ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DE LAS PARCELAS 281 Y 282 DEL POLÍGONO 44 DE LLUCMAJOR PARA LA INSTALACIÓN DEL PARQUE FOTOVOLTAICO DENOMINADO GORILA

Autor

Daniel Aguiló Ferretjans
ICCP col nº 19.303

D.A. INGENIERÍA

Email: daagfer@gmail.com Movil 687 886 813 Web: www.danielaguilo.com

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN OBJETO DEL ESTUDIO 4
2 DATOS PREVIOS 5
3 URBANISMO 7
4 DESCRIPCIÓN LA ZONA DE ESTUDIO 8
5 METODOLOGÍA GENERAL 10
6 ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA 11
6.1 METODOLOGÍA GENERAL 11
6.1.1 Modelo HEC HMS 11
6.1.2 Proceso de cálculo 11
6.1.3 Obtención de la lluvia neta 12
6.2 Características del modelo 13
6.2.1 Caracterización de la cuenca 14
6.2.2 Estudios pluviométricos 15
6.2.3 Simulación hidrológica de las cuencas 15
6.2.4 Cálculo de caudales de avenida 15
6.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS 16
6.3.1 Modelo digital el terreno 16
6.3.2 Cuenca de estudio 17
6.3.3 División de la cuenca de estudio 18
6.3.4 Modelo Hec Hms 19
6.3.5 Caracterización morfológica 20
6.4 CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA 21
6.5 ESTUDIO DE PRECIPITACIONES 24
6.6 CURVAS IDF 27
6.7 HIDROGRAMA 28
7 ESTUDIO HIDRÁULICO IBER 29
7.1 MODELO CON IBER 29
7.1.1 Introducción 29
7.1.2 Funcionamiento del software IBER 29
7.2 MODELIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO 30
7.2.1 Modelo digital del terreno 30
7.2.2 Condiciones hidrodinámicas 31
8 RESULTADOS 33
9 CONCLUSIONES 35

IMÁGENES

Figura 1 Parcelas objeto del estudio 4
Figura 2 Cartografía de la zona de estudio 6
Figura 3 Según el PTI de Mallora es un Sistema Rustico General 7
Figura 4 Las parcelas de estudio con las líneas de corriente. 8
Figura 5 Muro perimetral de pedra en sec 9
Figura 6 Zona de transito de la avenida 9
Figura 7 Modelo digital del terreno junto a la parcela de estudio 16
Figura 8 Cuenca de estudio con las diferentes líneas de agua 17
Figura 9 Subdivisión en cuencas 18
Figura 10 Modelo Hec Hms 19
Figura 11 Valores de las curvas SCS en función de usos del suelo 23
Figura 12 Hietograma bloques alternos 26
Figura 13 Curvas intensidad duración frecuencia 27
Figura 14 Hidrograma para T 500 28
Figura 15 Malla utilizada con el software IBER 31
Figura 16 Llanura inundación T 500 33
Figura 17 Velocidades para T 500 34

TABLAS

Tabla 1 Tiempo de concentración 20
Tabla 2 Parámetros de Muskingum 20
Tabla 3 Valores de área y de las curvas SCS 24
Tabla 4 Intensidad lluvia ponderada 24
Tabla 5 Hietograma bloques alternos 25
Tabla 6 Caudal punta para el periodo de retorno de 500 años 28

1 INTRODUCCIÓN OBJETO DEL ESTUDIO

Se ha realizado un estudio de inundabilidad de las parcelas 281 y282 del polígono 44 del término municipal de Llucmajor para dar respuesta al escrito de la Dirección General de Recursos Hídricos en el que solicita la realización de un estudio hidrológico e hidráulico de las mismas y ver su afección.
A continuación se ve una imagen con la zona de la parcela y las dos líneas de agua.

Figura 1 Parcelas objeto del estudio

En este estudio se obtendrá el caudal punta para el período de retorno de 500 años utilizando el software HEC HMS y modelizados hidráulicamente mediante con software IBER para la determinación de la llanura de inundación, los calados, velocidades.

2 DATOS PREVIOS

La documentación existente al comienzo de los trabajos y que ha sido empleada en la realización del estudio, así como la obtenida a lo lago del mismo ha sido la siguiente:

1. Cartografía LIDAR del cauce y de la zona de aporte de escorrentía obtenida del Instituto Geográfico Nacional. Las características principales de la misma son: Modelo digital del terreno con paso de malla de 5 m, con la misma distribución de hojas que el MTN50. Sistema geodésico de referencia ETRS89 (en las Islas Canarias REGCAN95 compatible con WGS84) y proyección UTM en el huso correspondiente a cada hoja. En Canarias el huso UTM es el 28. Según la hoja de que se trate, el MDT05 se ha obtenido de una de las dos siguientes formas: por estereocorrelación automática de vuelos fotogramétricos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) con resolución de 25 a 50cm/píxel, revisada e interpolada con líneas de ruptura donde fuera viable, o bien por interpolación a partir la clase terreno de vuelos LIDAR del PNOA.
2. Servicio de WMS de usos del suelo correspondiente al proyecto europeo CORINE LAND COVER
3. Servicio WMS del Consell Insular de Mallorca y de la Comunitat Autónoma de Illes Balears CAIB distribuido por SITIBSA para la obtención de cuencas, de trazado de torrentes, así como el Plan Territorial de Mallorca .
4. Estudio de caracterización de régimen extremo de precipitaciones en las Islas Baleares de la D.G. de Recursos Hídricos (año 2001).
5. Visor de MUIB Mapa de usos urbanísticos de las Illes Balears
6. Mapas de Isohietas de las Islas Baleares proporcionado por el Govern de les Illes Balears.

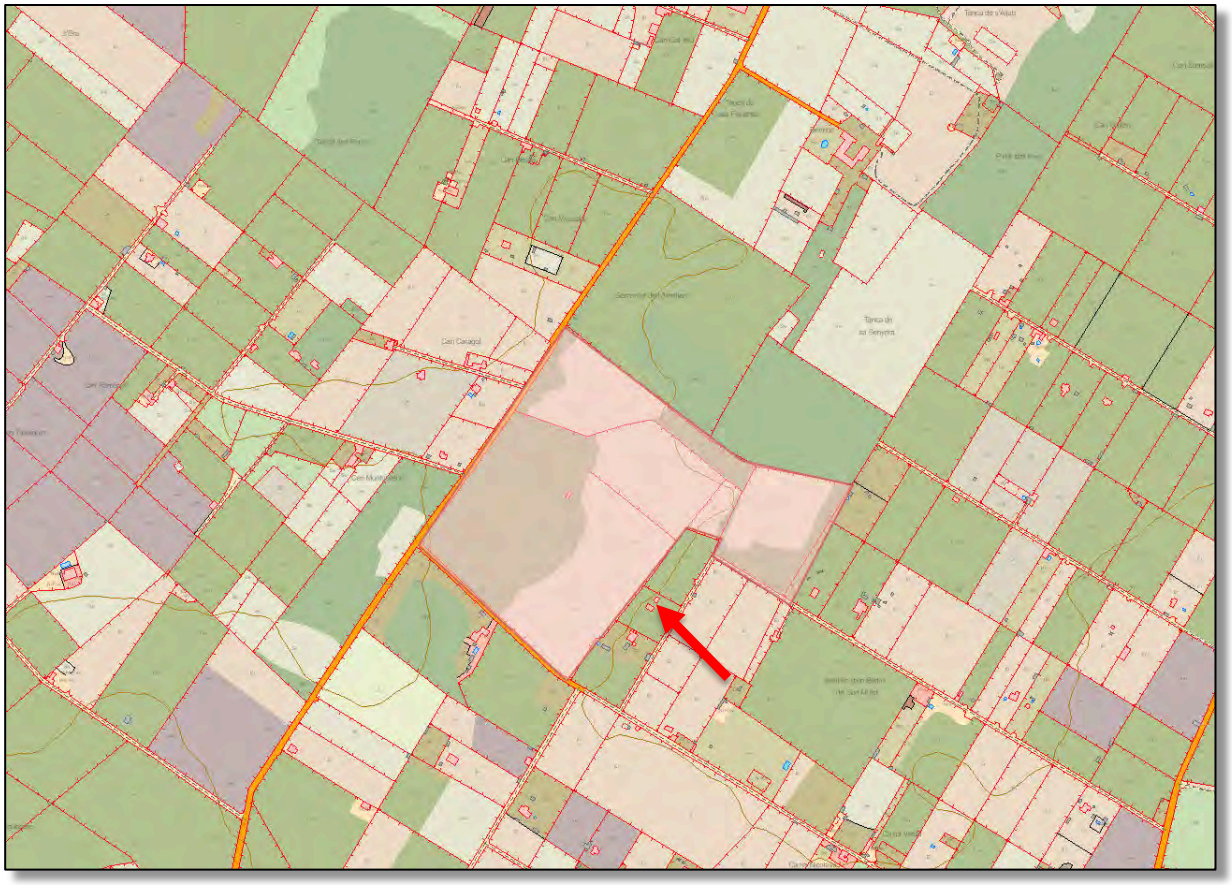


Figura 2 Cartografía de la zona de estudio

La documentación obtenida se considera suficiente para la realización de los trabajos.

3 URBANISMO

La parcela está situada en zona rustica del TM de Llucmajor.
En la imagen puede verse el PTI de Mallorca con la parcela situada en SRG sistema rústico general.

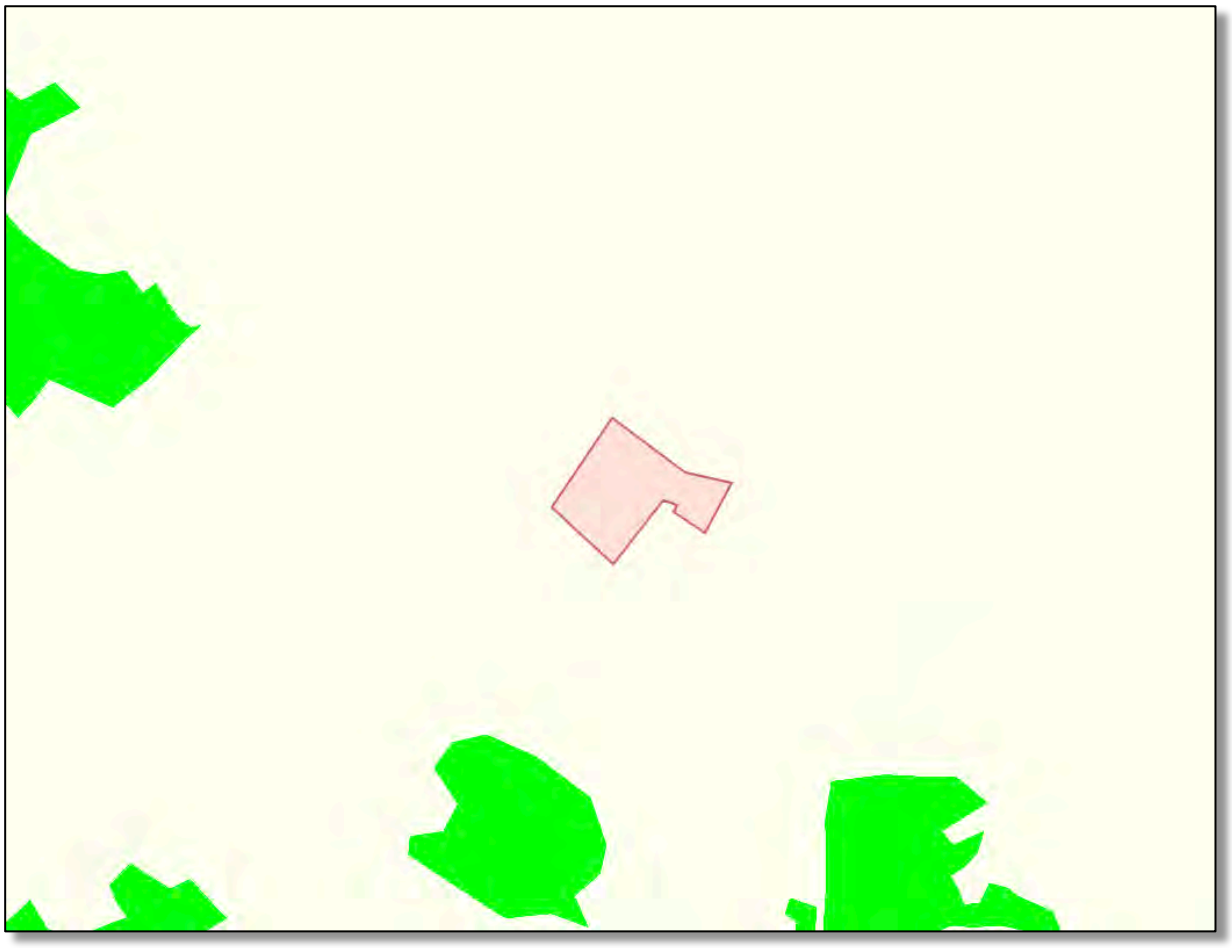


Figura 3 Según el PTI de Mallora es un Sistema Rustico General

4 DESCRIPCIÓN LA ZONA DE ESTUDIO

Las parcelas de estudio están situadas en el término municipal de Llucmajor, al sur de la carretera Ma-19. En las mismas se han grafiado dos líneas de corriente, pero que **no están** en ninguna *plana geomorfologica d'inundació* como puede verse en la siguiente imagen y que, por tanto, no se consideran zona inundable.

Figura 4 Las parcelas de estudio con las líneas de corriente.

Se va a estudiar la afección de la posible avenida de inundación para un periodo de retorno de 500 años .

La parcela está rodeada perimetralmente por muros de pedra en sec que puede reducir el impacto de una avenida pero que no se puede considerar que sean resistente estructuralmente.

En la imagen pueden ver esta tipología de muro.

Figura 5 Muro perimetral de pedra en sec

La topografía de la parcela muestra que la zona de transito de una avenida estará centrada en la zona sin árboles.

