

# ANEJO 09: ESTUDIO INUNDABILIDAD

## ÍNDICE

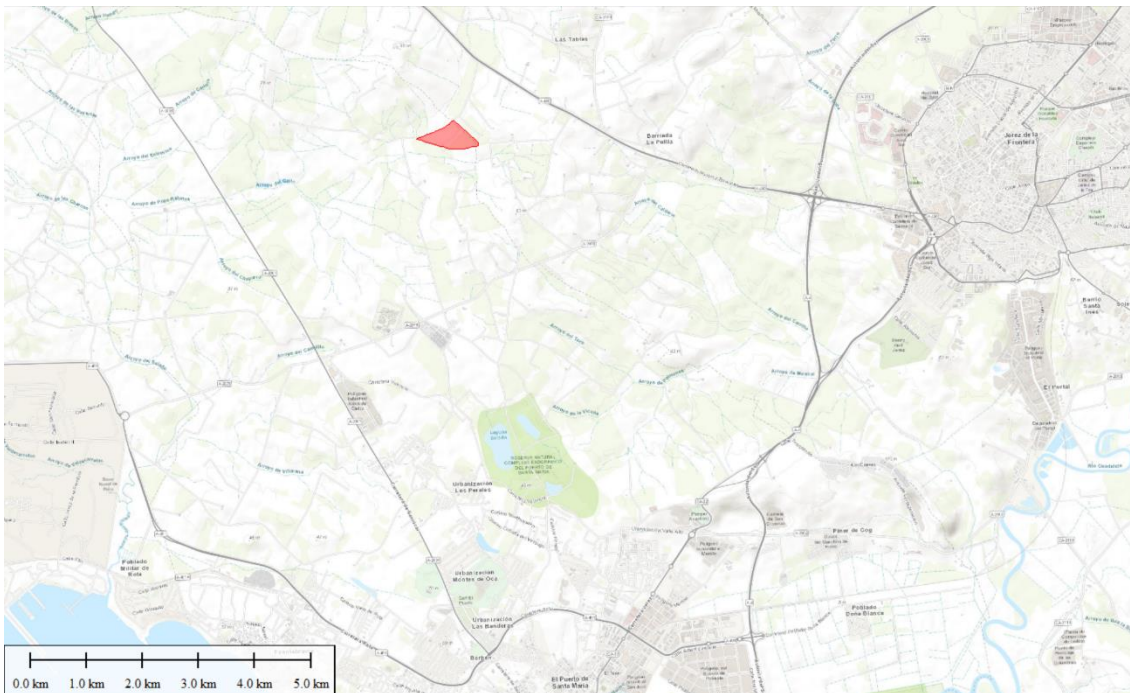
1. INTRODUCCIÓN Y ALCANCE.....	3
2. ANÁLISIS DEL EMPLAZAMIENTO .....	6
2.1 ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO.....	11
3. ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO.....	12
3.1 CONTRASTE DE LAS PRECIPITACIONES OBTENIDAS .....	14
3.2 CURVAS IDF. HIETOGRAMAS DE COMPROBACIÓN.....	16
4. ESTUDIO HIRDROLÓGICO .....	20
4.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS.....	21
4.2 DETERMINACIÓN DE CAUDALES.....	27
5. ESTUDIO HIDRÁULICO.....	30
5.1 RESULTADOS MODELO HIDRÁULICO .....	34
5.2 ANÁLISIS DE FLUJO PREFERENTE.....	40
6. CONTRASTE DE RESULTADOS .....	46
7. CONCLUSIONES.....	48

## 1. INTRODUCCIÓN Y ALCANCE

Debido a que la planta solar fotovoltaica objeto de estudio se encuentra ubicada junto a otra nueva planta solar fotovoltaica, se ha realizado un estudio hidrológico común a las dos plantas solares fotovoltaicas.

El proyecto de construcción de la planta fotovoltaica en el emplazamiento denominado PSFV El Limbo y Vistahermosa en el término municipal de Puerto de Santa María (Cádiz) se encuentra actualmente en fase de ingeniería para su definición.

La planta se ubica a unos 9 km al oeste de Jerez y unos 10 km al norte del Puerto de Santa María.



Ubicación de la PSFV Limbo y Vistahermosa.

