicho caudal.

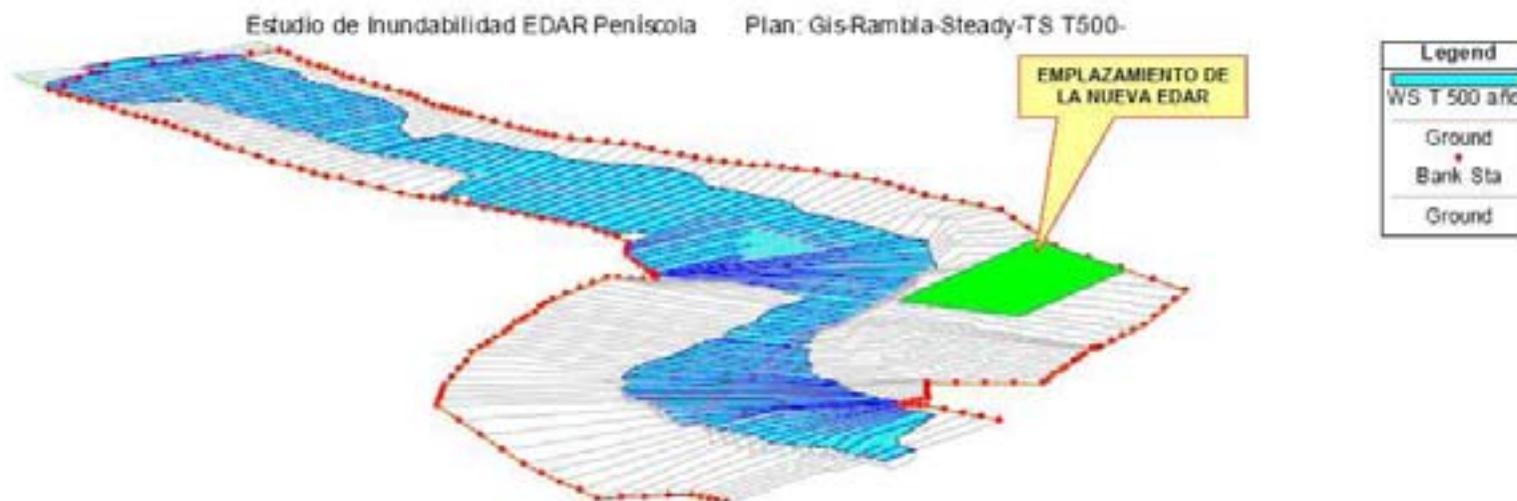
## 4.3 RESULTADOS OBTENIDOS.

En las siguientes figuras y planos se presentan los resultados obtenidos en el tramo de estudio para los valores de la avenida de 500 años respectivamente, del mismo modo se presenta una figura con los perfiles de la envolvente de calados máximos de agua desarrollados en el tramo de estudio.

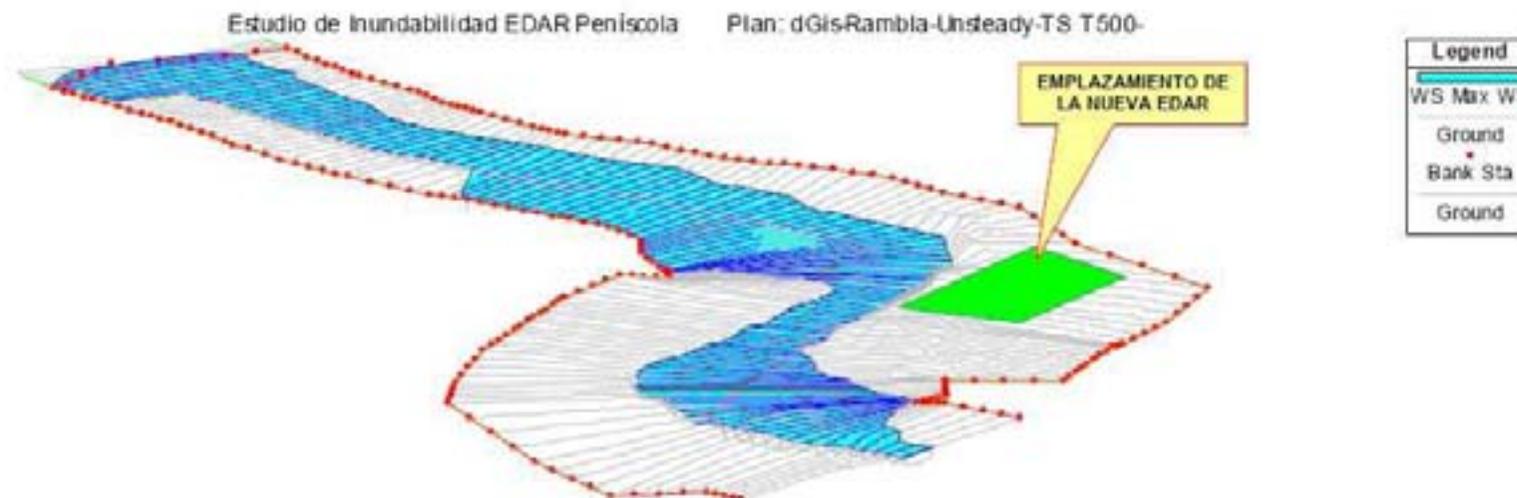
Los perfiles transversales presentados a continuación, y en el plano A.10.2 se corresponden a los obtenidos de la modelización en régimen permanente, que para las secciones referidas proporcionan resultados ligeramente más desfavorables que los obtenidos por la envolvente de calados máximos en régimen variable.