Figura 6 Zona de transito de la avenida

5 METODOLOGÍA GENERAL

Para llegar a definir la zona de inundación de la parcela se ha utilizado la siguiente metodología: Se han realizado un estudio hidrológico e hidráulico. Con los datos obtenidos se han realizado los planos de líneas de escorrentía. Para su realización se ha utilizado una metodología clásica, dónde primero se obtiene el hietograma que define la lluvia que afecta a la zona y después se utilizan para obtener las líneas de escorrentía de la misma.

En los siguientes apartados del presente estudio se explican, de una forma detallada, los distintos pasos seguidos para poder obtener los resultados de cada una de las partes mencionadas anteriormente.

La metodología a seguir es la que se indica en los siguientes puntos:

- ESTUDIO HIDROLÓGICO
  - Modelización del terreno a una escala suficientemente grande como para abarcar toda la cuenca.
  - Obtención de los parámetros morfológicos de la cuenca. Superficie, pendientes uniones…
  - Obtención de los usos del suelo
  - Obtención de los datos pluviométricos hietograma

- ESTUDIO HIDRÁULICO
  - Modelización del terreno de la zona de estudio en base al levantamiento topográfico
  - Modelización utilizando el software IBER
  - Obtención de las líneas de escorrentía.

- CONCLUSIONES

Para el cálculo hidráulico se ha utilizado un modelo hidráulico IBER.

Por tanto, cabe concluir que la metodología aplicada responde a las necesidades observadas y hace que los resultados obtenidos sean de aplicación en el conjunto del estudio.

6 ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA

6.1 METODOLOGÍA GENERAL

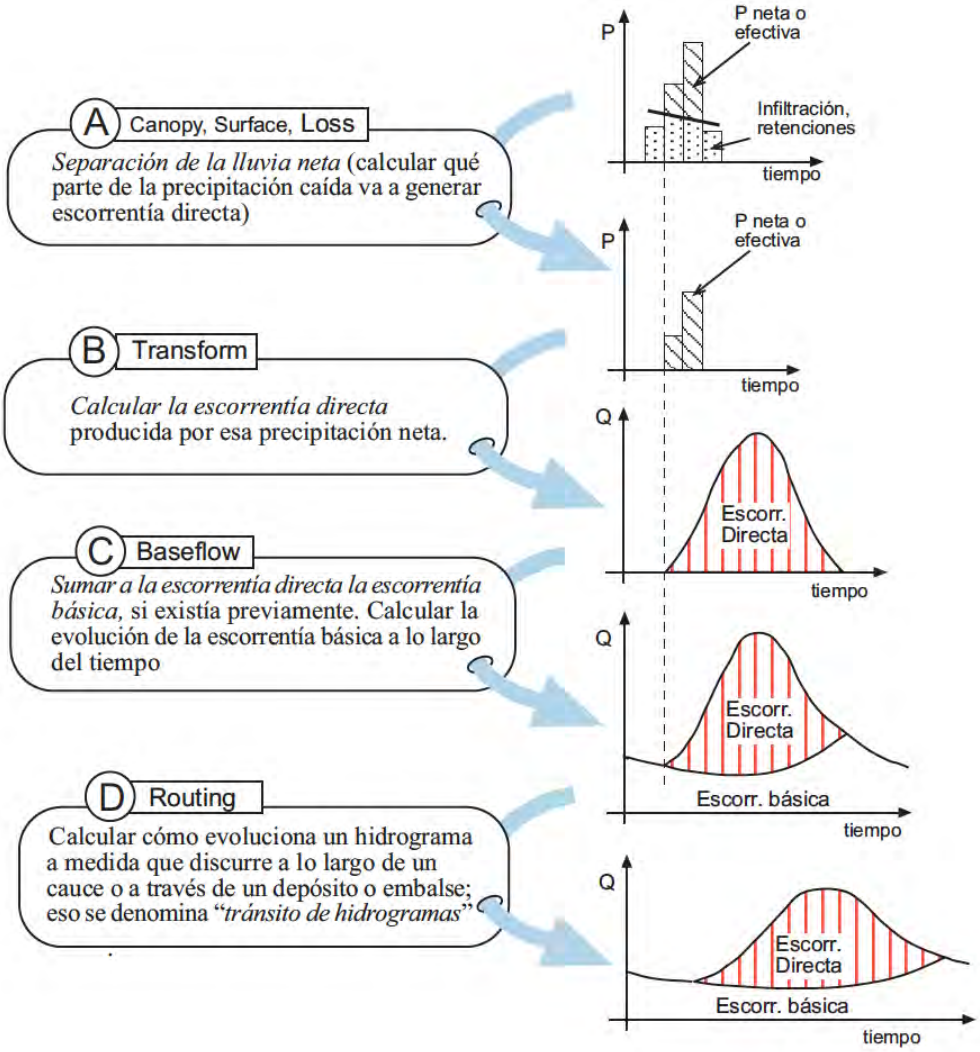
El presente estudio hidrológico tiene por objeto determinar caudales de avenida representativos en el conjunto territorial estudiado para el periodo de retorno de 500 años.
Con el modelo HMS obtendremos los hidrogramas de salida de la zona de estudio.

6.1.1 Modelo HEC HMS

Se ha obtenido el modelo de la pagina
https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/

6.1.2 Proceso de cálculo

Las fases de trabajo del programa HEC HMS se pueden esquematizar según el siguiente modelo



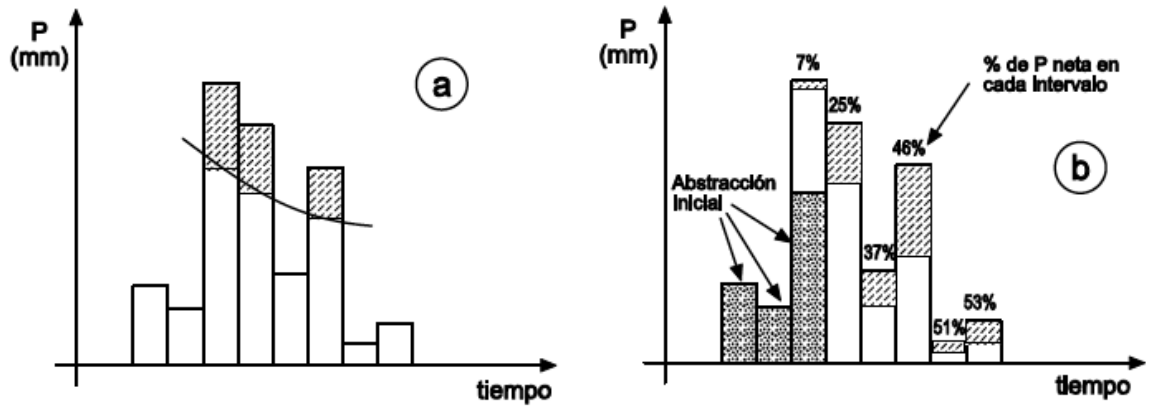
HMS permite establecer varias subcuencas. El programa realiza los cálculos de las tres primeras fases (A, B, C) para cada subcuenca, y calcula la última fase (D) para cada tránsito a lo largo de un cauce (la evolución del hidrograma que, generado en la salida de una subcuenca, circula por otra distinta). En los puntos de unión, suma los caudales generados por varios elementos.

Finalmente nos proporciona los hidrogramas generados (en tabla y en gráfico) para cada subcuenca y para el total de la cuenca.

6.1.3 Obtención de la lluvia neta

Objetivo

El objetivo es separar la parte de esa precipitación que ha generado escorrentía directa. A esa parte la llamamos P neta, P efectiva. La P que no genera escorrentía queda como retención superficial o se infiltra. Posteriormente, este agua acabará evapotranspirándose o llegando a la escorrentía subterránea, pero esto no nos interesa en este momento: es agua perdida para la escorrentía directa, y la denominaremos abstracciones.



La Precipitación Neta (zona rayada) es el 20% en los casos (a) y (b):
(a) Las abstracciones disminuyen con el tiempo, una línea continua decreciente separa la P neta
(b) Después de un umbral inicial (o abstracción inicial), el porcentaje de precipitación neta aumenta progresivamente

Procedimiento de cálculo

La clave para la aplicación del procedimiento es la precipitación inicial que no produce escorrentía directa. Esta magnitud se denomina abstracción inicial o umbral de escorrentía. Para su evaluación se utilizan tablas en función del tipo de suelo (arenoso, arcilloso,...), uso del suelo (bosques, cultivos,...), pendiente, etc. Las tablas americanas proporcionan valores de CN ("curve number", que es una función de la abstracción inicial), mientras que las tablas españolas indican valores del umbral de escorrentía (Po).

Originalmente, este método se denomina "el método del número de curva" ("The Runoff Curve Number method"). El umbral de escorrentía (Po) se nombra como abstracción inicial (Ia), y lo que aquí hemos llamado Pn ("precipitación neta acumulada"), aparece como Escorrentía directa ("Runoff"). Estos conceptos son equivalentes, ya que el volumen acumulado de P neta será igual al volumen de escorrentía directa producida. El procedimiento se basa en las dos hipótesis siguientes: 1ª) La Precipitación comienza a producir escorrentía directa (o comienza a producirse precipitación neta, Pn) cuando la precipitación total caída hasta ese momento (P) supera un umbral inicial, o abstracción inicial (Ia). Se considera que ese umbral inicial es el 20% de la máxima abstracción posible (S). 2ª) Puede establecerse la siguiente proporción:

$$\frac{Abstracción\ \ producida}{Abstracción\ \ Máxima} = \frac{P\ neta\ producida}{P\ neta\ máxima} \qquad (3)$$

El significado de esta segunda hipótesis es que, si en un momento del transcurso de la precipitación la capacidad de abstracción del suelo está al 30% de su capacidad máxima, hasta ese mismo momento habrá generado escorrentía directa el 30% de la precipitación caída (descontando la abstracción inicial Ia).

La precipitación caída (menos la abstracción inicial) o ha escurrido superficialmente o ha sido abstraída:	$(\Sigma P - I_a) = \Sigma P_n + Abstracción\ producida$
Despejando:	$Abstracción\ producida = (\Sigma P - I_a) - \Sigma P_n$
	$Abstracción\ \ Máxima = S$
El máximo valor posible de *P neta* (que podría generar escorrentía) sería toda la caída menos la abstracción inicial	$P\ neta\ máxima = \Sigma P - I_a$

(P= precipitación total; P_n=precipitación neta; I_a = abstracción inicial)

Sustituimos las expresiones anteriores en la ecuación (3) y resulta:

$$\frac{(\Sigma P - I_a) - \Sigma P_n}{S} = \frac{\Sigma P_n}{\Sigma P - I_a} \qquad (4)$$

Operando para despejar ΣPn, resulta:

$$\Sigma P_n = \frac{(\Sigma P - I_a)^2}{S + (\Sigma P - I_a)} \qquad (5)$$

Se observó empíricamente que la abstracción inicial era aproximadamente el 20% de la abstracción máxima, o sea: Ia = 0,2·S. Si en (5) sustituímos S por Ia /0,2, resulta:

$$\Sigma P_n = \frac{(\Sigma P - I_a)^2}{(\Sigma P + 4I_a)} \qquad (6)$$

que es exactamente la fórmula (1) o la (2), con la única diferencia de que la abstracción inicial (Ia) allí aparecía como Po .

6.2 Características del modelo

En los apartados posteriores se presenta una descripción de las actividades desarrolladas para el cumplimiento de los objetivos perseguidos que, en síntesis, han consistido en:

- Caracterización de las cuencas implicadas tratando, tanto aspectos morfológicos, como aquellos otros relacionados con la respuesta hidrológica de las mismas frente al fenómeno de la precipitación.

- Estudio de las precipitaciones, considerando los estudios antecedentes existentes en la zona.
- Simulación hidrológica de la cuenca, se han construido los modelos hidrológicos, basados en el programa HEC-HMS.
- Cálculo de caudales de avenida mediante la utilización de los modelos construidos de acuerdo con lo indicado anteriormente, en función de las precipitaciones indicadas en los mapas de Isohietas de la CAIB y distribuidas según el método de bloques alternos.

6.2.1 Caracterización de la cuenca

Caracterización de la cuenca

En la caracterización de la cuenca, a efectos de su respuesta frente a precipitaciones de gran intensidad, se ha considerado dos tipos de parámetros: morfológicos e hidrológicos. Dentro de los primeros se han analizado los siguientes:

Superficie Geología Usos del suelo

En lo que se refiere a los parámetros estrictamente hidrológicos, que permiten establecer la relación entre precipitación total y precipitación eficaz -la que da lugar a escorrentía-, se ha utilizado la metodología desarrollada por el Soil Conservation Service del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Éste caracteriza el comportamiento hidrológico de un terreno asignándole un determinado número de curva (denominado número de curva del S.C.S.). Así, en función de las características geológicas, edafológicas, de cubierta vegetal y de uso del suelo, se han obtenido planos generales de la evolución espacial del número de curva del S.C.S. a lo largo de todo el territorio que comprende la zona de estudio. A partir de ellos se ha determinado el valor medio de este parámetro para cada una de las subcuencas consideradas.
El numero de curva SCS se ha obtenido de archivos raster proporcionados por la Dirección General de Recursos Hídricos
http://www.caib.es/govern/organigrama/area.do?coduo=209&lang=es
Estos datos están basados en la distribución de usos del suelo que se puede descargar en la página del Instituto Nacional Geográfico
http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp

Caracterización de la cuenca

Por otra parte, en función de la longitud del cauce y de su pendiente media se ha establecido el tiempo de concentración (Tc) de la cuenca.

Caracterización del cauce

Para la caracterización del cauce de tránsito del hidrograma se utilizará la formulación de Muskingum con los parámetros K y X particulares de cada tramo.

6.2.2 Estudios pluviométricos

Los valores de intensidad máxima de lluvia diaria se han obtenido del los mapas de isohietas elaborado por el Govern de les Illes Balears y que se presenta en el apartado planos. Se han obtenido en el enlace
http://observatoriaigua.uib.es/repositori/tp_precipitacion_2002.pdf

Hietograma de diseño

Para la obtención del hietograma de diseño se ha utilizado el modelo de bloques alternos como se verá más adelante para una duración de la lluvia de un día y para un período de retorno de 500 años.