Con relación al riesgo hidrológico, el proyecto de estas instalaciones debe tener en cuenta, además de otras cuestiones, dos aspectos principales. El primero de ellos es el riesgo de inundación en relación con los cauces naturales existentes, o la interrelación con

dichos cauces y cumplimiento de la normativa vigente. En este sentido, aun estando fuera de la zona inundable, se debe contar con la autorización expresa para construcción en Zona de Policía y cruces de los cauces u ocupación del Dominio Público Hidráulico (DPH) por parte de la autoridad competente.

El segundo aspecto es el análisis del drenaje de la superficie que ocupará la planta fotovoltaica PSFV El Limbo y Vistahermosa, analizando el riesgo de inundaciones puntuales causada por la precipitación y la topografía, y el planteamiento de actuaciones de mejora y/o resolución de problemas del drenaje natural.

Este estudio se redacta con la finalidad de caracterizar el riesgo de inundación en los terrenos que ocupará la futura planta incluyendo la identificación y definición de posibles cauces. Para esta definición se tiene en cuenta toda la información disponible como son las distintas cartografías oficiales, información GIS del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (en adelante MITECO), información GIS de la Junta de Andalucía y fotografías tanto actuales como históricas.

En el tratamiento de los posibles cauces se tendrá en cuenta aquellos que tengan carácter público y los que pudieran considerarse como privados analizando su integración en la implantación de la planta fotovoltaica PSFV El Limbo y Vistahermosa ya que, esta infraestructura para la que no se prevén movimientos significativos de tierras que modifiquen la configuración del terreno, es permeable permitiendo el proceso de escorrentía superficial en las mismas condiciones que se realiza en la actualidad, evitando disponer elementos incompatibles con la inundación en los puntos bajos y proponiendo los elementos necesarios para garantizar el correcto funcionamiento.

Uno de los aspectos que se precisa estudiar es la caracterización del régimen de lluvias de los emplazamientos y evaluar el riesgo frente a inundaciones debidas a fenómenos de elevadas precipitaciones, facilitando de esta manera la definición bien de elementos de protección, bien de las medidas a adoptar necesarias para su prevención durante la construcción y explotación de las plantas.

El alcance de los trabajos necesarios deberá considerar lo recogido en la normativa vigente (principalmente el Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 abril y revisiones posteriores) y la práctica habitual establecida para este tipo de tramitaciones por parte la autoridad competente en esta materia.

El objeto del presente informe será, por tanto, dar respuesta a las cuestiones planteadas según el siguiente alcance:

- Caracterización de la cuenca.
- Obtención de precipitaciones de cálculo.
- Determinación de caudales e hidrogramas de diseño o comprobación.
- Simulación hidráulica.
- Análisis de resultados. Conclusiones y Recomendaciones.

Se analizarán con detalle los períodos de retorno de 10 años asociado a la delimitación del DPH, y 100 y 500 años para caracterizar el riesgo de inundación en el emplazamiento. El análisis de la posible necesidad de infraestructura de drenaje considera un período de retorno de 50 años.