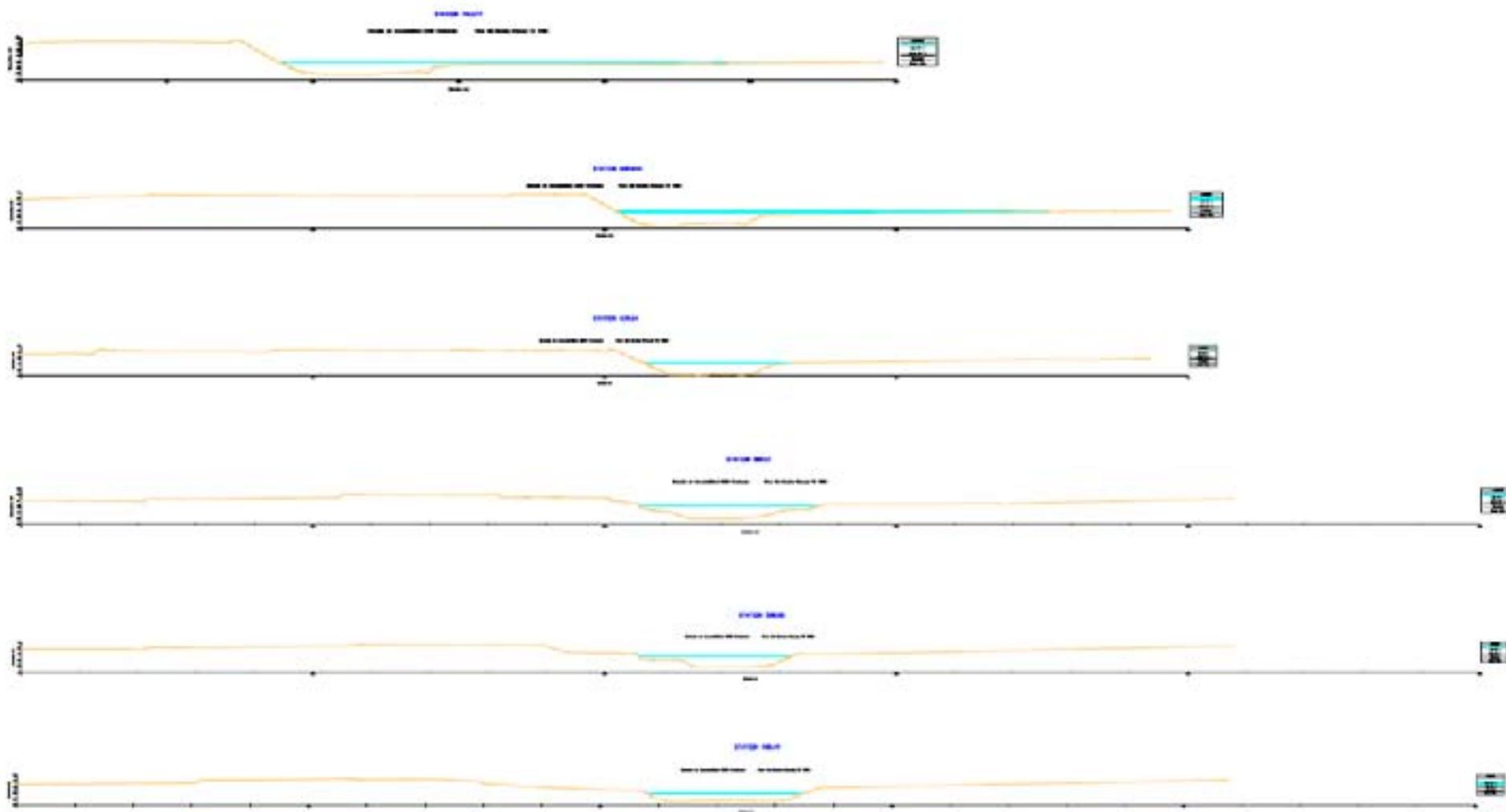
Se observa que la cota de la lámina de agua resulta de 39.00 m. en el perímetro de la parcela de la EDAR coincidente con el margen izquierdo de la rambla. Dado que la cota de urbanización mínima de las instalaciones será de 43 m. en el punto más bajo, existe un resguardo suficiente para garantizar el nivel de seguridad exigido para este tipo de infraestructuras.

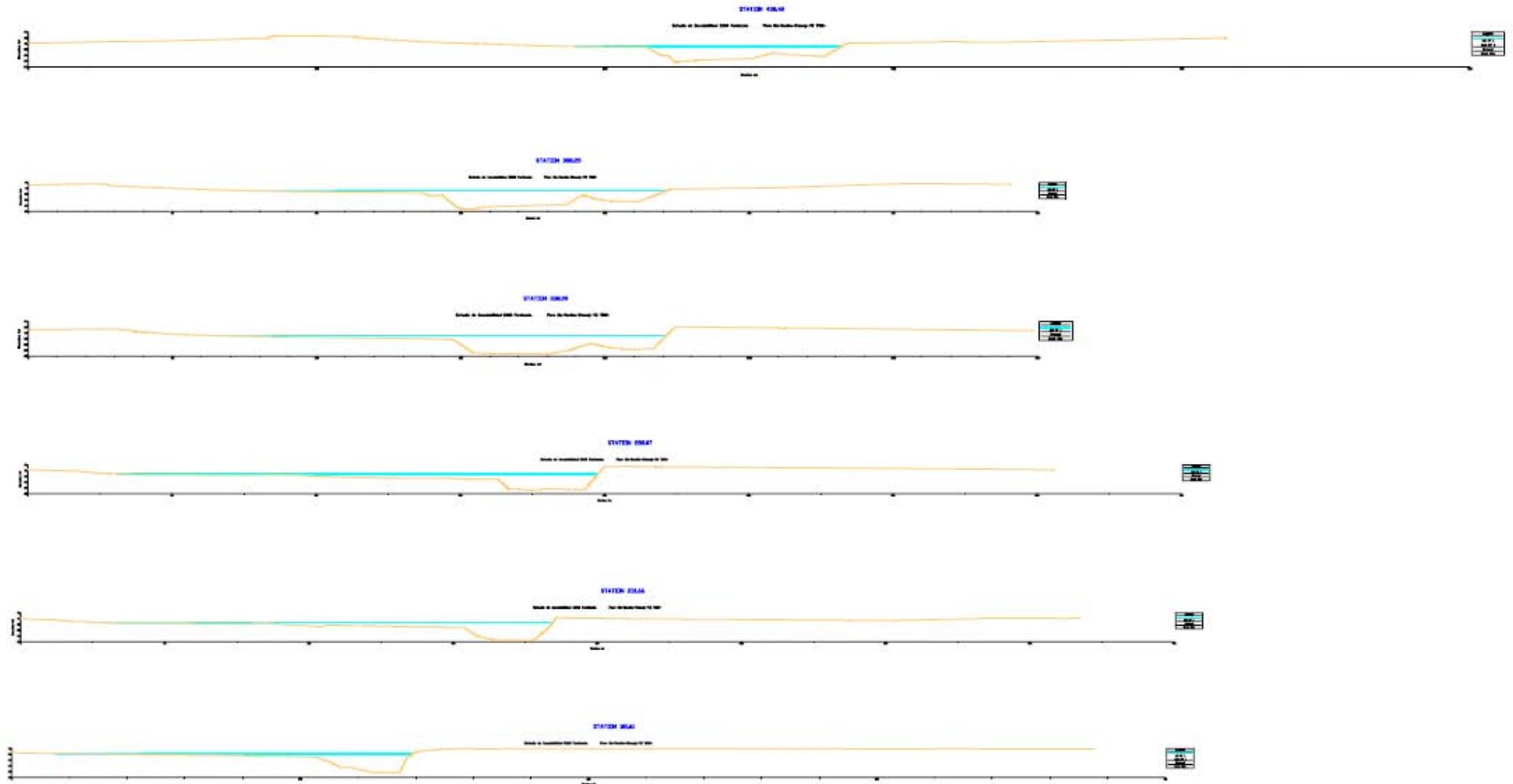
Resultados en régimen permanente:



Resultados en régimen no permanente:







## **APÉNDICE Nº 2.- VALIDACIÓN DEL ESTUDIO DE INUNDABILIDAD**



## APÉNDICE Nº 2.- VALIDACIÓN DEL ESTUDIO DE INUNDABILIDAD

### Índice

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	INFORMACIÓN DE PARTIDA.....	1
1.2	HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS .....	1
2	DETERMINACIÓN DE LA PLUVIOMETRÍA DE LA CUENCA .....	2
2.1	METODOLOGÍA Y RESULTADOS .....	2
3	CÁLCULO Y EXTENSIÓN DE LA CUENCA .....	3
3.1	METODOLOGÍA Y RESULTADOS .....	3
4	MODELIZACIÓN DE LOS CAUDALES .....	5
4.1	METODOLOGÍA.....	5
4.2	DATOS DE PARTIDA.....	5
4.3	RESULTADOS.....	5
5	CONCLUSIONES.....	6

#### ANEXOS:

ANEXO Nº 1.-RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA

ANEXO Nº 2.- SECCIONES TRASVERSALES

ANEXO Nº 3.- PLANOS



## **1 INTRODUCCIÓN**

El presente documento tiene la finalidad de validar el proceso y los datos realizados en el Estudio de Inundabilidad realizado por CIOPU y que se adjunta como Apéndice 1.