6.2.3 Simulación hidrológica de las cuencas

El empleo de un modelo de simulación para el cálculo de caudales de avenida es, sin lugar a dudas, el método más recomendable. Tiene las siguientes ventajas:

- Permite aprovechar todos los datos disponibles, tanto los asociados con el régimen meteorológico como los correspondientes a la respuesta hidrológica de la cuenca.
- Sólo hace uso de la estadística para tratar aquellos datos, en concreto los pluviométricos, que no pueden estudiarse con métodos determinísticos, cuyos resultados son más comprobables.
- Es posible comprobar la calidad del método a través de la comparación de sus resultados con la realidad observada.
- Permite deducir las consecuencias de cambios futuros en las características de la cuenca o de la infraestructura existente en ella.
- Proporciona como resultado el hidrograma completo de la avenida y no sólo el caudal punta. Esto es fundamental puesto que en el dimensionamiento de muchas obras y fundamentalmente en las de laminación, depende más, en muchos casos, del volumen de la crecida que dé este caudal máximo y de su distribución en el tiempo.

En el presente trabajo se ha construido un modelo basado en el programa de cálculo HEC-HMS, desarrollado y mantenido por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Ejército de los Estados Unidos y, con toda seguridad, el más empleado y comprobado en el mundo en este tipo de estudios.
La construcción del modelo se ha basado en el conjunto de datos que se refleja en apartados anteriores. La adopción de los parámetros del modelo se justifica comparando los caudales obtenidos con éste y los calculados en un estudio estadístico de aforos realizado en algunas estaciones.

6.2.4 Cálculo de caudales de avenida

Como ya se ha indicado, el cálculo de caudales de avenida se ha realizado mediante la utilización de los modelos anteriormente elaborados utilizando las precipitaciones establecidas tras el análisis pluviométrico efectuado.

6.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS

Como fase previa al desarrollo de otros trabajos comprendidos en el estudio y fundamentalmente con vistas al establecimiento de los parámetros esenciales del modelo de simulación hidrológica, se han analizado las características morfológicas e hidrológicas de la cuenca. Se ha procedido a través de las siguientes etapas:

- Caracterización de las cotas de las cuencas mediante un modelo 3D
- División de la zona de estudio en diferentes unidades hidrológicas, con objeto de obtener regiones homogéneas que permitan su modelización.
- Cálculo de los parámetros morfológicos fundamentales correspondientes a las unidades anteriores: superficie, longitud, desnivel, pendiente, tiempo de concentración, etc.
- Estudio de los parámetros hidrológicos que ligan precipitación con escorrentía –por medio de la precipitación eficaz-.

6.3.1 Modelo digital el terreno

Para la realización del modelo digital del terreno se a utilizado los archivos MDT05 del Instituto geográfico nacional del es que ha obtenido el siguiente modelo que es el que se a utilizado para la determinación de la cuenca y de las subcuencas.

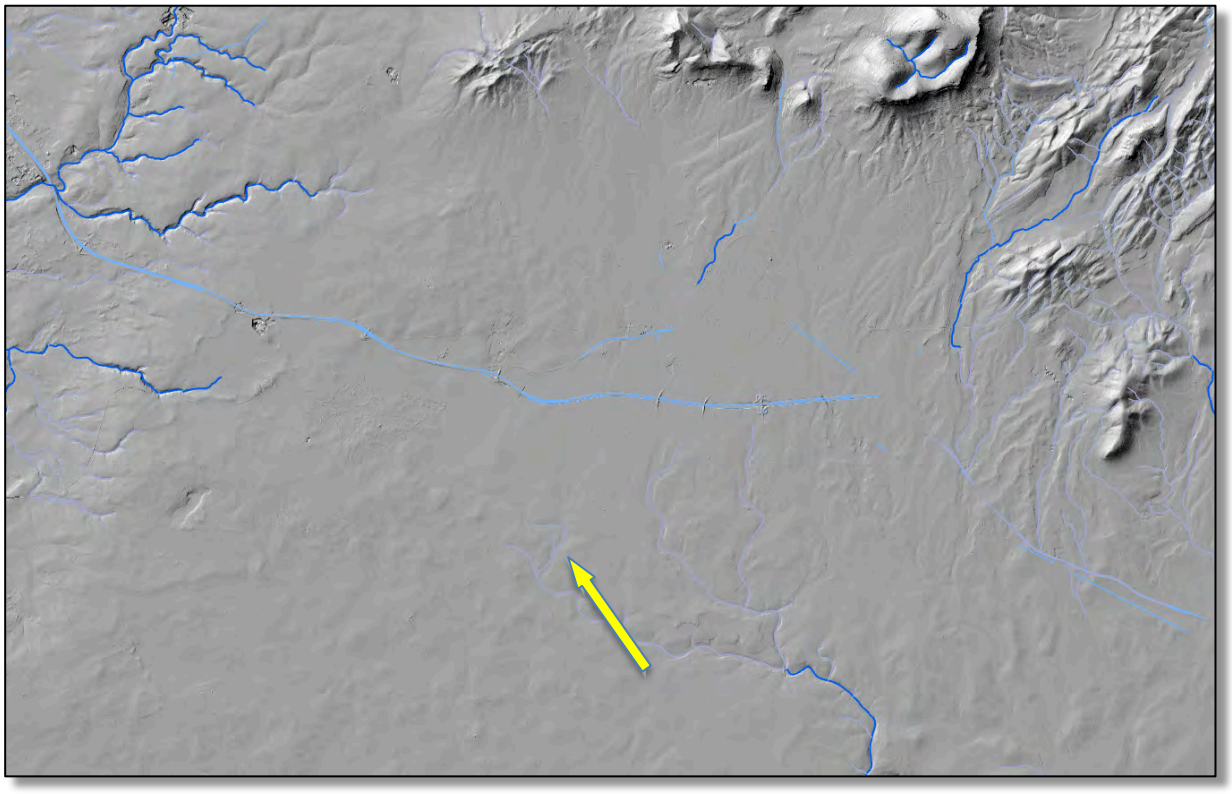


Figura 7 Modelo digital del terreno junto a la parcela de estudio

6.3.2 Cuenca de estudio

A continuación se puede ver las cuencas que vierten y evacuan a través de la cuenca de estudio:

Figura 8 Cuenca de estudio con las diferentes líneas de agua

6.3.3 División de la cuenca de estudio

Dada las dimensiones de la zona de estudio y sus particularidades se considera que la mejor descripción es de 7 subcuencas .

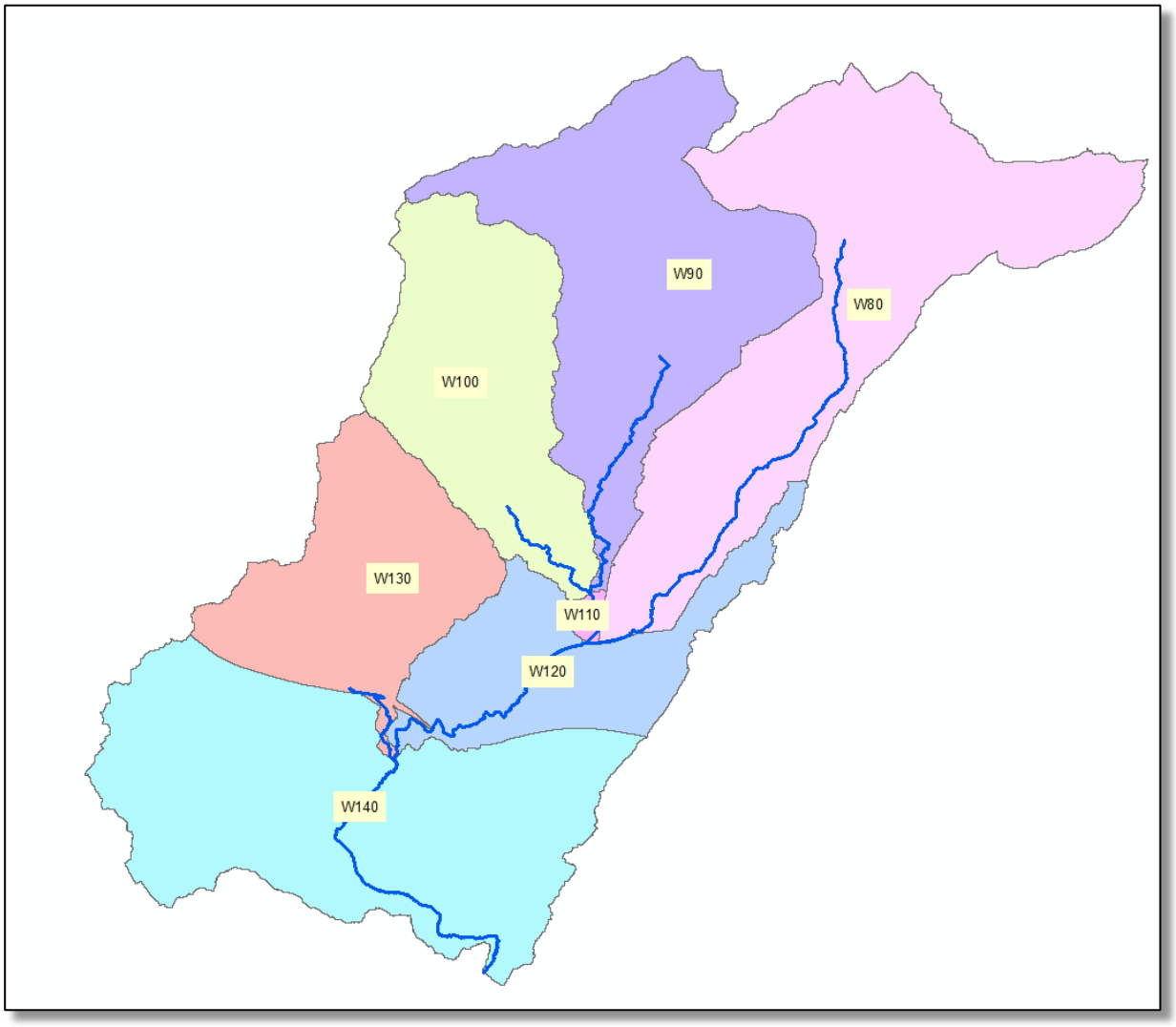


Figura 9 Subdivisión en cuencas

6.3.4 Modelo Hec Hms

A continuación se muestra el modelo que se ha realizado de las cuencas con el software Hec Hms

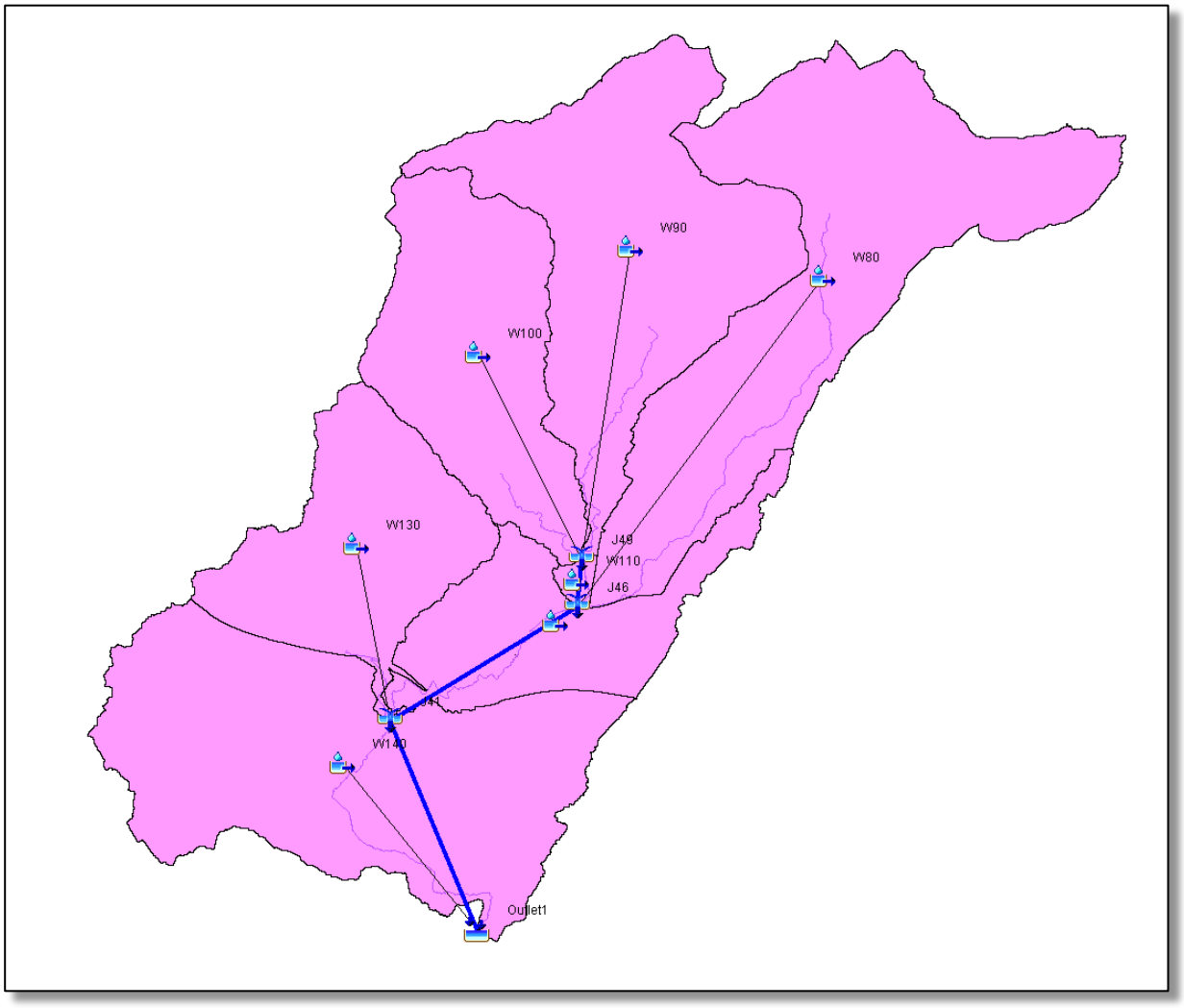


Figura 10 Modelo Hec Hms

6.3.5 Caracterización morfológica

Las características morfológicas de las subcuencas que se han obtenido son las que se necesitarán posteriormente en el modelo hidrológico:

- La superficie se obtiene mediante herramientas GIS del mapa de cuencas creado.
- La longitud de los tramos se ha obtenido nuevamente mediante herramientas GIS.
- El desnivel de los tramos objeto del estudio.