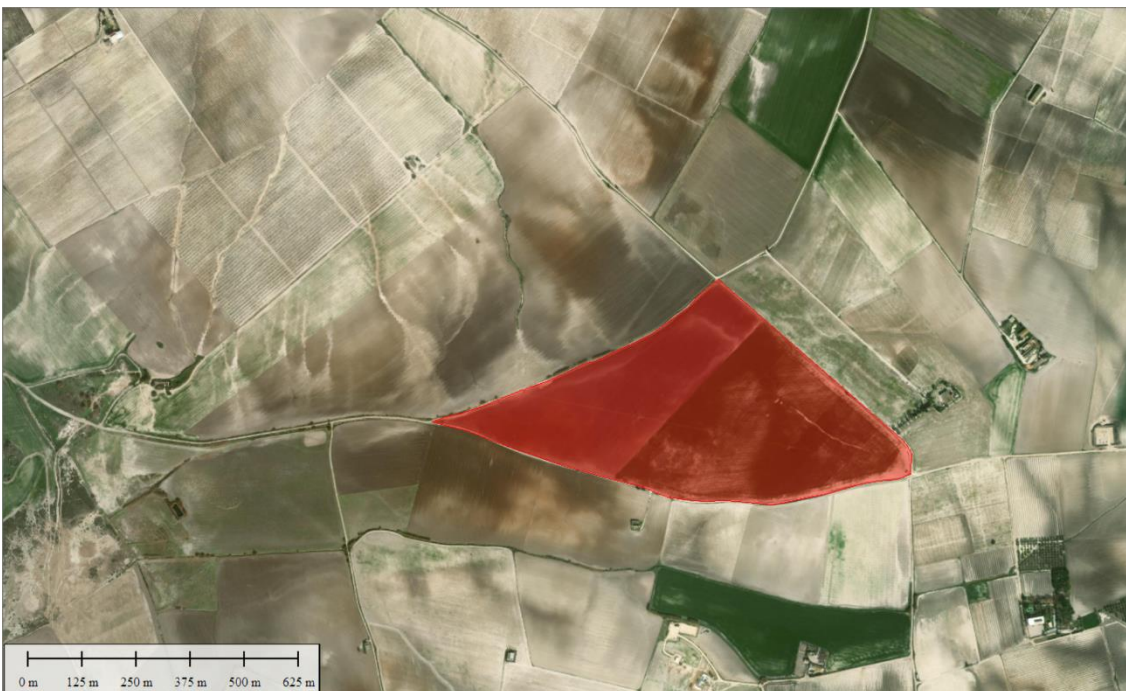
Los valores de precipitación máxima en 24 h para los períodos de retorno considerados se obtienen de la publicación Máximas Lluvias diarias en la España Peninsular editada por el Ministerio de Fomento, y se contrastan con los datos disponibles de estaciones próximas.

La determinación de los caudales de diseño se realiza siguiendo la formulación propuesta en la actual Norma 5.2.-I.C. Drenaje Superficial de la Instrucción de Carreteras de 5 de junio de 2018, con un campo de aplicación a cuencas de hasta 3.000 Km<sup>2</sup> y tiempos de concentración comprendidos entre 0,25 h y 24h.

## 2. ANÁLISIS DEL EMPLAZAMIENTO

Con el objetivo de caracterizar y delimitar correctamente las cuencas de aportación para el desarrollo del posterior estudio hidrológico, se procede al análisis de la información topográfica oficial disponible con la finalidad de facilitar la identificación de las posibles aportaciones de procedencia externa a los terrenos donde se ubicará la futura planta fotovoltaica PSFV El Limbo y Vistahermosa.

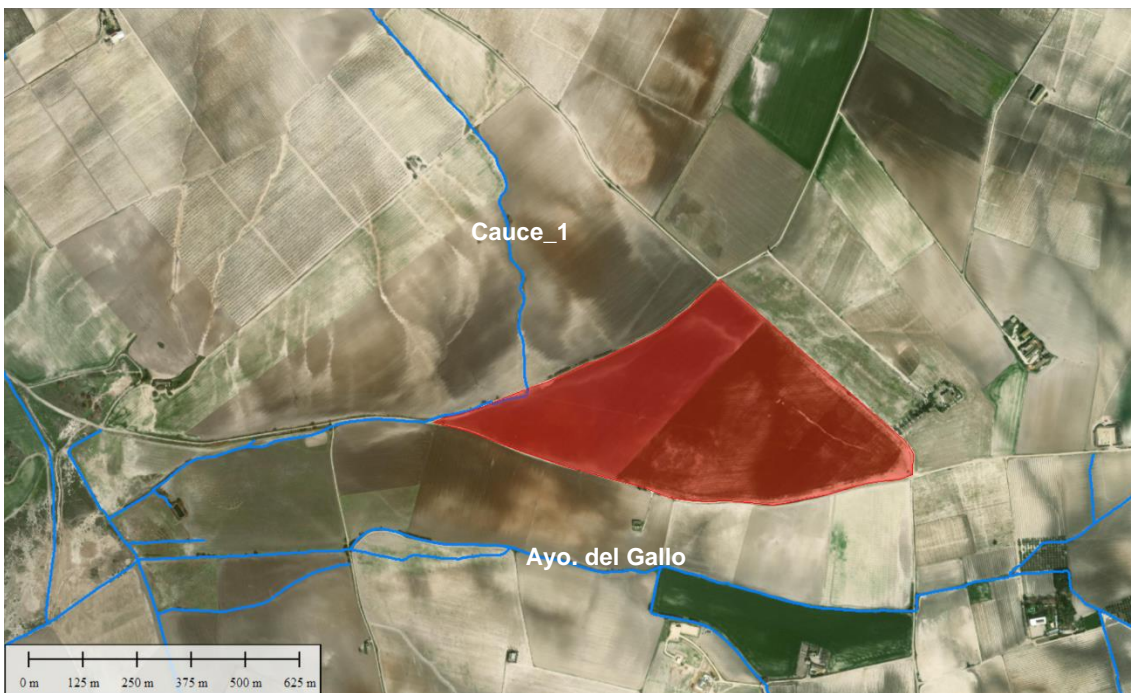
A continuación se muestra la ubicación sobre ortofoto, sobre plano topográfico a escala 1:25.000 del IGN, topográfico 1:10.000 de la Junta de Andalucía y sobre ortofoto con información de cauces de la cartografía de la Junta por ser la capa con mayor definición. Se comprueba además la red hidrográfica definida en el visor del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI).