Se tratará de determinar ciertos aspectos en los cuales la metodología de obtención de los mismos no resulta demasiado clarificadora en el estudio de CIOPU, con el objeto de validar los mismos a través de la descripción del proceso seguido en este caso. Es decir, si con metodologías diferentes, los resultados obtenidos por CIOPU son similares o más conservadores que los obtenidos ahora, se podría dar por bueno su análisis, a pesar de que no aparezca detallado.

En concreto, y como no se cuenta con datos de partida para realizar un análisis más exhaustivo, se han realizado las siguientes determinaciones:

- Determinación de la pluviometría de la cuenca
- Cálculo y extensión de la cuenca
- Modelización con los caudales obtenidos por CIOPU de las llanuras de inundación para periodo de retorno 500 años sobre topografía a escala 1:200.

Por otro lado, y aunque el estudio realizado por CIOPU se considera correcto, el mismo no cuenta con muchos más datos desagregados que permitan realizar una validación o comprobación del estudio sin tener que recurrir a un nuevo cálculo de todos los parámetros.

### **1.1 INFORMACIÓN DE PARTIDA**

Los datos básicos con los que se ha contado para realizar esta comprobación puntual del estudio de inundabilidad han sido los siguientes:

- o Estudio de Inundabilidad realizado por CIOPU
- o Mapa Geográfico escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Nacional
- o MDT 25 m
- o Topografía escala 1:200 realizada de la parcela y la zona de emplazamiento de la E.D.A.R.

### **1.2 HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS**

Para el estudio de la cuenca y la realización de mapas se ha utilizado un software especializado para la interpretación de los sistemas de información geográfica.

Para la obtención de las precipitaciones máximas en 24h se ha utilizado el programa MAXPLU, adjunto a la publicación Máximas lluvias diarias en la España Peninsular. Ministerio de Fomento, Dirección General de Carreteras.

El programa utilizado en la simulación de caudales es el HEC-RAS 4.1 (Hydrologic Engineering Center – River Analyst System 4.1).

## 2 DETERMINACIÓN DE LA PLUVIOMETRÍA DE LA CUENCA

### 2.1 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Las precipitaciones máximas se han obtenido a partir de la aplicación MAXPLU. Se ha supuesto que los resultados que ofrece la publicación son lo suficientemente ajustados a las necesidades del estudio, además de ser una publicación oficial del Ministerio de Fomento.

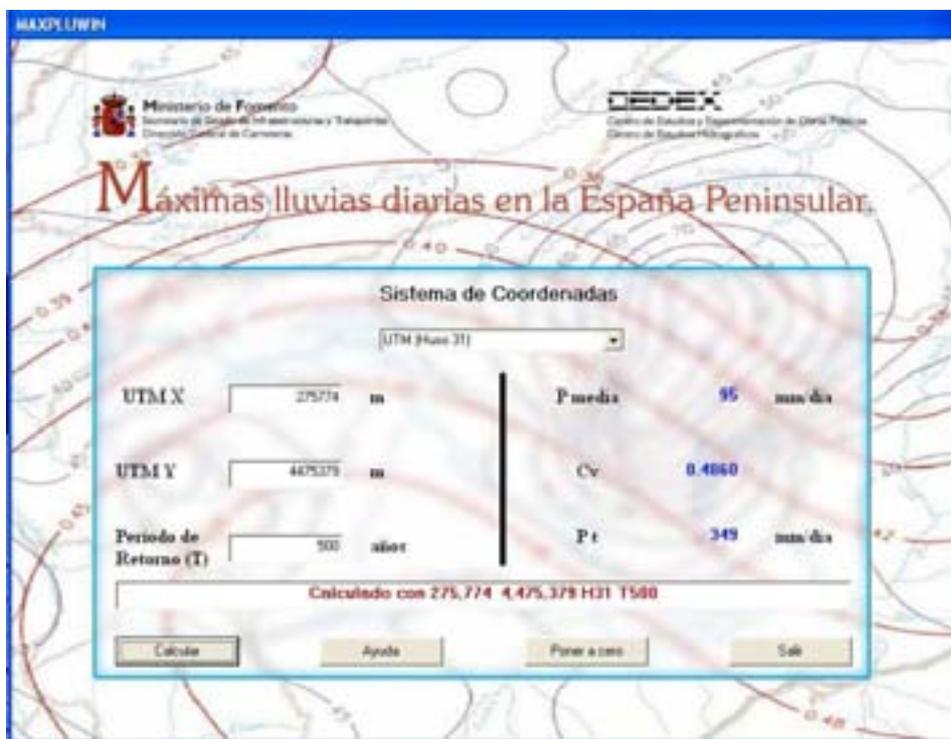
Esta aplicación parte de la introducción de las coordenadas y el huso horario de la zona de la península en la que se quiere realizar el cálculo de la precipitación.

A partir de esto, el programa da unos valores de precipitación media en mm/día y un coeficiente de variación que permite obtener los factores de amplificación. El programa, mediante una sencilla fórmula, transforma la precipitación media en la precipitación máxima esperada para cada periodo de retorno.

El factor de ampliación se obtiene a partir del coeficiente de variación gracias a la siguiente tabla:

Cv	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS (T)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
<b>0.49</b>	0.887	1.293	1.603	2.022	2.373	2.739	3.128	3.677

Tabla de la que se obtienen los cuantiles necesarios para la Ley SQRT-ET maz, también denominados Factores de Amplificación Kt en la aplicación del MAXPLU.



Salida del programa Maxplu para el huso y las coordenadas de la nueva depuradora de Peñíscola.

Seguidamente se adjunta la tabla obtenida para las coordenadas de la nueva depuradora de Peñíscola y la imagen del programa con el cálculo que realiza para el periodo de retorno de 500 años.

**Precipitaciones máximas diarias** (MAXPLU)

Periodo T	Coef.Vari. Cv	Factor. Ampl. Kt	Pmedia Pmed	P. Máxima P24h
2	0.49	0.887	95	84.27
5	0.49	1.293	95	122.84
10	0.49	1.603	95	152.29
25	0.49	2.022	95	192.09
50	0.49	2.373	95	225.44
100	0.49	2.739	95	260.21
500	0.49	3.677	95	349.32

Según el estudio redactado por CIOPU, la precipitación máxima diaria se puede extraer que son **336 mm**, lo cual es claramente similar a lo obtenido en esta comparativa:

**Datos CIOPU**

**Dato comparativa**

P máxima 24 h T500 = 336 mm

P máxima 24 h T500 = 349 mm

### 3 CÁLCULO Y EXTENSIÓN DE LA CUENCA

#### 3.1 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

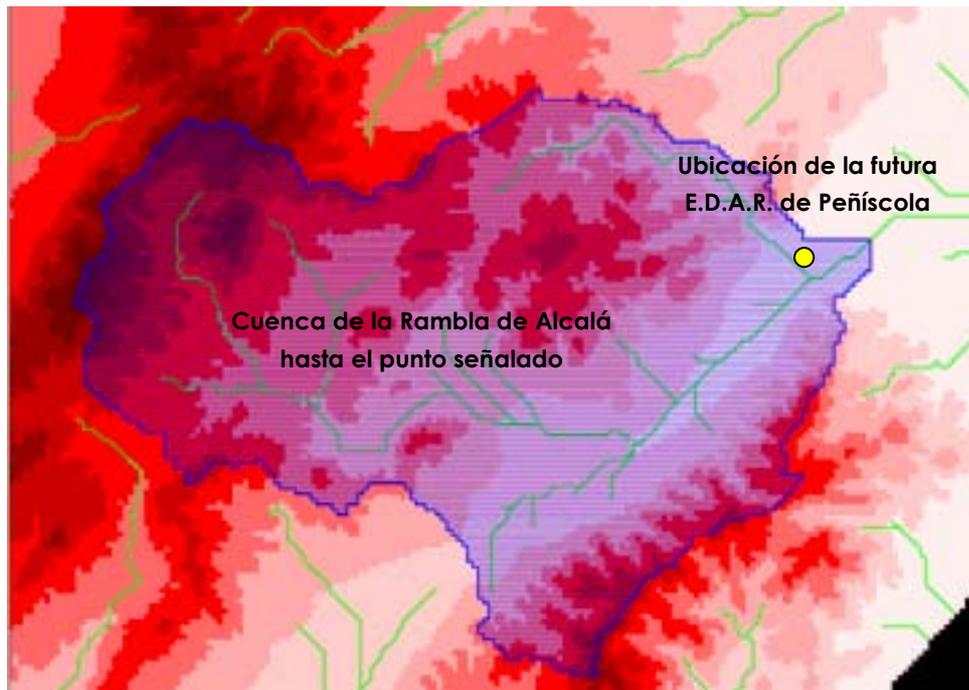
El cálculo de la cuenca se ha realizado a partir de un programa de información geográfica que permite la obtención de los límites de la cuenca vertiente a partir de la topografía.

En este caso, y dado que el área de estudio tiene una superficie importante, se ha partido de una topografía a escala 1:25.000 facilitada por el Instituto Geográfico Nacional.

Posteriormente, y gracias al programa de información geográfica se realiza una triangulación de la topografía, para posteriormente rasterizarla y generar un archivo en formato grid.

A partir de este archivo, y tras señalar la zona de ubicación de la depuradora, el programa obtiene la cuenca vertiente de la Rambla de Alcalá hasta ese punto.

El resultado es que se puede apreciar en la imagen siguiente:



Salida del programa de información geográfica para el cálculo de la cuenca receptora de la Rambla de Alcalá hasta el punto en el que se ubicará la futura depuradora de Peñíscola.

Según este análisis, la cuenca vertiente de la Rambla de Alcalá hasta la ubicación de la depuradora de Peñíscola tiene una superficie de **101,7 Km<sup>2</sup>**. Como se puede apreciar en la imagen, los principales cauces receptores de las lluvias de la cuenca proceden de la margen izquierda de la rambla, lo cual es lógico si tenemos en cuenta la escasa distancia que existen entre la Rambla y el Mar Mediterráneo.

Por otro lado, se puede observar de forma sencilla que la Rambla discurre entre las ramificaciones de la Sierra de Irta antes de desembocar en el mar en el entorno del casco urbano de Peñíscola.

Por su parte, CIOPU indica en su estudio las siguientes subcuencas y sus dimensiones:

SUBCUENCA	Zs (m)	Zi (m)	L (m)	J (m/m)	A (m <sup>2</sup> )	Tc (h)	Tlag (h)
Cubeta	420	146	7.900	0,035	28.100.000	2,73	0,99
Alta	485	95,9	13.071	0,030	27.600.000	4,13	1,52
Mas	616	95,9	13.660	0,038	48.500.000	4,07	1,50
Intermedia	462	36	11.750	0,036	37.890.000	3,66	1,34
Baja	292	24	4.977	0,054	5.410.000	1,77	0,99

En total, se obtiene una superficie de la cuenca de **147,5 Km<sup>2</sup>**.

La cuenca calculada por CIOPU es alrededor de un 30% superior a la obtenida mediante el proceso explicado anteriormente, por lo cual, aunque sean significativamente distintas en su extensión, se puede extraer como conclusión que el cálculo de CIOPU estaría del lado de la seguridad, ya que en el cálculo de los caudales se ha parte de una hipótesis más desfavorable, como es la de considerar una cuenca un 30% superior a la que se ha obtenido en la comprobación.

## 4 MODELIZACIÓN DE LOS CAUDALES

### 4.1 METODOLOGÍA

La simulación hidráulica se lleva a cabo con la herramienta HEC-RAS 4.1 (Hydrologic Engineering Center – River Analyst System 4.1), obteniéndose de su aplicación resultados de cota de la superficie libre del agua para el mismo periodo de retorno que el realizado en el estudio de CIOPU, que era el de 500 años.

Aparte de los datos de caudales, primero se debe caracterizar el cauce mediante la introducción de secciones a lo largo del río. Este proceso se facilita mediante la extensión HEC-GeoRAS, la cual es una aplicación que se ejecuta dentro de una aplicación SIG, y permite exportar secciones a HEC-RAS.

Como este trabajo es una comprobación, en la que se va a partir de los caudales obtenidos por CIOPU, se van a estudiar únicamente las secciones que afectan a la parcela de la depuradora, para comprobar su inundabilidad, partiendo de la hipótesis

HEC-RAS permite realizar los cálculos por distintos métodos. Para el estudio se ha optado por el flujo uniforme y permanente mediante la ecuación de la energía y de la cantidad de movimiento.

### 4.2 DATOS DE PARTIDA

Las secciones se tomaron a partir de la cartografía del levantamiento con curvas de equidistancia cada 0,2 m, a partir del cual se generó un T.I.N. (Triangulated Irregular Network), que fue modificado mediante líneas de quiebro para suavizar los escalones que suelen formar este tipo de modelos digitales en la línea que sigue la dirección del río. De esta forma se evita que se generen cambios de régimen o aumentos de velocidad que no se corresponden con la realidad.

La rugosidad a introducir en el modelo hidráulico se caracteriza por el coeficiente de rugosidad de Manning, que se ha tomado con el valor de 0,050 para las márgenes y de 0,030 para el cauce, de la misma forma que constaba en el estudio de CIOPU.

Los coeficientes de contracción y de expansión que se tomaron fueron de 0,1 y 0,3 respectivamente, y que son los valores que ofrece el programa por defecto.

Se ha comprobado la pendiente utilizada en el proyecto de CIOPU para realizar la modelización hidráulica, que era del 0.8%. Se ha validado y se ha utilizado en la modelización realizada ahora.

El tramo se ha analizado suponiendo un régimen mixto, que es el habitual para las pendientes del tramo de estudio.