Partiendo de estas características se obtienen la pendiente de la cuenca y el tiempo de concentración.

Para determinar el tiempo de concentración (Tc) de la cuenca se ha considerado la fórmula propuesta por Témez en las Recomendaciones para el Cálculo Hidrometeorológico de Avenidas del *CEDEX*, para los parámetros del modelo de Clark como son el tiempo de viaje Tv y el coeficiente de almacenamiento K se ha utilizado la recomendación de la *GUÍA METODOLÓGICA PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA NACIONAL DE CARTOGRAFÍA DE ZONAS INUNDABLES*. Las expresiones matemáticas se pueden ver a continuación:

$$Tc = 0{,}3\left(\frac{L}{J^{0{,}25}}\right)^{0{,}76}$$

$$Tlag = 0{,}35Tc$$

L=longitud km
J=pendiente (m/m)
Tc= tiempo de concentración (horas)
Tlag=tiempo de retardo (horas)

Tabla en la que se ve el tiempo de concentración de la cuenca.

Name	AREA m2	Longitud m	Pendiente m/m	Tc h	Tlag h	Tlag min
W80	9133600	10230,21	0,04079	3,23	1,13	67,74
W90	7272500	8722,95	0,03312	2,97	1,04	62,44
W100	4928725	5908,94	0,02514	2,33	0,82	48,93
W110	139250	5769,24	0,00726	2,90	1,01	60,84
W120	3416800	6916,82	0,00639	3,41	1,19	71,55
W130	4311700	708,15	0,01143	0,54	0,19	11,33
W140	9127825	7045,44	0,00341	3,89	1,36	81,76

Tabla 1 Tiempo de concentración

Los tránsitos entre cuencas se describen a continuación por el método de Muskingum:

Tramo	LONGITUD M	PENDIENTE M/M	Manning n	Velocidad m/s	K h	K min	X	dt min	Subtramos
R30	554,91	0,0049	0,0500	1,4000	0,1101	19,58	0,25	5	2
R60	3282,97	0,0037	0,0500	1,2166	0,7496	85,74	0,25	5	9
R70	3958,02	0,0010	0,0500	0,6325	1,7384	163,86	0,25	5	17

Tabla 2 Parámetros de Muskingum

6.4 CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

Planteamiento metodológico

El segundo grupo de parámetros, esencial para la caracterización de las cuencas -a efectos del modelo de simulación-, está relacionado con su comportamiento hidrológico. Tales parámetros permiten calcular la escorrentía superficial -o precipitación eficaz- en relación con la lluvia total. De los distintos métodos habituales para representar el comportamiento hidrológico del terreno se ha elegido el del número de curva, propuesto por el Soil Conservation Service del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Se ha optado por dicha opción teniendo en cuenta que:

- Es uno de los métodos más utilizados y cuenta con una amplia información bibliográfica que permite establecer correlaciones fiables que ligan las características de un determinado terreno en función de su tipo de suelo, cubierta vegetal, uso al que se destina, condiciones hidrológicas y condiciones antecedentes de humedad, con el valor del número de curva del S.C.S. que le corresponde.
- Parte de suponer un comportamiento hidrológico del complejo suelo-vegetación variable a lo largo de la tormenta, de manera que el coeficiente de escorrentía vaya aumentando en paralelo con el grado de saturación del terreno. Evidentemente, este planteamiento está más cerca de la realidad que el de otros métodos en que este coeficiente es constante.

Los elementos esenciales del método del número de curva del S.C.S., que permite cuantificar la intercepción, la retención, la infiltración y, finalmente, la escorrentía, son la permeabilidad del suelo -dependiente sobre todo de sus características litológicas y edafológicas- y las características de la cubierta vegetal, esencialmente la vegetación y uso al que se destina el terreno. En los apartados que siguen se tratan sucesivamente estos aspectos.

Por otra parte, resulta también esencial, para la aplicación del método en una tormenta dada, el conocimiento del estado de la saturación del suelo al inicio de dicha tormenta, a cuyos efectos se consideran tres condiciones características, denominadas respectivamente tipo I, II y III. De ellas, la condición I, equivalente a un suelo muy seco, no es en absoluto habitual en estudios de avenidas, ya que reduce extraordinariamente el coeficiente de escorrentía, situando los coeficientes del lado de la inseguridad. Por ello, el análisis se ha centrado en las condiciones II y III, medio y húmedo respectivamente como se puede ver en la siguiente tabla.

Condiciones antecedentes de humedad del S.C.S.

Condición	Precipitación total (mm) en los cinco días anteriores	
	Estación de latencia	Estación de crecimiento
I seco	PT ≤ 13	PT ≤ 36
II medio	13 ≤ PT ≤ 28	36 ≤ PT ≤ 53
III húmedo	PT ≥ 28	PT ≥ 53

Características de los suelos

Desde el punto de vista de su comportamiento hidrológico, el método del número de curva del S.C.S. considera cuatro tipos de sustrato distintos, según su grado de permeabilidad:

- Suelos Tipo A: Agrupa los sustratos permeables, es decir con un potencial de escorrentía mínimo.
- Suelos Tipo B: Sustratos algo menos permeables que los del tipo anterior y, por lo tanto, con un mayor potencial de escorrentía.
- Suelos Tipo C: Sustratos que varían entre límites menos permeables a algo impermeables, con un potencial de escorrentía entre valores medio y alto.
- Suelos Tipo D: Agrupa los sustratos con mayor impermeabilidad y, por tanto, mayor potencial de escorrentía.

La delimitación de los distintos tipos de suelo se cataloga mediante los tipos de enumerados anteriormente.

Cubierta vegetal y usos del suelo

Otro aspecto a tener en cuenta, a la hora de obtener el número de curva del S.C.S., es el tipo de cubierta del suelo y el uso al que se destina, habiéndose partido, en relación con estas cuestiones, de la información contenida en el Mapa de Clasificación de usos del suelo.

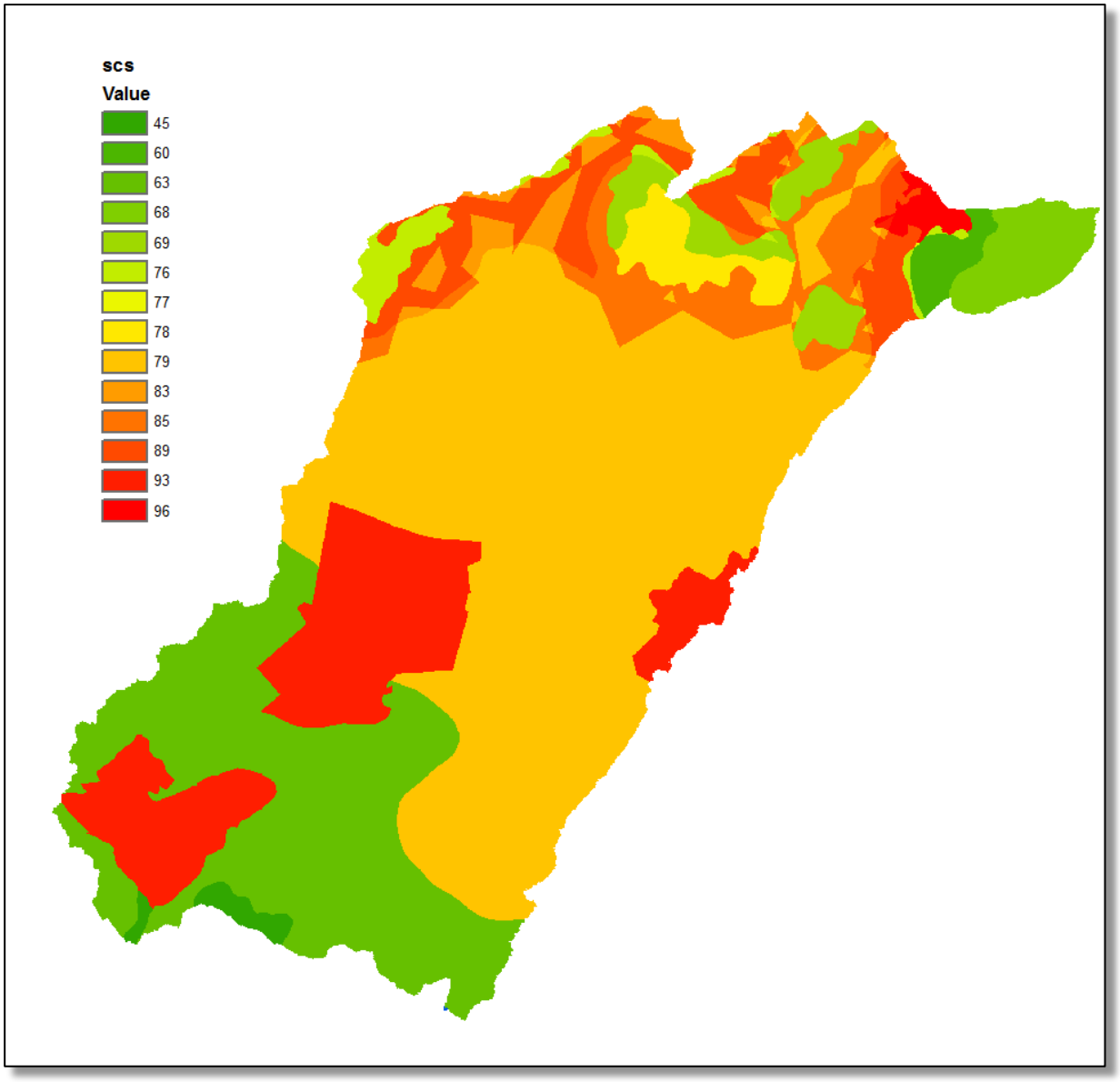


Figura 11 Valores de las curvas SCS en función de usos del suelo

De acuerdo con la metodología propuesta por el S.C.S. a la hora de determinar el número de curva de un determinado terreno, se deben tener en cuenta los siguientes usos del suelo:

Cálculo del Número de Curva

La obtención del mapa de evolución del número de curva del S.C.S. en la zona de estudio se obtiene, a partir de los mapas de suelo, usos del suelo y de pendientes anteriormente descritos. Se han obtenido los datos de archivos raster proporcionados por la Dirección General de Recursos Hídricos
http://www.caib.es/govern/organigrama/area.do?coduo=209&lang=es

Name	AREA m2	SCS
W80	9133600	78,44
W90	7272500	80,86
W100	4928725	80,17
W110	139250	79,00
W120	3416800	78,14
W130	4311700	81,89
W140	9127825	70,90

Tabla 3 Valores de área y de las curvas SCS

6.5 ESTUDIO DE PRECIPITACIONES

Para la obtención del hietograma se ha utilizado el mapa de precipitaciones de Baleares obteniendo la máxima precipitación diaria para los períodos de retorno de 2.33, 100 y 500 años.

Las características pluviométricas, hietograma de diseño se ha utilizado el modelo de bloques alternos como se verá más adelante para una duración de 12h.

En este caso, según la normativa, se puede realizar la reducción de la precipitación diaria utilizando un coeficientes K_A que se describen en la siguiente expresión

$$K_A = 1 \quad si \quad S \leq 1Km^2$$

$$K_A = 1 - \frac{\log S}{15} \quad si \quad S > 1Km^2$$

Donde

K_A coeficiente adimensional minorador de P_d

S superficie de la cuenca Km^2

En este caso $K_A = 1 - \frac{\log 38{,}33}{15} = 0{,}8944$

Los valores ponderados son los siguientes:

	Periodo de retorno años
	500
Pd	183,34
P'd ponderado	163,98

Tabla 4 Intensidad lluvia ponderada

Se ha considera que la duración de la lluvia para la realización de los bloques alternos es de 24 h.

Tiempo horas	Periodo de retorno años	
	500	
	183,34	Pd mm
	163,98	
1	1,29	mm
2	1,47	mm
3	1,68	mm
4	1,95	mm
5	2,28	mm
6	2,73	mm
7	3,35	mm
8	4,23	mm
9	5,64	mm
10	8,17	mm
11	14,18	mm
12	78,58	mm
13	22,30	mm
14	10,40	mm
15	6,69	mm
16	4,85	mm
17	3,75	mm
18	3,01	mm
19	2,49	mm
20	2,10	mm
21	1,80	mm
22	1,57	mm
23	1,37	mm
24	1,22	mm