Emplazamiento Planta fotovoltaica PSFV El Limbo y Vistahermosa. Ortofoto.



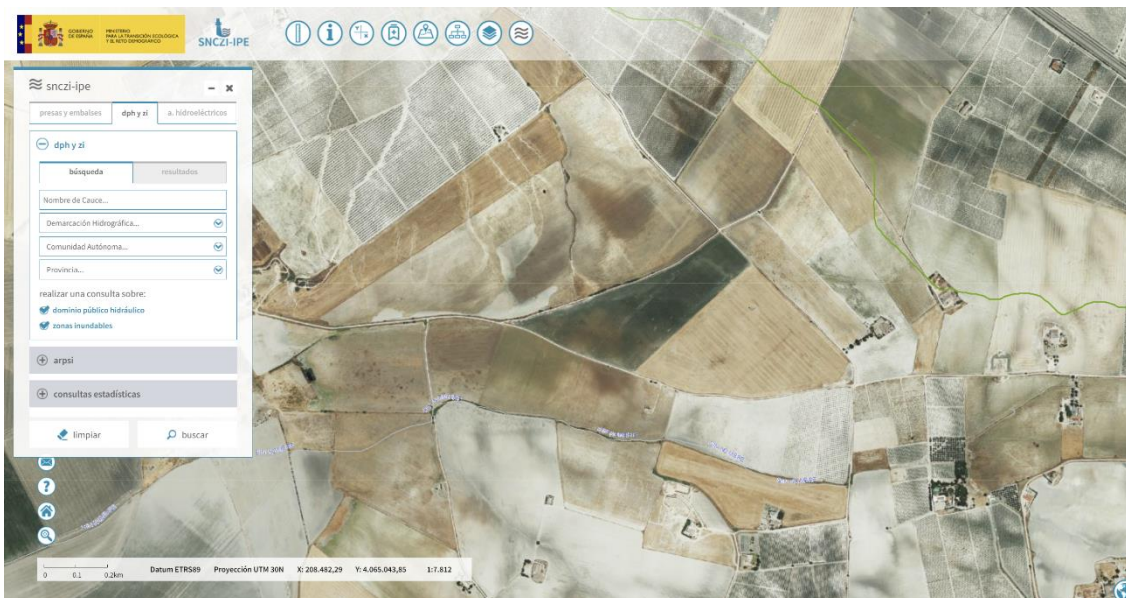
Emplazamiento Planta fotovoltaica PSFV El Limbo y Vistahermosa. Topografía 1:25.000.



Emplazamiento Planta fotovoltaica PSFV El Limbo y Vistahermosa. Ortofoto y definición de cauces Junta.

En las imágenes se observan las vías de drenaje de mayor entidad de estos terrenos conformada principalmente por el Arroyo del Gallo. Tal y como se puede comprobar en la imagen se observan además varios pequeños afluentes de menor entidad. Los cauces de menor entidad innominados se denominan a efectos de este estudio cauce\_1.

Además se ha procedido a comprobar la definición de la red hidrográfica en el visor del SNCZI, comprobando la coherencia del análisis realizado al no definir cauces adicionales, e incluso no considerar los ya detectados.



Red hidrográfica en el visor del SNCZI.