### 4.3 RESULTADOS

Los resultados que ofrece el programa son de dos tipos, numéricos y gráficos. Los primeros se dan en forma de tabla, y se recogen los datos más relevantes del comportamiento del agua para cada sección y período de retorno. Los resultados en forma gráfica son de dos tipos:

- 1) Secciones transversales
- 2) Presentación en planta

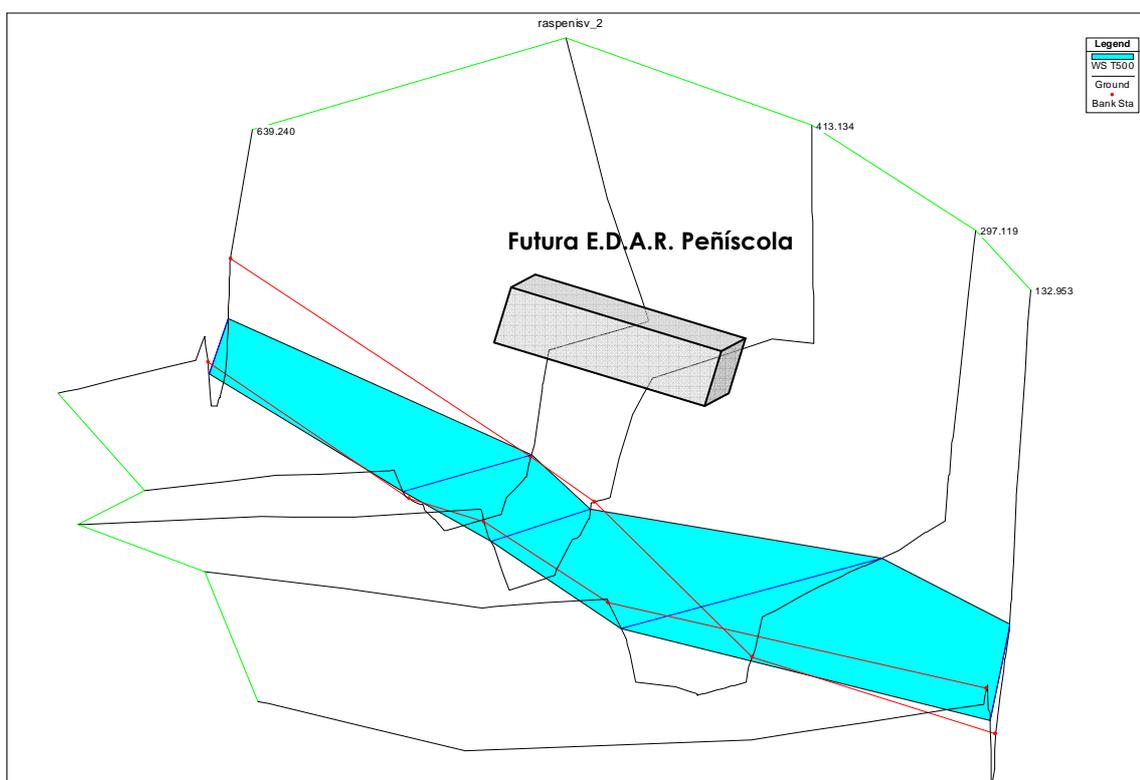
Las secciones transversales son aquellas que se utilizaron en la caracterización geométrica del río y se representan en el anexo nº 2 de este documento. En estas se han dibujado las líneas de superficie libre para el periodo de retorno comentado (500 años).

La presentación en planta, incluidos en el anexo 3, requiere un paso intermedio, ya que no es HEC-RAS quien facilita este tipo de resultado. Para ello es necesario utilizar un programa de información geográfica (SIG), que lee la información suministrada por el análisis para, finalmente, poder confeccionar los planos de llanuras de inundación que se presentan en el presente estudio.

Finalmente, los resultados numéricos incluidos en el anexo nº 1 en forma de tabla, presentan los diferentes parámetros hidráulicos calculados, como la cota de la lámina de agua, datos de velocidades en canal o régimen de la corriente en cada sección, etc.

Como observación cabe destacar que HEC-RAS nombra las secciones según la distancia al punto final del tramo de río en cuestión.

Seguidamente se adjunta la representación 3D de la situación modelizada:



Como se puede observar, la parcela de la depuradora una vez explanada a la cota 47, no resulta inundable ni siquiera por la llanura de periodo de retorno 500 años.

## 5 CONCLUSIONES

Las principales características de la parcela que justifican el estudio de su inundabilidad se derivan de su presencia junto a la Rambla de Alcalá. Su ubicación en esta zona, se ve condicionada por los siguientes factores:

- o Proximidad con las vías de comunicación
- o Crecimiento urbanístico de Peñíscola
- o Aspectos de Impacto ambiental en un entorno protegido.
- o Riesgos de inundación.

De esta forma, se decidió elevar la cota de la parcela de la depuradora hasta la 47, habiéndose comprobado que esta cota se encuentra libre de riesgos tanto en el estudio de CIOPU como en la modelización incluida en este documento.

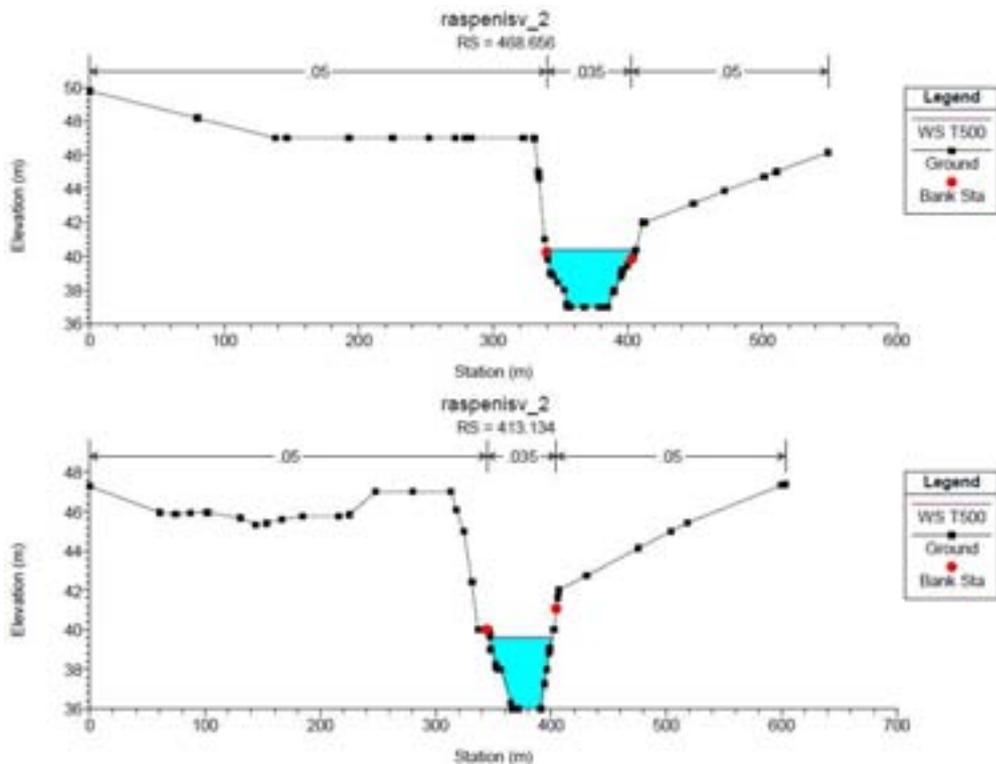
Elo se comprueba fácilmente al estudiar la cota máxima de inundación para las secciones 468.656 y la 413.134, siendo la primera la más representativa y más desfavorable de las dos seleccionadas:

Tramo	Sección	Período retorno	Q Total (m³/s)	Cota mínima del canal (m)	Cota de la lámina de agua (m)	Calado crítico (m)	Línea de energía (m)	Pendiente energía (m/m)	Velocidad canal (m/s)	Área Mojada (m²)	Anchura máxima llanura (m)	Nº de Froude
1	468.656	T500	728.00	37.00	40.38	40.22	41.42	0.007259	4.51	162.30	66.48	0.90
1	413.134	T500	728.00	36.00	39.61	39.61	40.94	0.009078	5.11	142.55	54.28	1.01

En cuanto a la cota máxima de avenida, el estudio de hidráulico realizado con cartografía a escala 1:5000, sobre la que se superpuso el levantamiento topográfico 1:1000 realizado para el proyecto, dio los resultados siguientes para la misma sección:

T	Cota máxima avenida
500	40,38 msnm

Elo se puede observar fácilmente en las secciones en alzado siguientes:



Por otro lado, se considera que el efecto del puente de la autopista A-7 sobre los riesgos de inundación de la parcela de la depuradora es despreciable por las siguientes causas:

- o Este puente cuenta con un vano de más de 225 m hacia el lado al que se abre la llanura de inundación según el modelo realizado, cuando la anchura máxima de la avenida en las secciones estudiadas es de 132.20 m. Es por ello, que se considera que la sección del puente sería más que suficiente para el paso de la avenida de 500 años.
- o Se encuentra a más de 600 m aguas abajo de la parcela de la depuradora, y sin estrechamientos de sección de por medio, por lo que su influencia podría considerarse despreciable.