Tabla 5 Hietograma bloques alternos

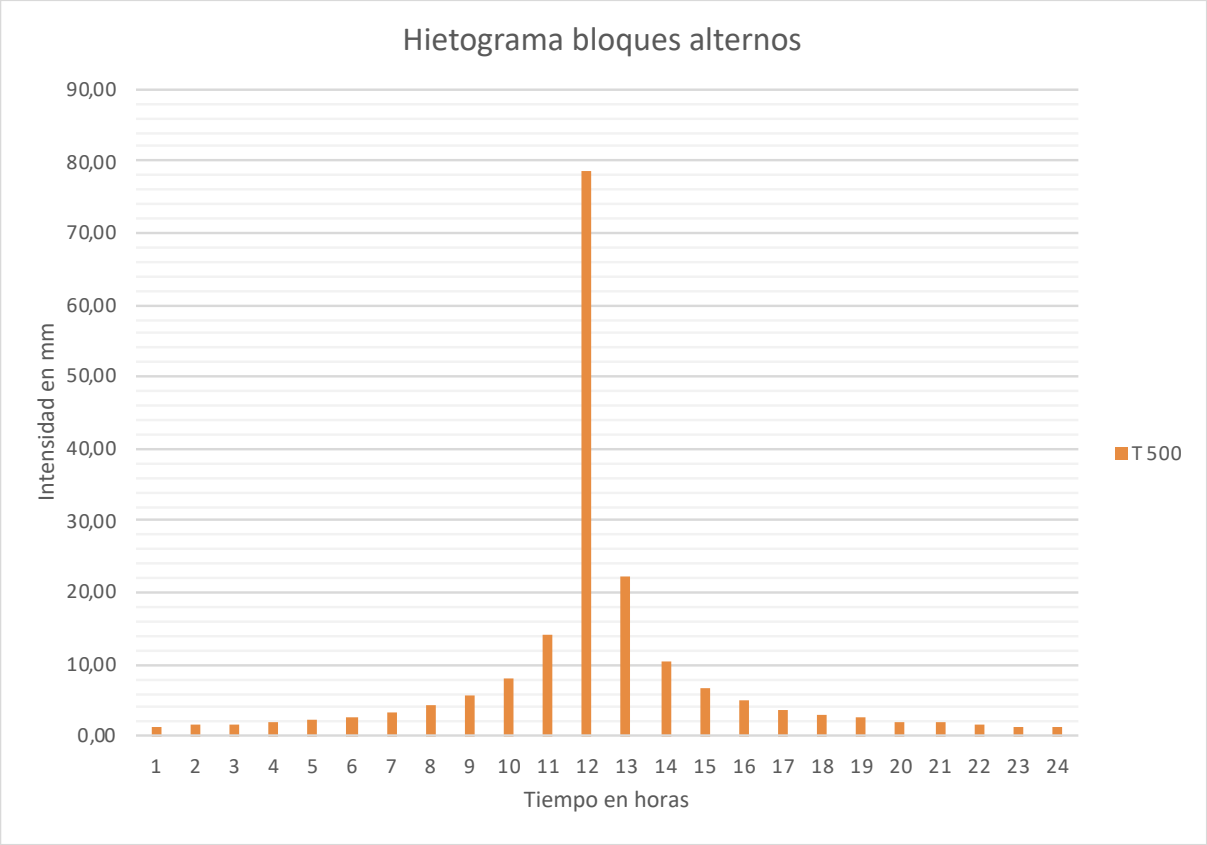


Figura 12 Hietograma bloques alternos

6.6 CURVAS IDF

Las curvas IDF se han obtenido utilizado la formulación propuesta por la instrucción de Instrucción Drenaje Superficial 5.2 IC

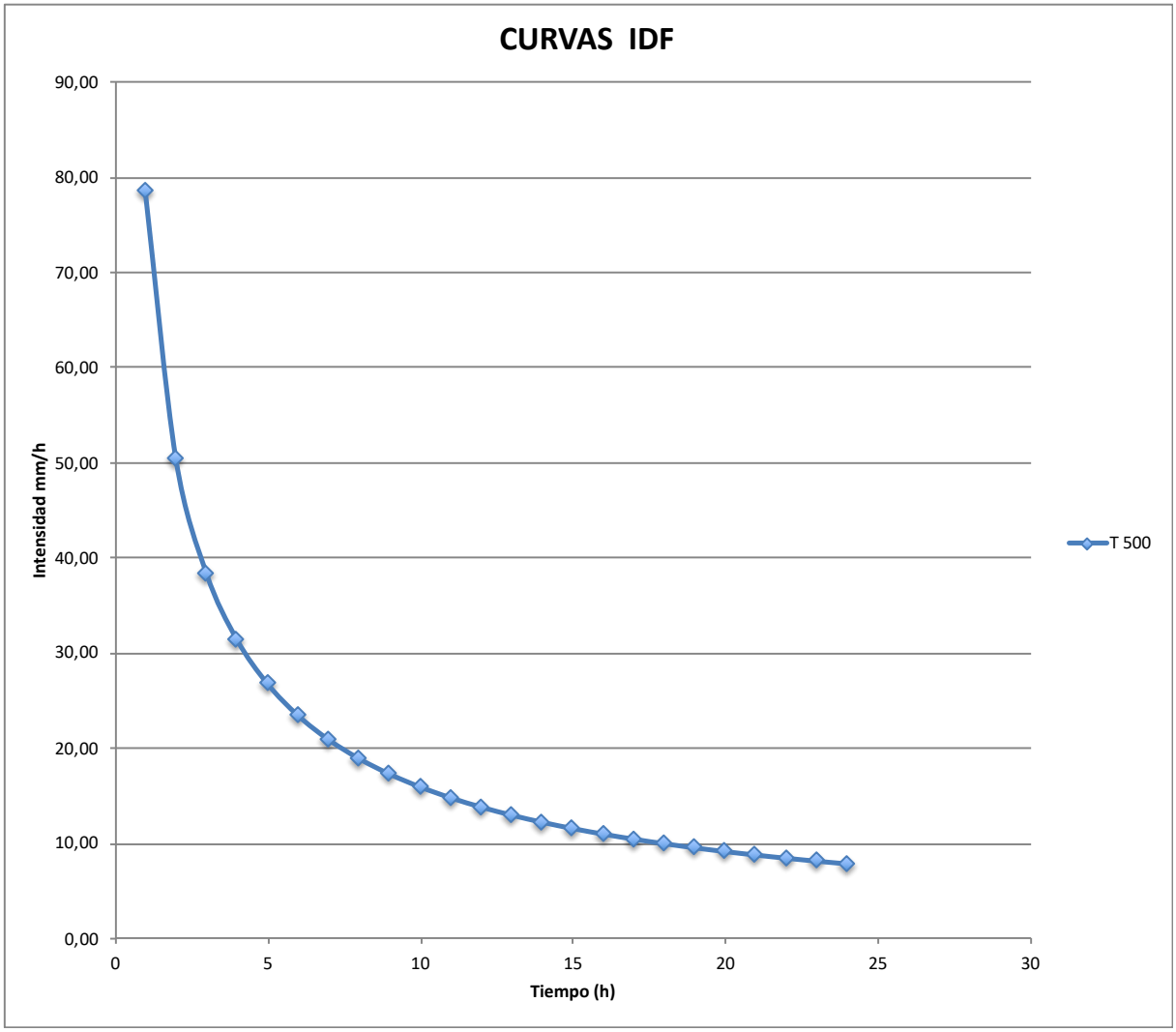


Figura 13 Curvas intensidad duración frecuencia

Se ha considera que la duración de la lluvia para la realización de los bloques alternos es de 24 h.

6.7 HIDROGRAMA

Los resultados obtenidos para el punto de evacuación de nuestra cuenca de estudio se resumen a continuación. Para el período de retorno de 500 años tendremos los siguientes valores:

Período retorno años	Q pico m3/s	hora	Volumen 1000 m3
500	93,7	15:15	1926,0

Tabla 6 Caudal punta para el periodo de retorno de 500 años

Gráfico de hidrograma ajustado a los valores obtenidos para el periodo de 500 años

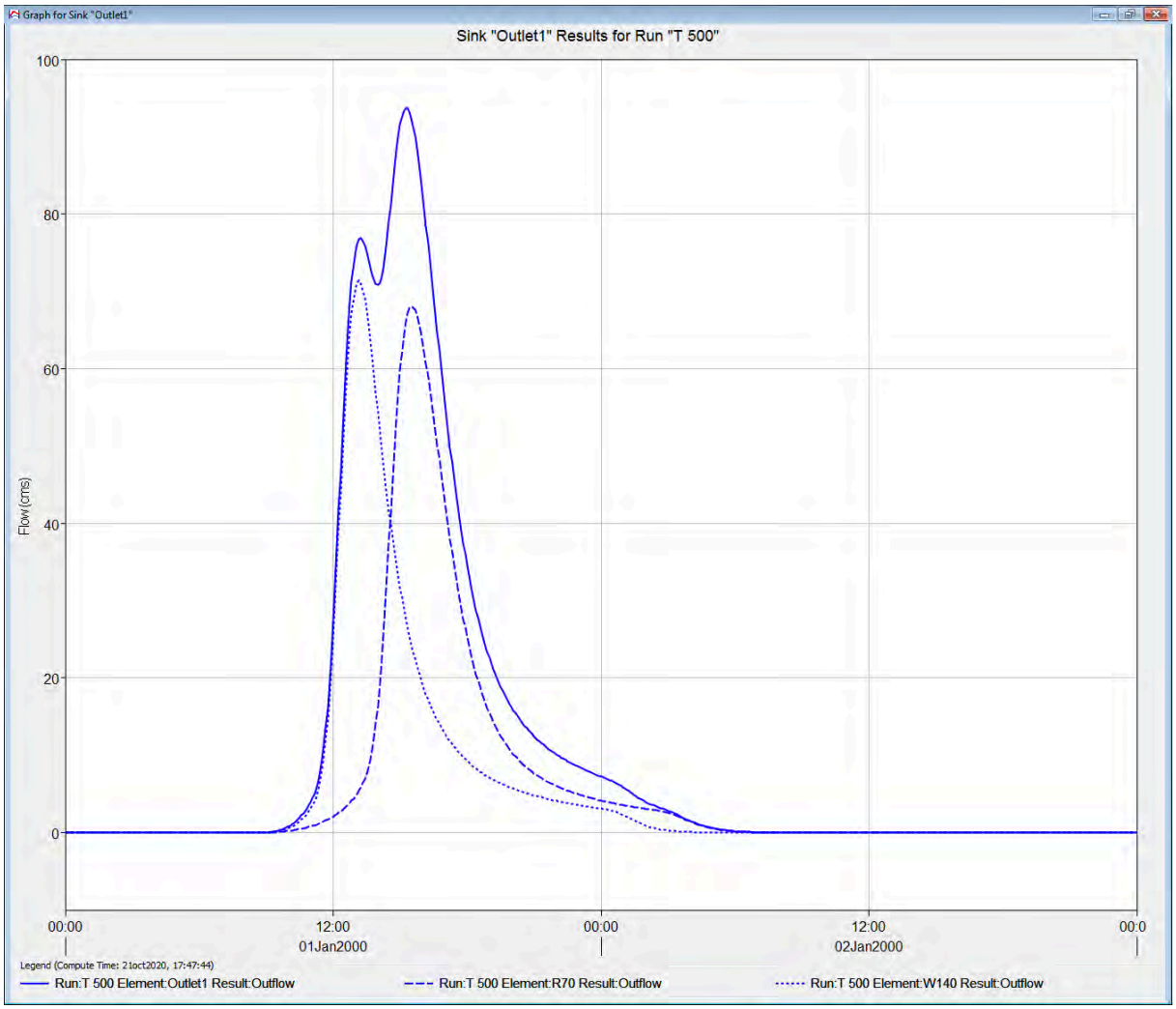


Figura 14 Hidrograma para T 500

7 ESTUDIO HIDRÁULICO IBER

Para el estudio hidráulico que ha utilizado el modelo de IBER que resuelve las ecuaciones bidimensionales para la obtención de los calados y las velocidades. Para la entrada de la lluvia se ha utilizado un modulo del propio programa que está diseñado específicamente para ese efecto teniendo en cuenta la infiltración en el propio terreno.

7.1 MODELO CON IBER

7.1.1 Introducción

El estudio hidráulico ha posibilitado el cálculo de los niveles y velocidades alcanzables por las avenidas correspondientes a los caudales e hidrogramas obtenidos a partir del estudio hidrológico.
Se ha usado como base cartográfica un Modelo Digital de Terreno (DTM) reforzado con cartografía y Ortofotos digitales en todo el tramo de estudio además de un levantamiento topográfico hecho para la ocasión.
En cuanto a la simulación hidráulica se ha distinguido el modelo de trabajo bidimensional en régimen variable con el software IBER
A continuación, se describe la metodología utilizada, detallando las condiciones de contorno y las rugosidades utilizadas en las distintas simulaciones.

7.1.2 Funcionamiento del software IBER

Iber es un modelo numérico de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen no-permanente, y de procesos medioambientales en hidráulica fluvial. El rango de aplicación de Iber abarca la hidrodinámica fluvial, la simulación de rotura de presas, la evaluación de zonas inundables, el cálculo de transporte de sedimentos y el flujo de marea en estuarios. El modelo Iber consta actualmente de 3 módulos de cálculo principales: un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos. Todos los módulos trabajan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares o cuadriláteros. En el módulo hidrodinámico, que constituye la base de Iber, se resuelven las ecuaciones de aguas someras bidimensionales promediadas en profundidad (ecuaciones de St. Venant 2D). El módulo de turbulencia permite incluir las tensiones turbulentas en el cálculo hidrodinámico, pudiéndose utilizar para ello diferentes modelos de turbulencia para aguas someras con diferente grado de complejidad. En la versión actual se incluyen un modelo parabólico, un modelo de longitud de mezcla y un modelo k-ε. El módulo de transporte de sedimentos resuelve las ecuaciones de transporte de fondo y transporte turbulento en suspensión, calculando a partir del balance de masa de sedimento la evolución de la cota de fondo.

Ecuaciones hidrodinámicas

En el módulo hidrodinámico se resuelven las ecuaciones de conservación de la masa y de momento en las dos direcciones horizontales:

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial hU_x}{\partial x}+\frac{\partial hU_y}{\partial y}=M_s$$

$$\frac{\partial hU_x}{\partial t}+\frac{\partial hU_x^2}{\partial x}+\frac{\partial hU_xU_y}{\partial y}=-gh\frac{\partial Z_s}{\partial x}+\frac{\tau_{s,x}}{\rho}-\frac{\tau_{b,x}}{\rho}-\frac{g}{\rho}\frac{h^2}{2}\frac{\partial \rho}{\partial x}+2\,\Omega\,\sin\lambda\,U_y+\frac{\partial h\tau^e_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial h\tau^e_{xy}}{\partial y}+M_x$$

$$\frac{\partial hU_y}{\partial t}+\frac{\partial hU_xU_y}{\partial x}+\frac{\partial hU_y^2}{\partial y}=-gh\frac{\partial Z_s}{\partial y}+\frac{\tau_{s,y}}{\rho}-\frac{\tau_{b,y}}{\rho}-\frac{g}{\rho}\frac{h^2}{2}\frac{\partial \rho}{\partial y}-2\,\Omega\,\sin\lambda\,U_x+\frac{\partial h\tau^e_{xy}}{\partial x}+\frac{\partial h\tau^e_{yy}}{\partial y}+M_Y$$

en donde h es el calado, Ux, Uy son las velocidades horizontales promediadas en profundidad , g es la aceleración de la gravedad, Zs es la elevación de la lámina libre, τs es la fricción en la superficie libre debida al rozamiento producido por el viento, τb es la fricción debido al roza miento del fondo, ρ es la densidad del agua, Ω es la velocidad angular de rotación de la tierra, λ es la latitud del punto considerado, τexx, τexy, τeyy son las tensiones tangenciales efectivas horizontales, y Ms, Mx, My son respectivamente los términos fuente/sumidero de masa y de momento, mediante los cuales se realiza la modelización de precipitación, infiltración y sumid eros.
Se incluyen los siguientes términos fuente en las ecuaciones hidrodinámicas: □

- Presión hidrostática
- Pendiente del fondo
- Tensiones tangenciales viscosas y turbulentas
- Rozamiento del fondo
- Rozamiento superficial por viento
- Precipitación
- Infiltración

Se modelan asimismo los frentes seco mojado, tanto estacionarios como no estacionarios, que puedan aparecer en el dominio. Dichos frentes son fundamentales en la modelización de z onas inundables en ríos, así como en estuarios. De esta forma se introduce la posibilidad de ev aluar la extensión de zonas inundables en ríos, así como el movimiento del frente de marea en estuarios y zonas costeras.