Los cauces identificados constituyen la base para el estudio que se desarrolla en los siguientes apartados.

Debido a la topografía de los terrenos que ocupará la futura planta se observan varias vías menores de desagüe que deberán integrarse en la implantación o considerarse en el diseño del sistema de drenaje. Precisamente, para el análisis hidráulico de estos pequeños cauces se desarrolla un modelo de simulación del proceso de escorrentía superficial considerando la topografía actual y la precipitación estimada para distintos

períodos de retorno, poniendo de manifiesto de esta forma las vías de drenaje más importantes de esta área y, para la calibración y/o comprobación de resultados, se analizan los caudales de los cauces de mayor entidad mediante el método racional.

Dada la extensión de las distintas cuencas de aportación se ha procedido al análisis de la información topográfica existente, principalmente en los planos a escala 1:50.000, 1:25.000 y datos del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea).

La definición se ha realizado a partir de herramientas específicas que facilitan los programas GIS partiendo del modelo digital del terreno (MDT) con malla de 5,0 m x 5,0 m. Hay que destacar que la escala o precisión de la información empleada se considera suficiente para la caracterización de las cuencas vertientes, si bien puede mostrar algún error o incoherencia si se requiriese una escala menor o un mayor detalle para el trabajo en cuestión.

Partiendo del modelo digital del terreno para la delimitación de las cuencas se procede a su definición mediante herramientas GIS. La siguiente imagen muestra la delimitación resultante de las cuencas identificadas.



Delimitación de cuencas vertientes.

Los datos físicos de estas cuencas, necesarios para el desarrollo del estudio, se resumen en la siguiente tabla:

Cuenca	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Longitud cauce (Km)	Cota máxima (m)	Cota mínima (m)	Pendiente media (m/m)
Cuenca 1	0.42	1.69	90.0	32.5	0.034

La delimitación se realiza considerando el objetivo de obtención de caudales y modelización hidráulica.

## 2.1 ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO

Debido a la topografía de los terrenos que ocupará la futura parcela se observan varias vías menores de desagüe que deberán considerarse en el diseño del sistema de drenaje y que se analizarán en el apartado correspondiente al estudio del proceso de precipitación propia ya que la cuenca de aportación es prácticamente la parcela objeto de estudio. Estas vías se consideran como cauces privados según la definición del Artículo 5 de la Ley de Aguas reproducido a continuación:

Artículo 5. Cauces de dominio privado.

1. Son de dominio privado los cauces por los que ocasionalmente discurran aguas pluviales en tanto atraviesen, desde su origen, únicamente fincas de dominio particular.

2. El dominio privado de estos cauces no autoriza para hacer en ellos labores ni construir obras que puedan hacer variar el curso natural de las aguas o alterar su calidad en perjuicio del interés público o de tercero, o cuya destrucción por la fuerza de las avenidas pueda ocasionar daños a personas o cosas.

Estas vías de desagüe de aguas pluviales nacen y discurren por terrenos privados hasta su confluencia con los cauces principales identificados y, según la caracterización geológico/geotécnica de los materiales presentes en el emplazamiento, estos serían incompatibles con la presencia de aguas subterráneas que pudieran tener la consideración de carácter público.

Tal y como se ha indicado anteriormente, para el análisis hidráulico de los pequeños cauces se desarrolla un modelo de simulación del proceso de escorrentía superficial considerando la topografía actual y la precipitación estimada para distintos períodos de retorno, poniendo de manifiesto de esta forma las vías de drenaje más importantes de esta área.

### 3. ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO

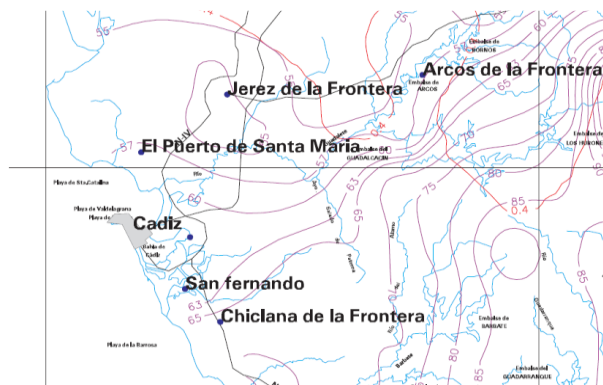
Los valores de precipitación máxima en 24 h para los períodos de retorno considerados son, obtenidos de la publicación Máximas lluvias diarias en la España Peninsular editada por el Ministerio de Fomento.