Tras este análisis, se puede concluir que el estudio de inundabilidad completo realizado por CIOUPU es coherente con la comprobación realizada en el presente documento, de lo cual se puede extraer que la parcela de la depuradora de Peñíscola no es inundable para la avenida de periodo de retorno de 500 años.

## ANEXOS



# **ANEXO N° 1.- RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA**



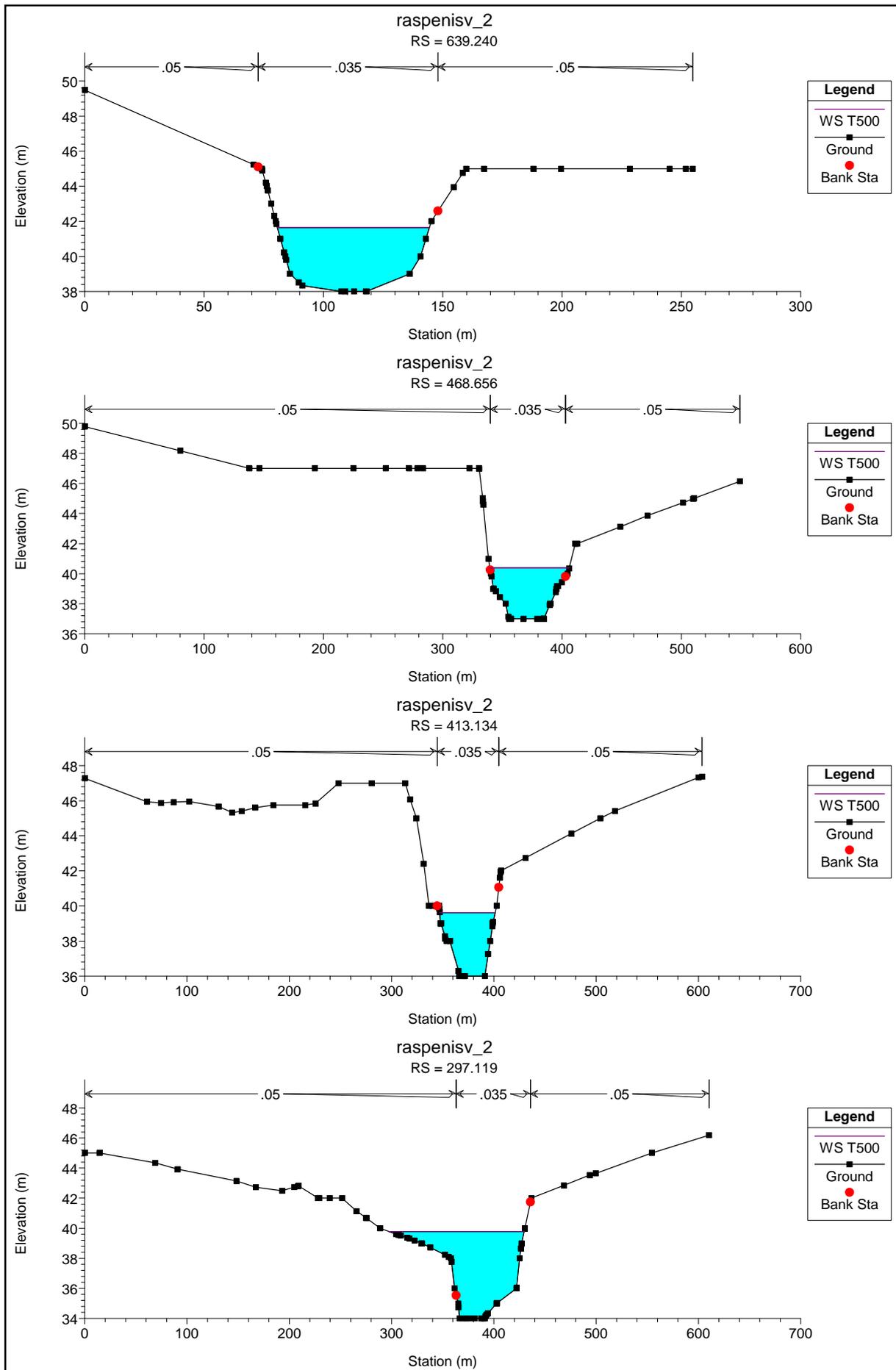
En el presente anexo se pueden consultar los resultados en forma de tabla de los cálculos realizados con la aplicación HEC-RAS.