7.2 MODELIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

7.2.1 Modelo digital del terreno

Como se ha comentado se ha utilizado un modelo digital del terreno compuesto por la cartografía de la zona el modelo LIDAR del Instituto Geográfico Nacional, con una densidad de puntos de 0,5 puntos/m2 en la primear cobertura y de 1 punto /m2 en segunda cobertura, la cartografía de SITIBSA MTB 5000 y una topografía hecha especialmente para este trabajo que ha servido para la comprobación de puntos de la misma.

El resultado en el modelo hidráulico IBER es el que se puede ver en la imagen

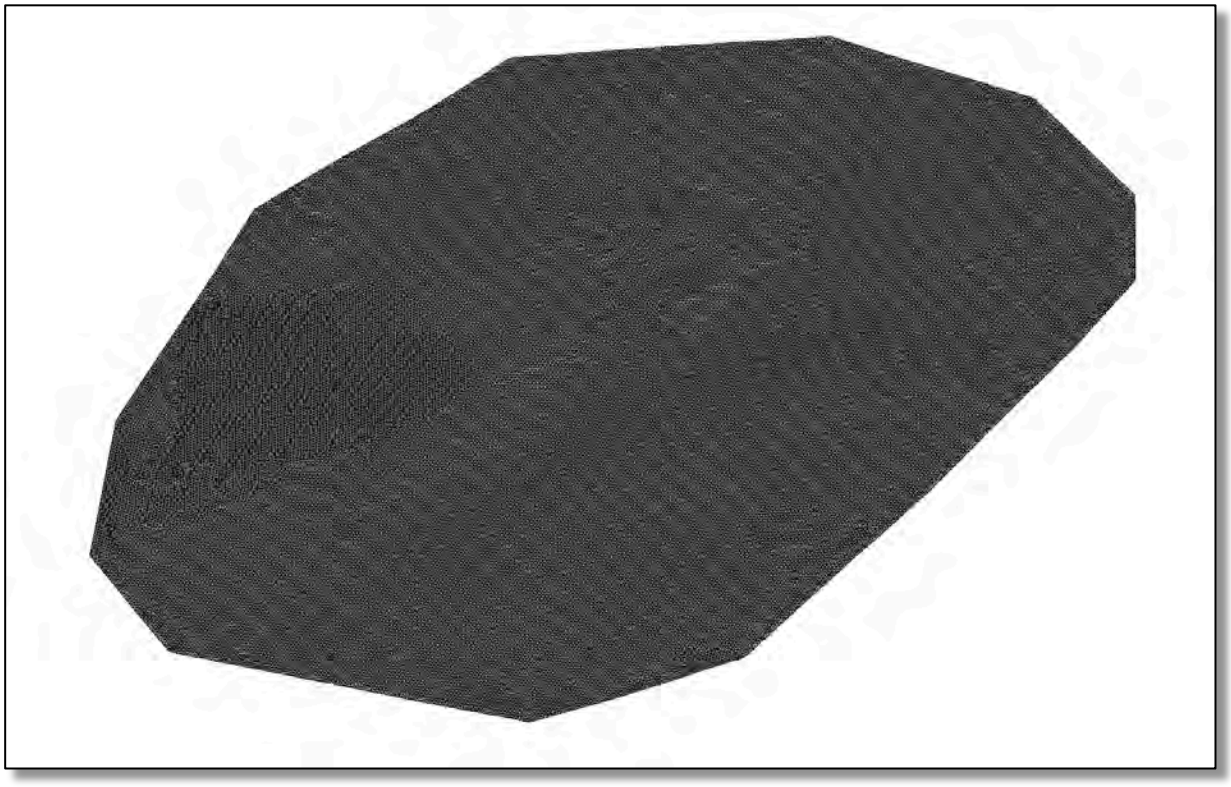


Figura 15 Malla utilizada con el software IBER

7.2.2 Condiciones hidrodinámicas

Parámetros utilizados en la modelización

Condiciones iniciales

Se deben asignar a todo el dominio. Se puede escoger entre asignar un calado, o una cota de agua. En este caso se asignará el calado 0 ya que pariremos un suelo sobre le que todavía no hay escorrentía superficial.

Condiciones de contorno de entrada

Existe la posibilidad de asignar un caudal total, un caudal específico (caudal por unidad de ancho), o una cota de agua. En cada caso se exigirán los parámetros necesarios en función de si el régimen es subcrítico, crítico, o supercrítico. En este caso se introducirá el caudal punta durante el tiempo de modelización.

Condiciones de contorno de salida

En este caso sólo se deben especificar parámetros adicionales si el régimen es subcrítico, en cuyo caso es posible utilizar una condición tipo vertedero, una condición de nivel dado (cota o calado) o una curva de gasto. En este caso no es necesario asignar parámetros adicionales.

Condiciones internas

Se pueden asignar distintos tipos de condiciones internas en los lados de los elementos. Los tipos de condiciones internas consideradas son: vertedero, compuerta, combinación de vertedero y compuerta, o un coeficiente de pérdidas localizadas. En los primeros tres casos, la longitud del vertedero y el ancho de la compuerta se piden como un porcentaje de longitud del lado, no como longitud absoluta.

Rugosidad

En Iber la rugosidad se asigna a través de un coeficiente de rugosidad de Manning. Es este caso utilizaremos 0,05 como pradera.

Tiempo modelizado

El tiempo modelizado ha sido considerado el suficiente para que se desarrolle la onda de avenida para un caudal pico estimado y que realice le recorrido de todo el tramo de torrente. En este caso se ha modelizado para un tiempo de 7200 s que son unos 120 min que es suficiente para que se desarrolle el hidrograma completo

8 RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la modelización hidráulica para T 500 que pueden ver más detallados en los planos. De forma resumida se pude concretar en que la avenida extrema pasa por la zona no arbolada de las mismas con unos calados que superan ligeramente el 1m en algunos puntos.

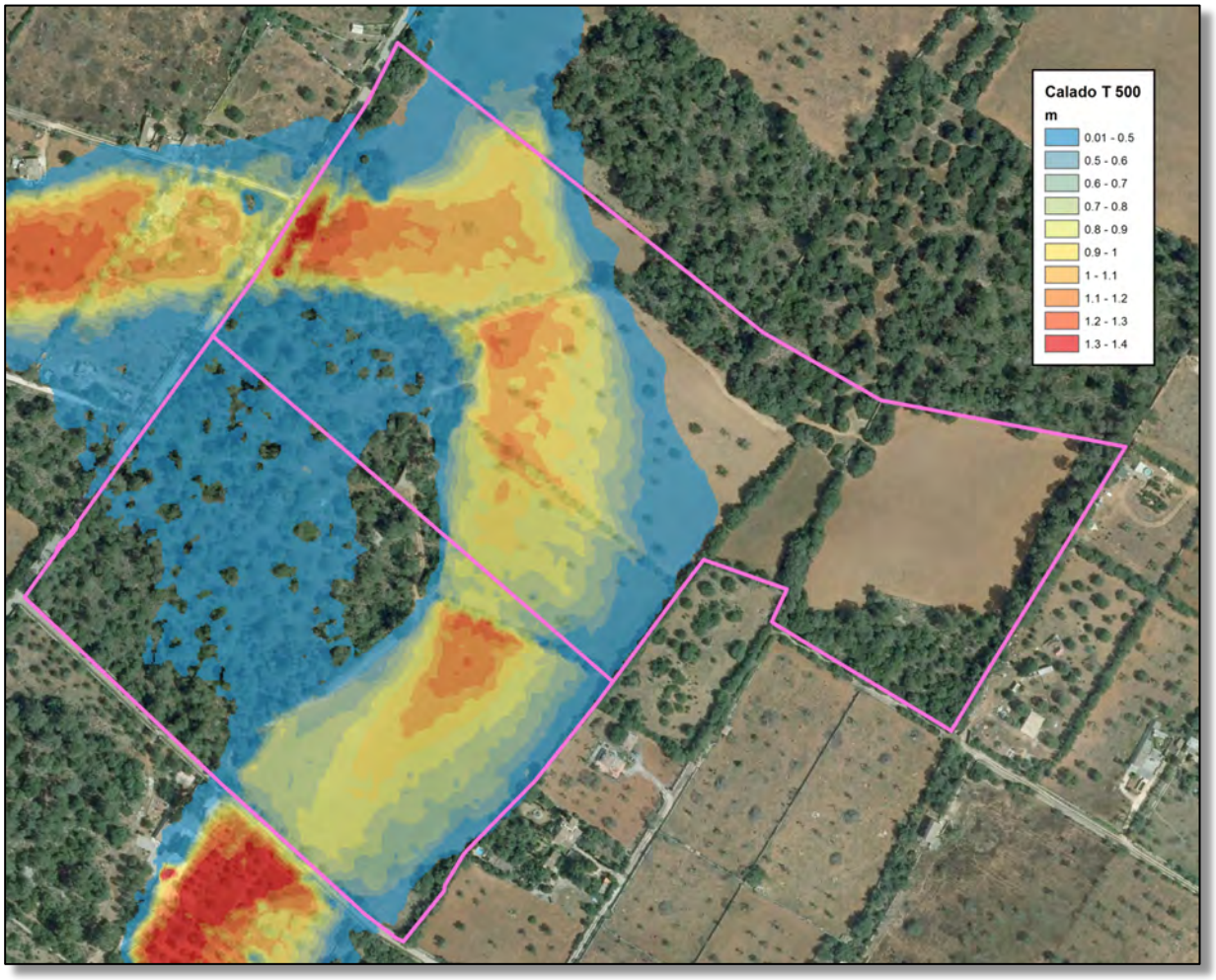


Figura 16 Llanura inundación T 500

Las velocidades para la avenida extrema tiene valores, en la zona central, entre 1 y 1.5 m/s que no son excesivamente elevadas como puede verse en la imagen siguiente:

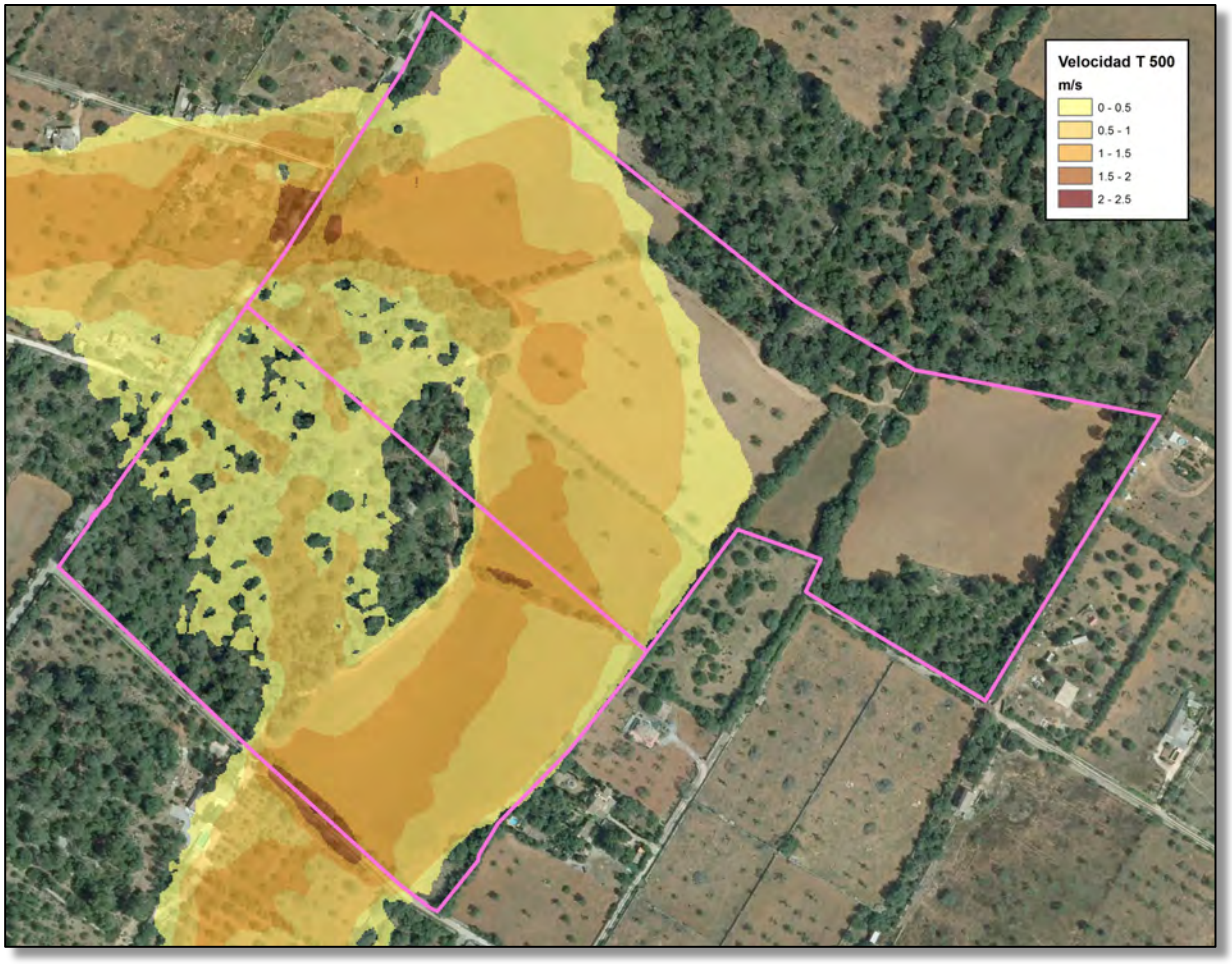


Figura 17 Velocidades para T 500

9 CONCLUSIONES

Después de la realización del estudio de inundabilidad y del análisis de los resultados se deducen las siguientes conclusiones:

Las parcelas de estudio se ven afectadas por la avenida de 500 como se puede ver en los planos.