En dicha publicación se resume el proceso de análisis de datos pluviométricos de distintas estaciones distribuidas por el territorio peninsular seguido para la obtención de un mapa de curvas, a partir del cual es posible determinar la máxima precipitación diaria en cualquier punto de la península. Este mapa facilita dos valores, el valor medio de la precipitación P y un segundo valor regional del coeficiente de variación Cv complementado con los correspondientes cuantiles KT.

De este modo el proceso se resume en ubicar en el mapa el punto objeto de estudio obteniendo los valores de P y Cv. Con el valor de Cv se determinan los valores correspondientes a los distintos cuantiles KT facilitados en dicha publicación según el período de retorno considerado, obteniendo finalmente la precipitación buscada según:

$$P_T = P * K_T$$

A continuación se muestra el mapa correspondiente a la zona objeto de estudio, y la tabla con los cuantiles necesarios para la obtención de las precipitaciones de cálculo.



Mapa de la publicación Máximas Precipitaciones diarias en la España Peninsular para la zona analizada.

PROMOTOR: URBASOLAR ESPAÑA PLANTA FV 20, S.L.

C <sub>v</sub>	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS (T)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
0.30	0.935	1.194	1.377	1.625	1.823	2.022	2.251	2.541
0.31	0.932	1.198	1.385	1.640	1.854	2.068	2.296	2.602
0.32	0.929	1.202	1.400	1.671	1.884	2.098	2.342	2.663
0.33	0.927	1.209	1.415	1.686	1.915	2.144	2.388	2.724
0.34	0.924	1.213	1.423	1.717	1.930	2.174	2.434	2.785
0.35	0.921	1.217	1.438	1.732	1.961	2.220	2.480	2.831
0.36	0.919	1.225	1.446	1.747	1.991	2.251	2.525	2.892
0.37	0.917	1.232	1.461	1.778	2.022	2.281	2.571	2.953
0.38	0.914	1.240	1.469	1.793	2.052	2.327	2.617	3.014
0.39	0.912	1.243	1.484	1.808	2.083	2.357	2.663	3.067
0.40	0.909	1.247	1.492	1.839	2.113	2.403	2.708	3.128
0.41	0.906	1.255	1.507	1.854	2.144	2.434	2.754	3.189
0.42	0.904	1.259	1.514	1.884	2.174	2.480	2.800	3.250
0.43	0.901	1.263	1.534	1.900	2.205	2.510	2.846	3.311
0.44	0.898	1.270	1.541	1.915	2.220	2.556	2.892	3.372
0.45	0.896	1.274	1.549	1.945	2.251	2.586	2.937	3.433
0.46	0.894	1.278	1.564	1.961	2.281	2.632	2.983	3.494
0.47	0.892	1.286	1.579	1.991	2.312	2.663	3.044	3.555
0.48	0.890	1.289	1.595	2.007	2.342	2.708	3.098	3.616
0.49	0.887	1.293	1.603	2.022	2.373	2.739	3.128	3.677
0.50	0.885	1.297	1.610	2.052	2.403	2.785	3.189	3.738
0.51	0.883	1.301	1.625	2.068	2.434	2.815	3.220	3.799
0.52	0.881	1.308	1.640	2.098	2.464	2.861	3.281	3.860

Tabla 7.1 - Cuantiles  $Y_T$ , de la Ley SQRT-ET max, también denominados Factores de Amplificación  $K_T$ , en el "Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular" (1997).

Las precipitaciones máximas en 24 h obtenidas para el emplazamiento de la futura planta fotovoltaica son:

P	C <sub>v</sub>				
55	0.4				
		10 años	50 años	100 años	500 años
K <sub>r</sub>		1.492	2.113	2.403	3.128
Precipitación		82.06	116.22	132.17	172.04

### 3.1 CONTRASTE DE LAS PRECIPITACIONES OBTENIDAS

La precipitación obtenida a partir de la mencionada publicación se considera correcta y coherente con la finalidad de este informe, la normativa de aplicación y criterios habituales en este tipo de estudios. La publicación Máximas Lluvias diarias en la España Peninsular editada por el Ministerio de Fomento desarrolla un estudio regional a partir de estaciones con datos suficientes y de calidad. Tiene en cuenta distintas variables que permiten caracterizar las distintas zonas con un conocimiento más amplio de los eventos extremos del que se podría obtener analizando algunas estaciones puntualmente.