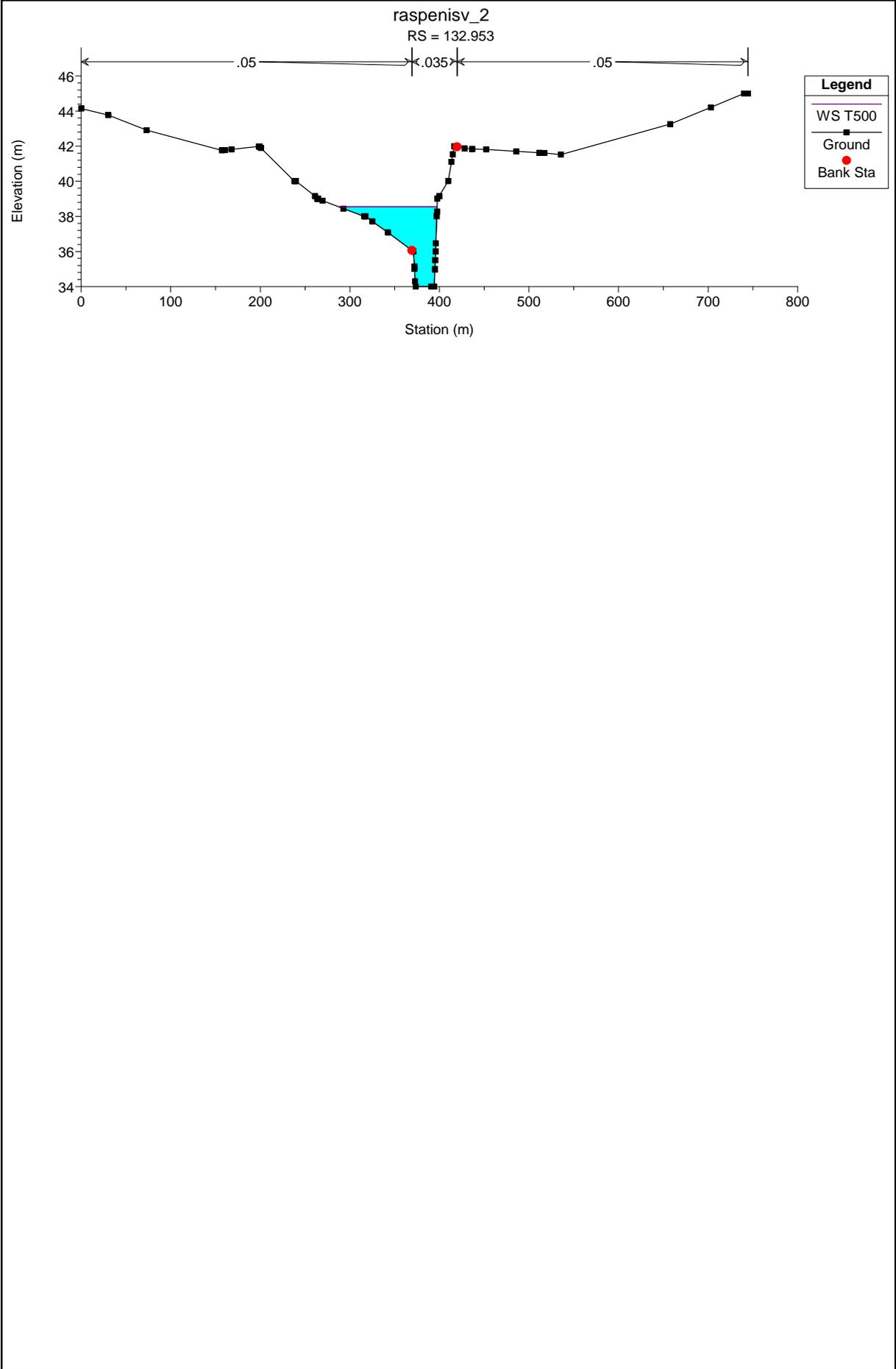
Tramo	Sección	Periodo retorno	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Cota mínima del canal (m)	Cota de la lámina de agua (m)	Calado crítico (m)	Línea de energía (m)	Pendiente energía (m/m)	Velocidad canal (m/s)	Área Mojada (m <sup>2</sup> )	Anchura máxima llanura (m)	Nº de Froude
1	639.240	T500	728.00	38.00	41.63		42.41	0.004565	3.90	186.44	63.66	0.73
1	468.656	T500	728.00	37.00	40.38	40.22	41.42	0.007259	4.51	162.30	66.48	0.90
1	413.134	T500	728.00	36.00	39.61	39.61	40.94	0.009078	5.11	142.55	54.28	1.01
1	297.119	T500	728.00	34.00	39.78		40.02	0.000775	2.21	378.52	132.20	0.32
1	132.953	T500	728.00	34.00	38.55	38.55	39.66	0.005660	5.12	202.63	110.38	0.81



## **ANEXO Nº 2.- SECCIONES TRASVERSALES**







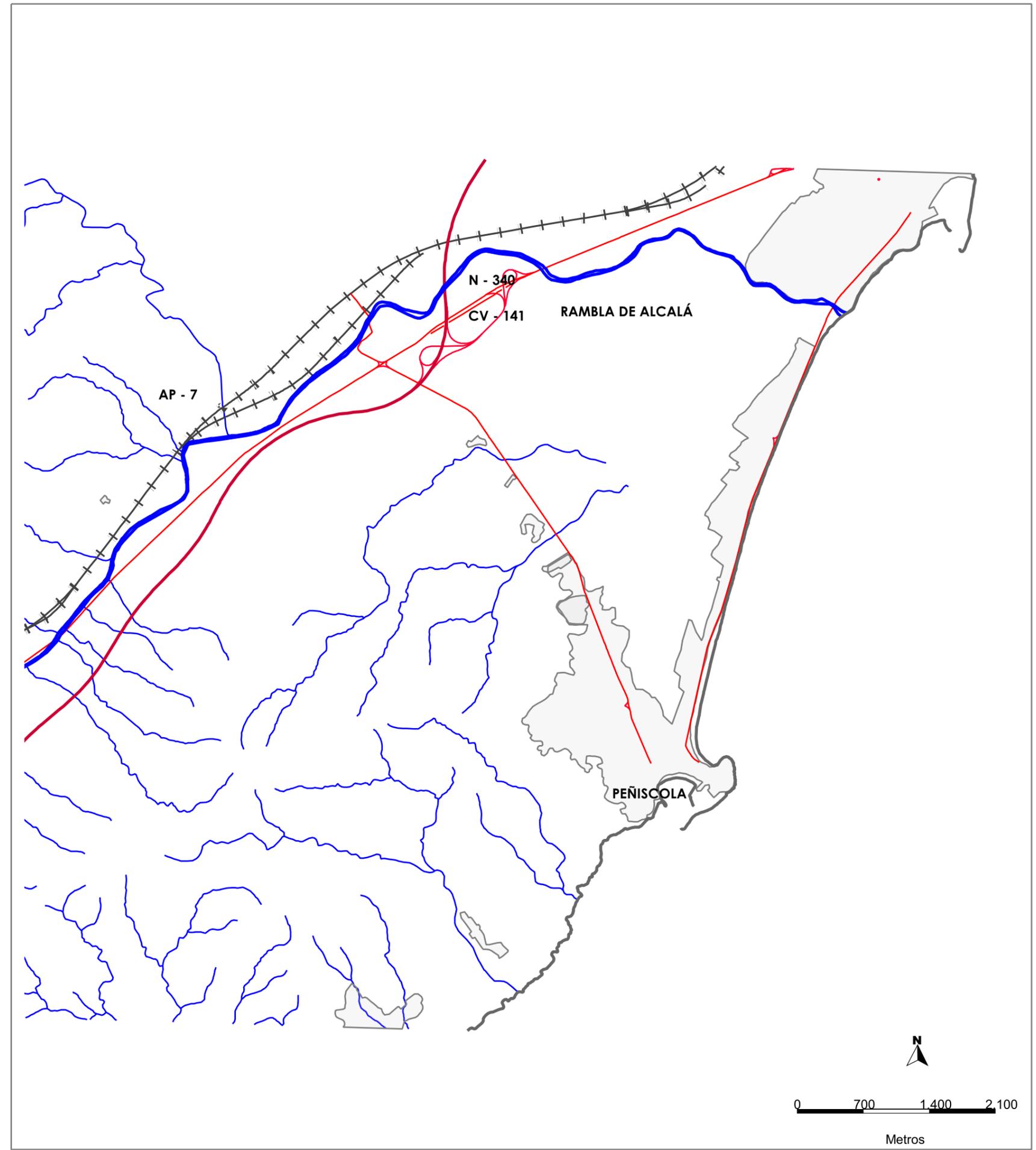
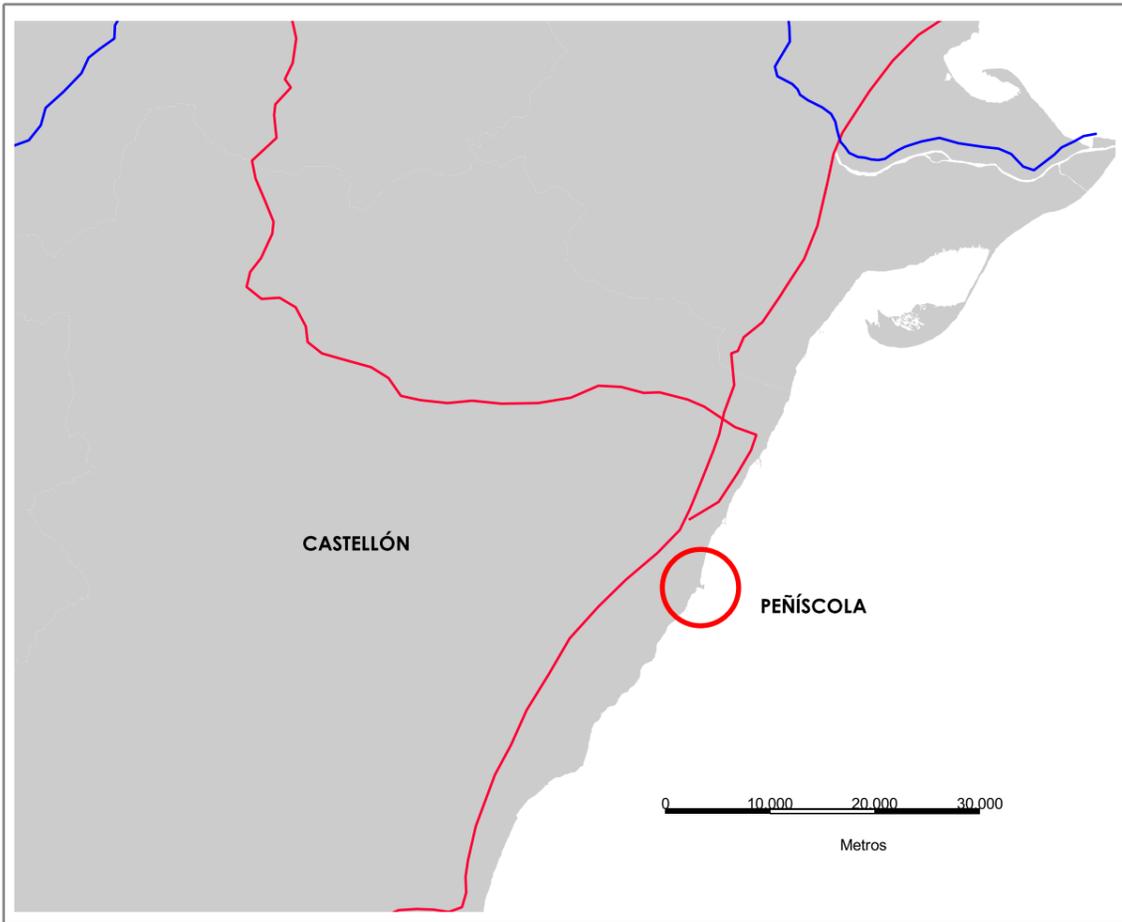
## **ANEXO N° 3.- PLANOS**