Los valores de calados sólo se superan en 1 m en pequeñas zonas y no son superiores a 1.3 m.

Para poder hacer compatible la colocación de las placas con la avenida extrema se deberán colocar por encima de la lámina de agua indicada en los planos. También se deberá colocar las casetas y centros de transformación fuera o por encima de la lámina de inundación.

También cabe indicar que el tipo de actividad proyectada no afectará al discurrir de las aguas pluviales ni a las avenidas ya que no se instalarán elementos que modifique la dinámica hidráulica de la finca ni de sus alrededores.

Con ello se considera que la avenida extrema no afectará a los centros de transformación y el agua no llegará a los paneles fotovoltaicos.

Finalmente, hay que tener en cuenta que según el Real Decreto 903/2010 de evaluación y gestión de riesgos de inundación en su artículo 3 se define como zona inundable: ”*Los terrenos que puedan resultar inundados por los niveles* ***teóricos*** *que alcanzarían las aguas en las avenidas cuyo período* ***estadístico*** *de retorno sea de 500 años”*

Palma de Mallorca, octubre 2020

El Promotor

Autor del estudio

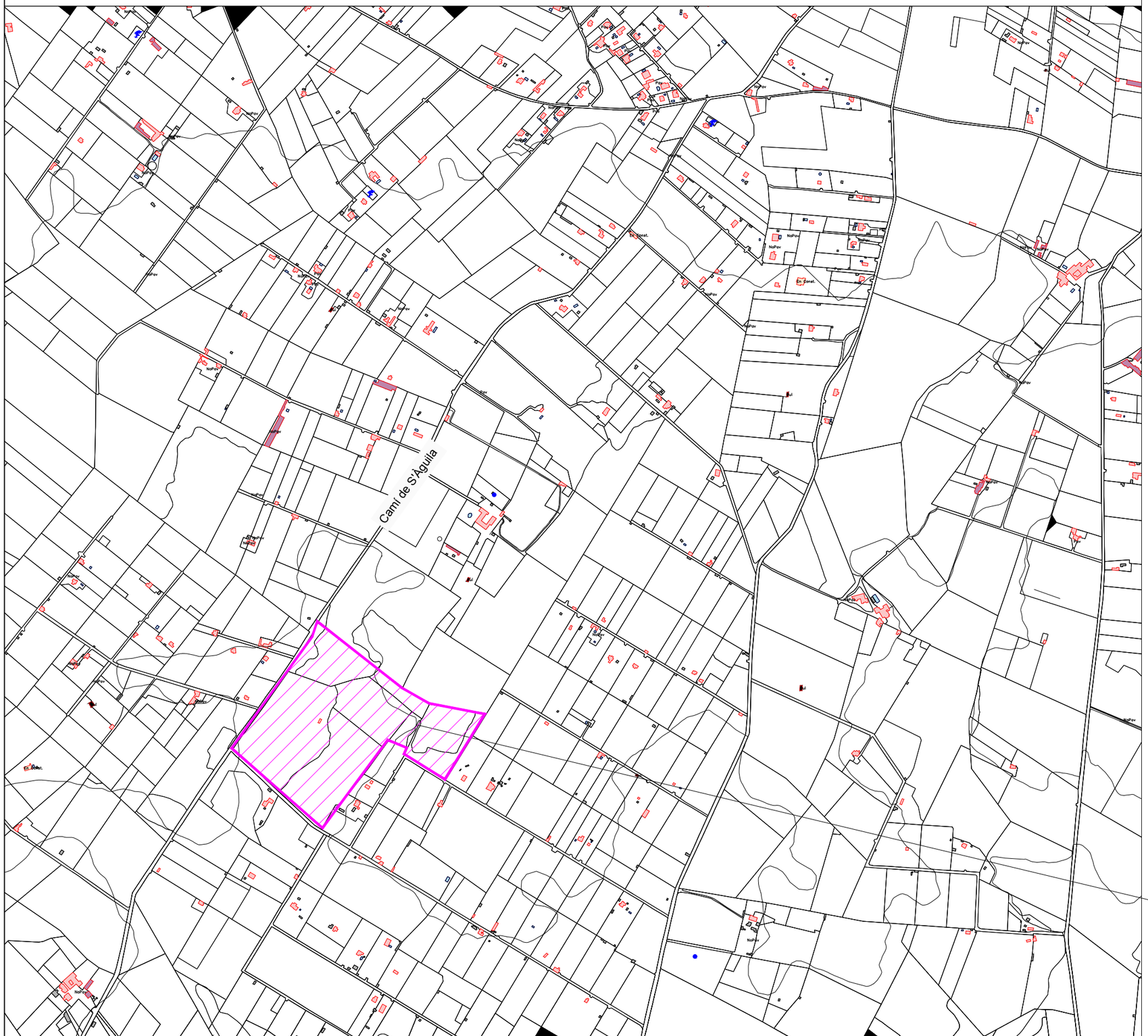
TW SOLAR

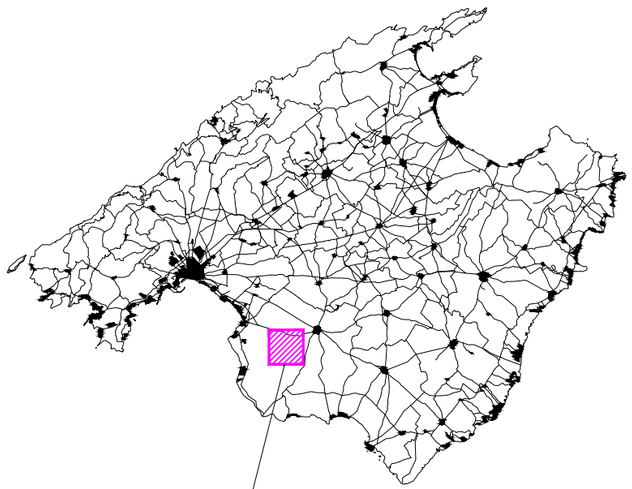
Fdo: Daniel Aguiló Ferretjans
Ing Caminos Canales y Puertos
Col 19.303

PLANOS

LISTADO DE PLANOS

1 Situación y emplazamiento
2.1 Topográfico
2.2 Planta secciones
3.1 Perfil longitudinal
3.2 Secciones
4 Planta calados velocidades T 500





SITUACIÓN

EMPLAZAMIENTO

D.A. INGENIERÍA

TÍTULO DE EXPEDIENTE:

ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DE LAS PARCELAS 281 Y 282 DEL POLÍGONO 44 DE LLUCMAJOR PARA LA INSTALACIÓN DEL PARQUE FOTOVOLTAICO DENOMINADO GORILA

PROMOTOR:

TWSolar

AUTOR DEL PROYECTO:

Daniel Aguiló Ferretjans
Móvil: 687 88 68 13
Email: daagfer@gmail.com
Web: http://danielaguilo.com

ESCALA A3: 1/10.000

FECHA: OCTUBRE 2020

NOMBRE DEL PLANO: SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

PLANO NÚMERO: 01

HOJA:

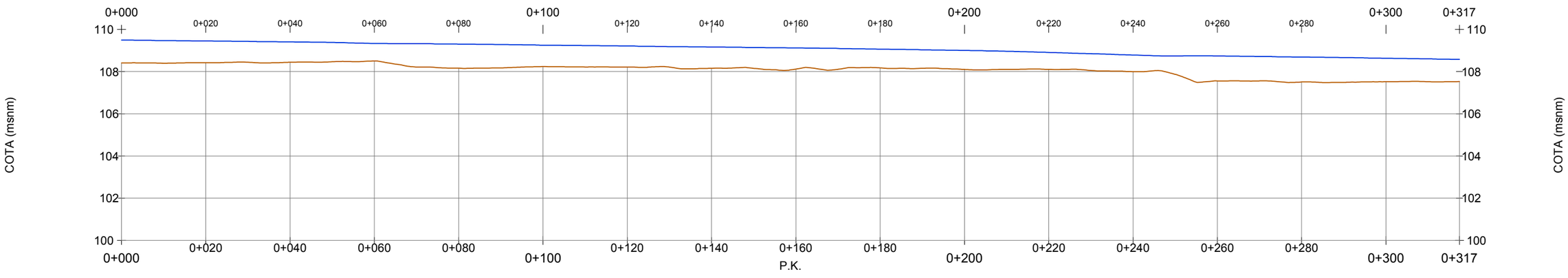
D.A. INGENIERÍA	TÍTULO DE EXPEDIENTE: **ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DE LAS PARCELAS 281 Y 282 DEL POLÍGONO 44 DE LLUCMAJOR PARA LA INSTALACIÓN DEL PARQUE FOTOVOLTAICO DENOMINADO GORILA**	PROMOTOR: TWSolar	AUTOR DEL PROYECTO: Daniel Aguiló Ferretjans Móvil: 687 88 68 13 Email: daagfer@gmail.com Web: http://danielaguilo.com	ESCALA A3: 1/2.000 FECHA: OCTUBRE 2020	NOMBRE DEL PLANO: PLANTA TOPOGRÁFICA	PLANO NÚMERO: 02.01 HOJA: 1 de 1

D.A. INGENIERÍA	TÍTULO DE EXPEDIENTE: **ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DE LAS PARCELAS 281 Y 282 DEL POLÍGONO 44 DE LLUCMAJOR PARA LA INSTALACIÓN DEL PARQUE FOTOVOLTAICO DENOMINADO GORILA**	PROMOTOR: TWSolar	AUTOR DEL PROYECTO: Daniel Aguiló Ferretjans Móvil: 687 88 68 13 Email: daagfer@gmail.com Web: http://danielaguilo.com	ESCALA A3: 1/2.000 FECHA: OCTUBRE 2020	NOMBRE DEL PLANO: SECCIONES	PLANO NÚMERO: 02.02 HOJA: 1 de 1

T 500

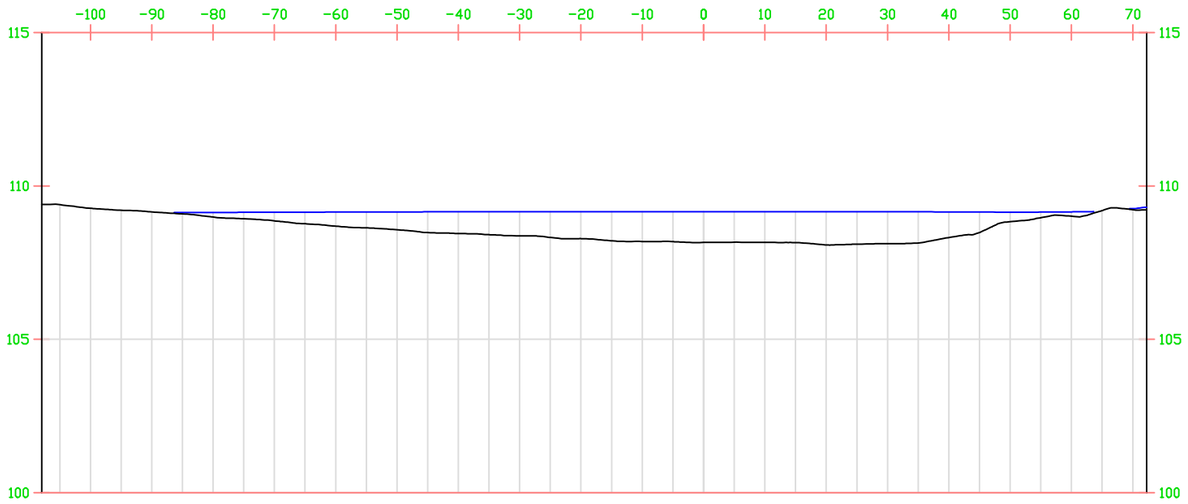
P.K.