No obstante, con la finalidad de contrastar el valor de la precipitación obtenida se ha procedido a consultar las estaciones pluviométricas cercanas a la ubicación de esta planta, identificando la estación de Jerez de la Frontera, situada a unos 12 Km de la zona objeto de estudio, que forma parte de la red de estaciones agroclimáticas de la Junta de Andalucía.

La estación de Jerez de la Frontera se ubica a la cota 17 m y se encuentra aproximadamente en la misma zona que el emplazamiento objeto de estudio según la clasificación de la publicación de precipitaciones máximas en 24 h.

Considerando los datos históricos se determinan las máximas precipitaciones diarias obtenidas. Normalmente estos valores se obtienen por medición en intervalos regulares de tiempo por lo que deben corregirse para obtener la precipitación máxima en 24 horas. El factor de corrección según distintos estudios se encontraría entre 1,10 y 1,15. Adoptando 1,12 los valores de precipitación máxima en 24 horas son:

JEREZ DE LA FRONTERA			
Año	P <sub>max</sub> día	P <sub>max</sub> 24 h	
2,001	42.8	47.9	
2,002	78.0	87.4	
2,003	57.6	64.5	
2,004	44.2	49.5	
2,005	46.0	51.5	
2,006	53.0	59.4	
2,007	123.6	138.4	
2,008	70.6	79.1	
2,009	77.6	86.9	
2,010	63.4	71.0	
2,011	67.8	75.9	
2,012	72.6	81.3	
2,013	48.4	54.2	
2,014	86.6	97.0	
2,015	48.8	54.7	
2,016	52.6	58.9	
2,017	73.4	82.2	
2,018	61.4	68.8	
2,019	27.4	30.7	
2,020	44.4	49.7	
2,021	55.0	61.6	
2,022	73.8	82.7	
2,023	57.0	63.8	

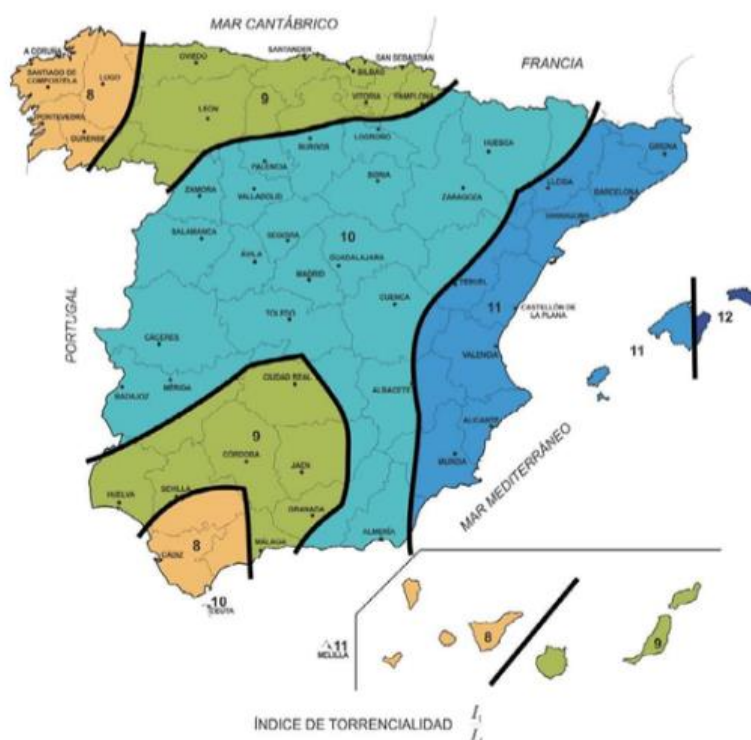
A partir de esta serie de datos, y realizando un ajuste estadístico igual al incluido en la mencionada publicación (SQRT\_ET), se obtienen los siguientes valores de precipitación para los períodos de retorno considerados.