**INDICE**

PLANO Nº 1	SITUACIÓN
PLANO Nº 2	LLANURAS DE INUNDACIÓN SOBRE TOPOGRÁFICO
PLANO Nº 3	LLANURAS DE INUNDACIÓN SOBRE ORTOFOTO







**LEYENDA**

-  Curvas de nivel
-  Secciones
-  T 500



PROYECTO: PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA NUEVA E.D.A.R. Y COLECTORES GENERALES DE PEÑÍSCOLA (CASTELLÓN)

EMPRESAS CONSTRUCTORAS  
UTE EDAR PEÑÍSCOLA  
 

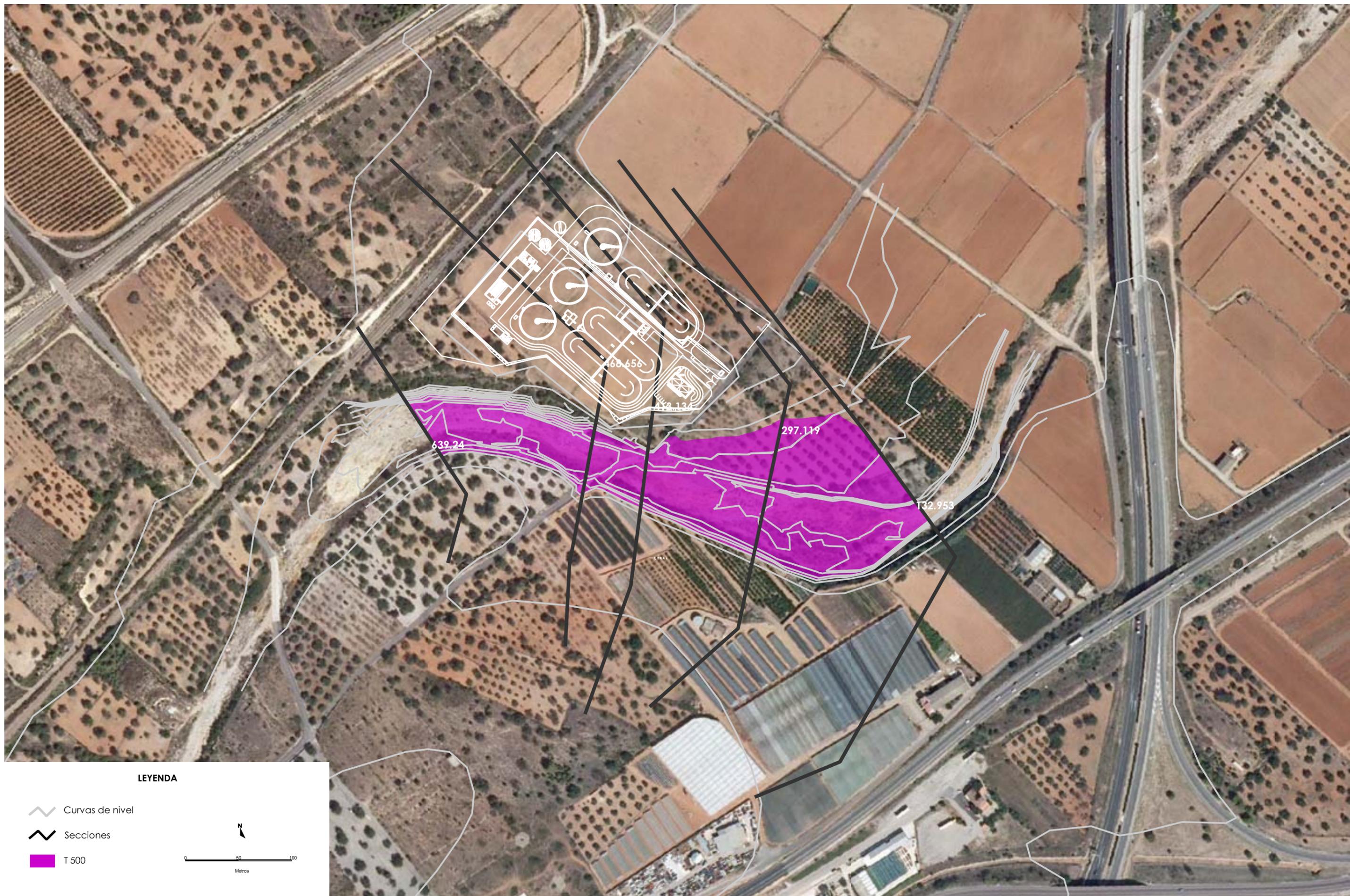
INGENIERO AUTOR DEL PROYECTO:  
  
D. SANTIAGO ALONSO FERNÁNDEZ  
I.C.C.P. COLEGIADO Nº 10566

ESCALA:  
1: 3.000

TÍTULO DEL PLANO:  
LLANURA Y SECCIONES EN PLANTA SOBRE TOPOGRÁFICO

FECHA:  
MAYO 2013

Nº DEL PLANO:  
2



**LEYENDA**

-  Curvas de nivel
-  Secciones
-  T 500