Perfil Longitudinal: Alineación_(1)

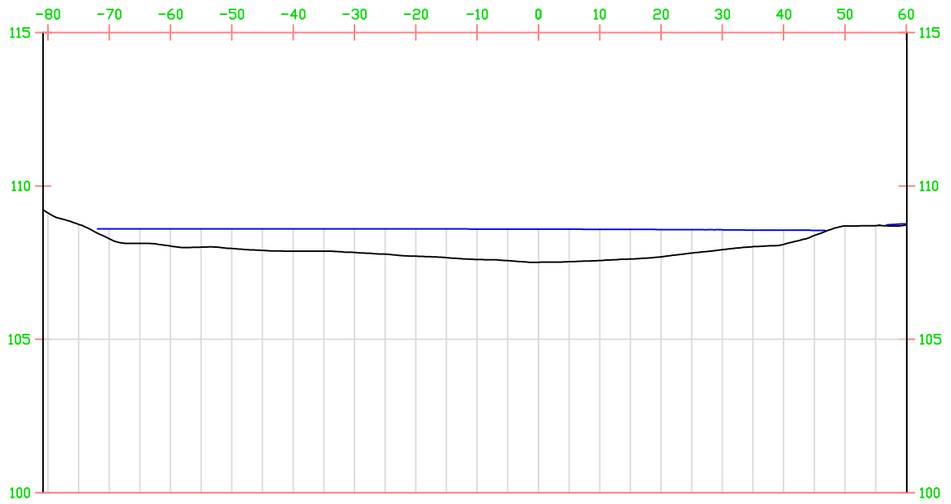


D.A. INGENIERÍA	TÍTULO DE EXPEDIENTE: **ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DE LAS PARCELAS 281 Y 282 DEL POLÍGONO 44 DE LLUCMAJOR PARA LA INSTALACIÓN DEL PARQUE FOTOVOLTAICO DENOMINADO GORILA**	PROMOTOR: TWSolar	AUTOR DEL PROYECTO: Daniel Aguiló Ferretjans Móvil: 687 88 68 13 Email: daagfer@gmail.com Web: http://danielaguilo.com	ESCALA A3: H:1/1.000 V:1/200 FECHA: OCTUBRE 2020	NOMBRE DEL PLANO: PERFIL LONGITUDINAL	PLANO NÚMERO: 03.01 HOJA: 1 de 1

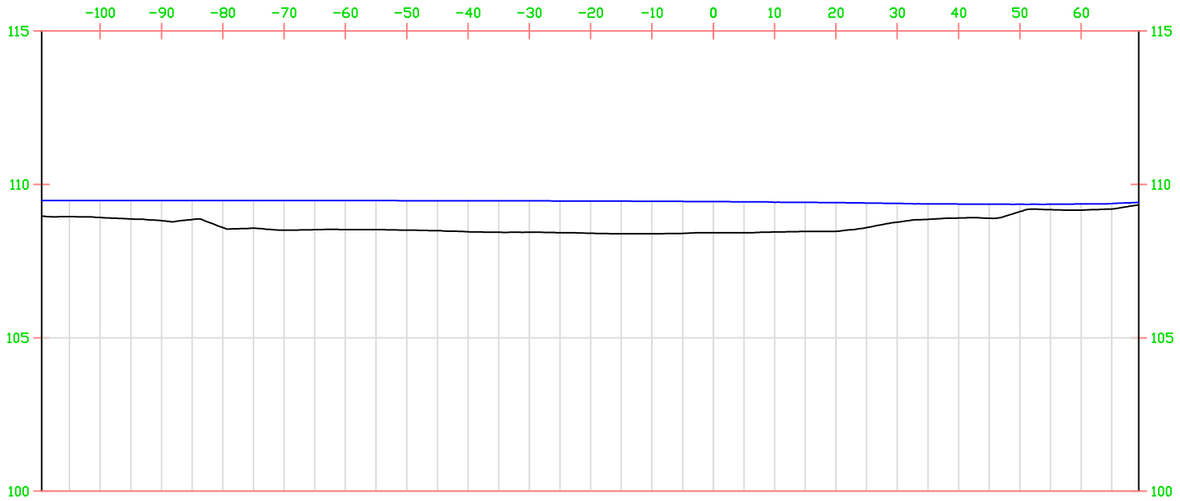
T 500



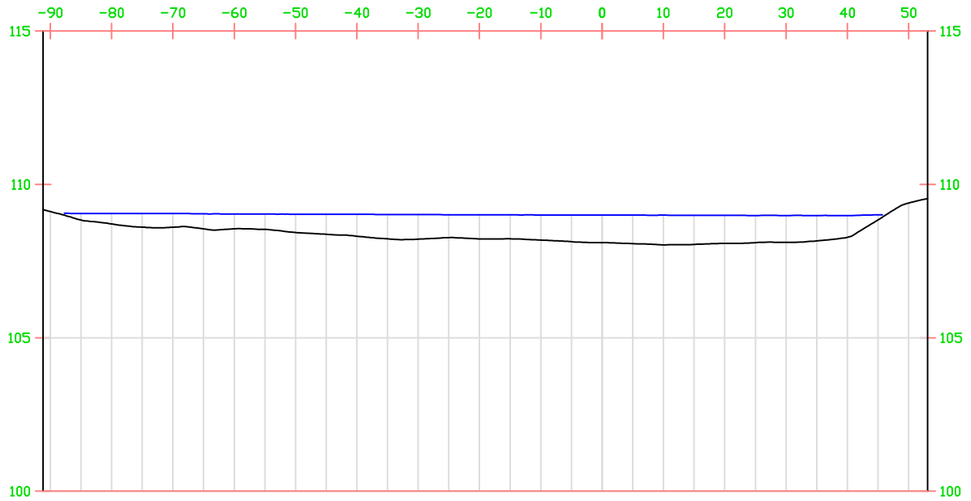
P.K.=0+140



P.K.=0+312,97



P.K.=0+024,37



P.K.=0+200

D.A. INGENIERÍA

TÍTULO DE EXPEDIENTE:
ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DE LAS PARCELAS 281 Y 282 DEL POLÍGONO 44 DE LLUCMAJOR PARA LA INSTALACIÓN DEL PARQUE FOTOVOLTAICO DENOMINADO GORILA

PROMOTOR:
TWSolar

AUTOR DEL PROYECTO:
Daniel Aguiló Ferretjans
Móvil: 687 88 68 13
Email: daagfer@gmail.com
Web: http://danielaguilo.com

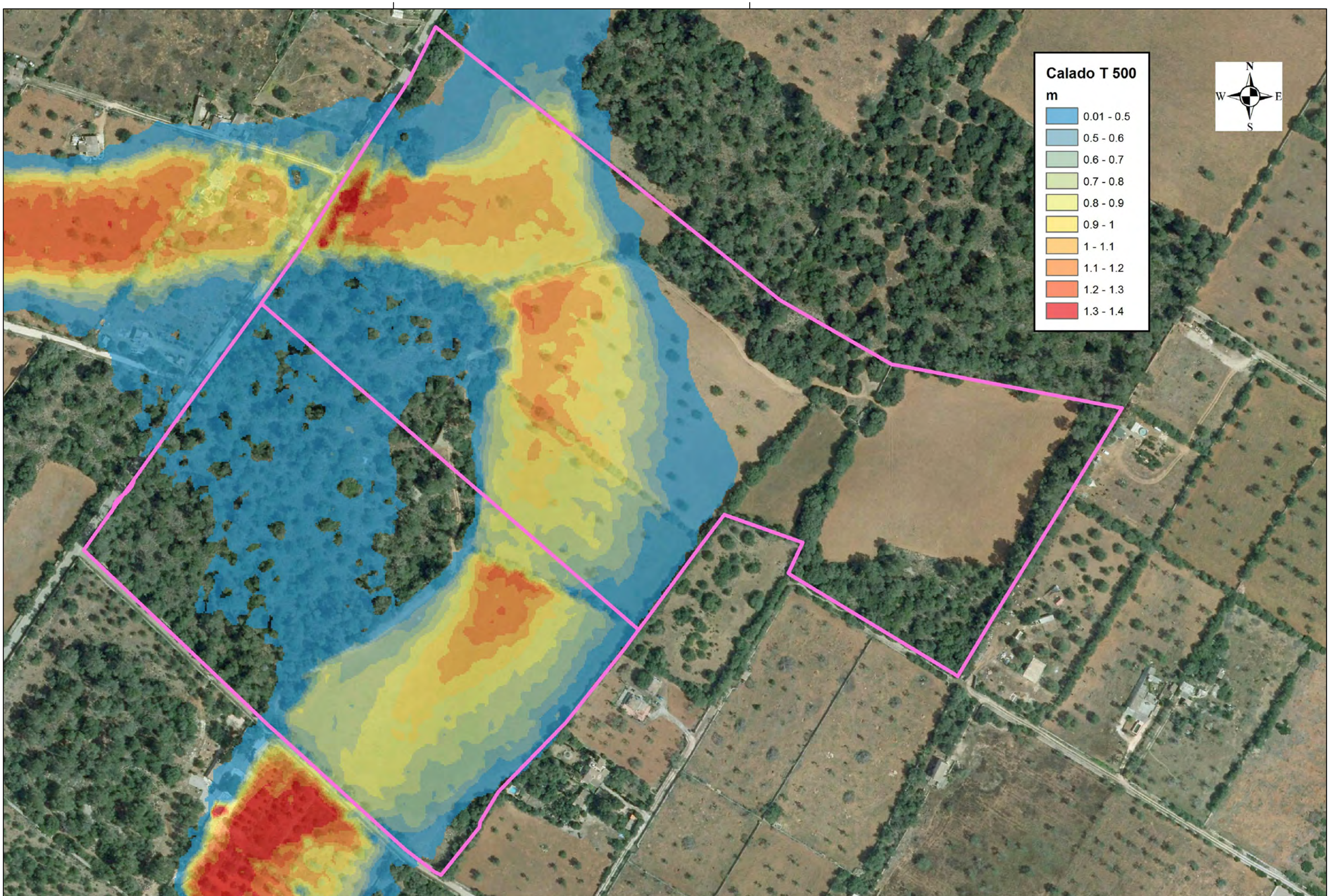
ESCALA A3:
H:1/1.000 V:1/200

FECHA:
OCTUBRE 2020

NOMBRE DEL PLANO:
SECCIONES TRANSVERSALES

PLANO NÚMERO:
03.02

HOJA:
1 de 3



D.A. INGENIERÍA

TÍTULO DE EXPEDIENTE:

ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DE LAS PARCELAS 281 Y 282 DEL POLÍGONO 44 DE LLUCMAJOR PARA LA INSTALACIÓN DEL PARQUE FOTOVOLTAICO DENOMINADO GORILA

PROMOTOR:

TWSolar

AUTOR DEL PROYECTO:

Daniel Aguiló Ferretjans
Móvil: 687 88 68 13
Email: daagfer@gmail.com
Web: http://danielaguilo.com

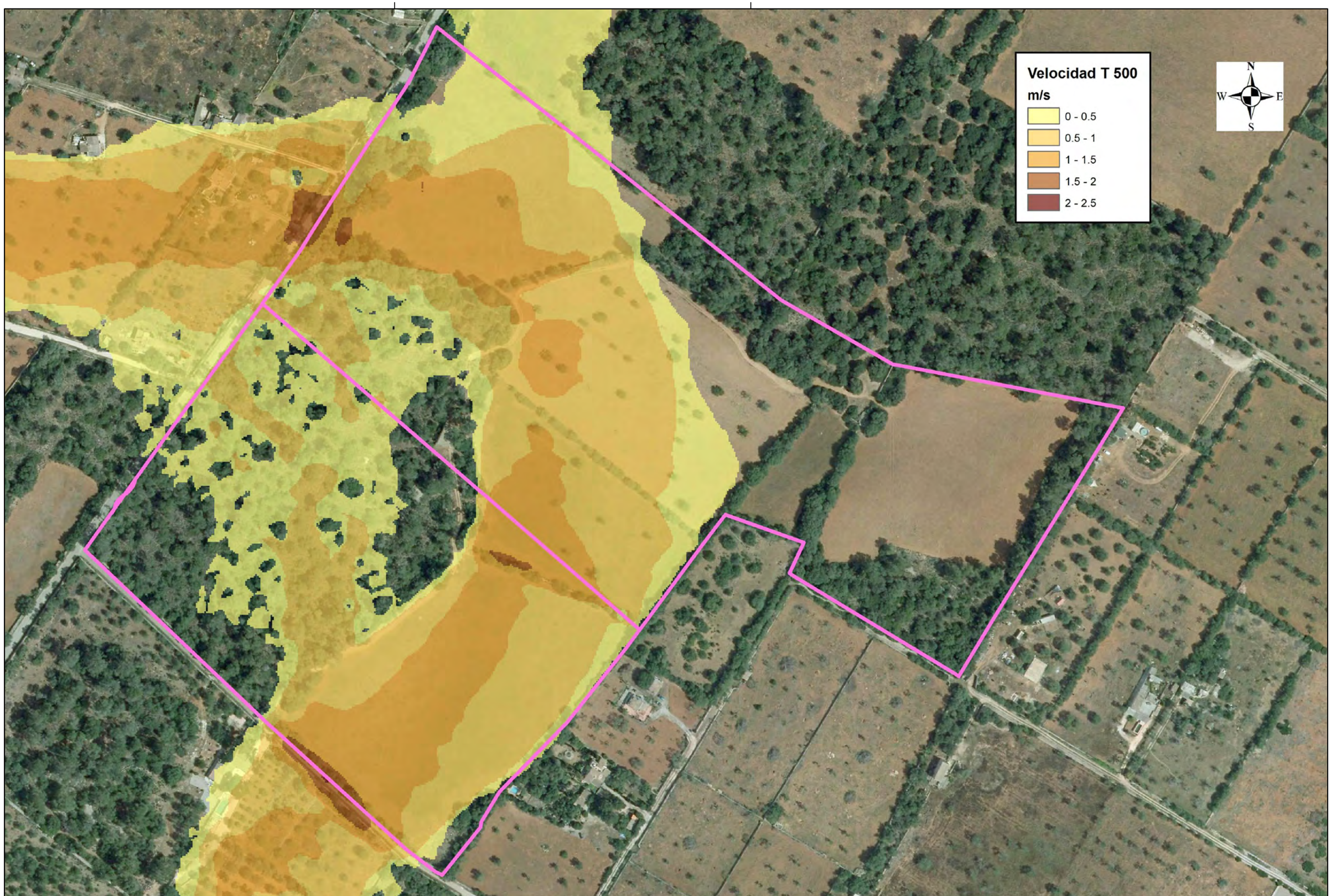
ESCALA A3: 1/2.000

FECHA: OCTUBRE 2020

NOMBRE DEL PLANO: PLANTA INUNDACIÓN T=500 AÑOS CALADOS (m)

PLANO NÚMERO: 05

HOJA: 1 de 3



D.A. INGENIERÍA

TÍTULO DE EXPEDIENTE:

ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DE LAS PARCELAS 281 Y 282 DEL POLÍGONO 44 DE LLUCMAJOR PARA LA INSTALACIÓN DEL PARQUE FOTOVOLTAICO DENOMINADO GORILA

PROMOTOR:

TWSolar

AUTOR DEL PROYECTO:

Daniel Aguiló Ferretjans
Móvil: 687 88 68 13
Email: daagfer@gmail.com
Web: http://danielaguilo.com

ESCALA A3: 1/2.000

FECHA: OCTUBRE 2020

NOMBRE DEL PLANO:

PLANTA INUNDACIÓN T=500 AÑOS
VELOCIDADES (m/s)

PLANO NÚMERO: 05

HOJA: 2 de 3