Precipitación máxima en 24 horas				
Estación	Período de retorno (años)			
	10	50	100	500
Jeréz de la Frontera	96.70	129.62	144.88	183.16

Tal y como se puede comprobar, estos valores son superiores a los obtenidos en apartados anteriores según la publicación Máximas lluvias diarias en la España Peninsular editada por el Ministerio de Fomento. Se adoptan por tanto los valores de precipitación obtenidos a partir del estudio específico de la estación correspondiente a Jerez de la Frontera.

### 3.2 CURVAS IDF. HIETOGRAMAS DE COMPROBACIÓN

A partir de la fórmula indicada a continuación se determina la intensidad en mm/h para las duraciones de tormenta estimadas, adoptando el valor  $I_1/I_d = 8$  indicado en la citada norma.



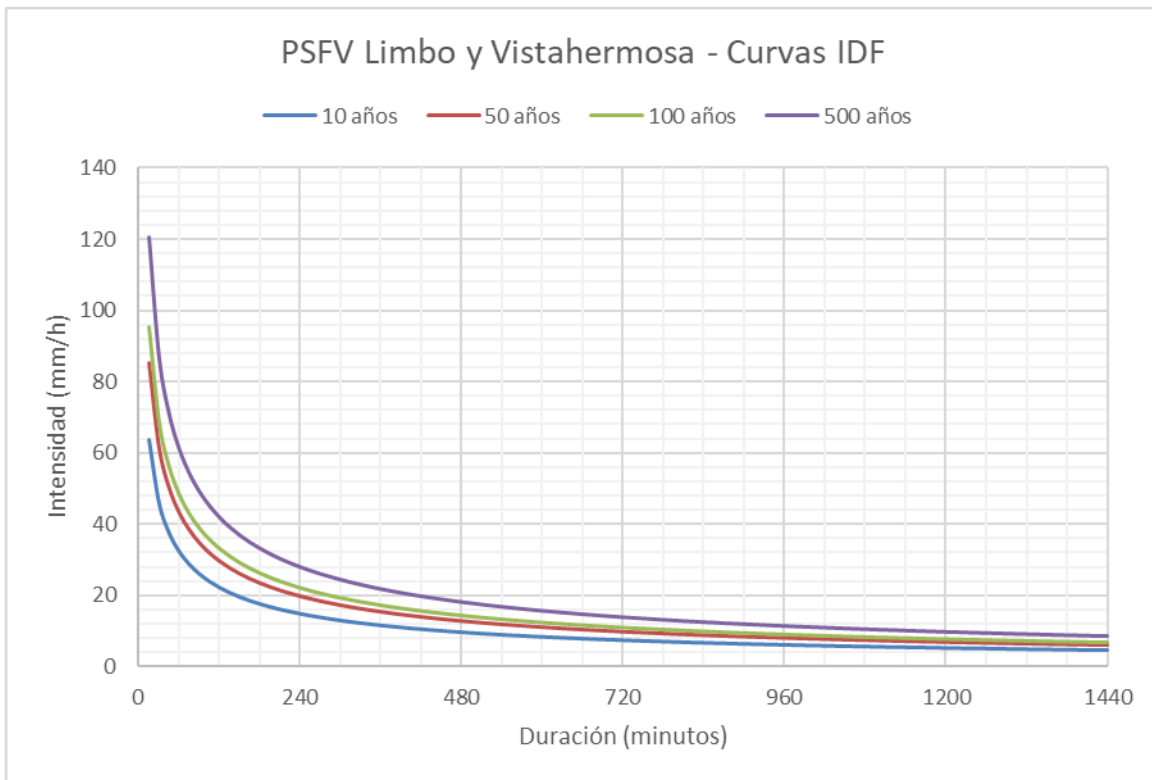
$$I(T, t) = I_d \cdot F_{\text{int}}$$

**PROMOTOR: URBASOLAR ESPAÑA PLANTA FV 20, S.L.**

Donde  $I_d$  es la intensidad media diaria para el período de retorno considerado y  $F_{int}$  un factor de intensidad determinado a partir de información de pluviógrafos existentes con registro continuo y una extensión suficiente de años, o bien a partir de la formulación indicada en la Norma que se muestra a continuación.

$$F_a = \left( \frac{I_1}{I_d} \right)^{3,5287 - 2,5287 t^{0,1}}$$

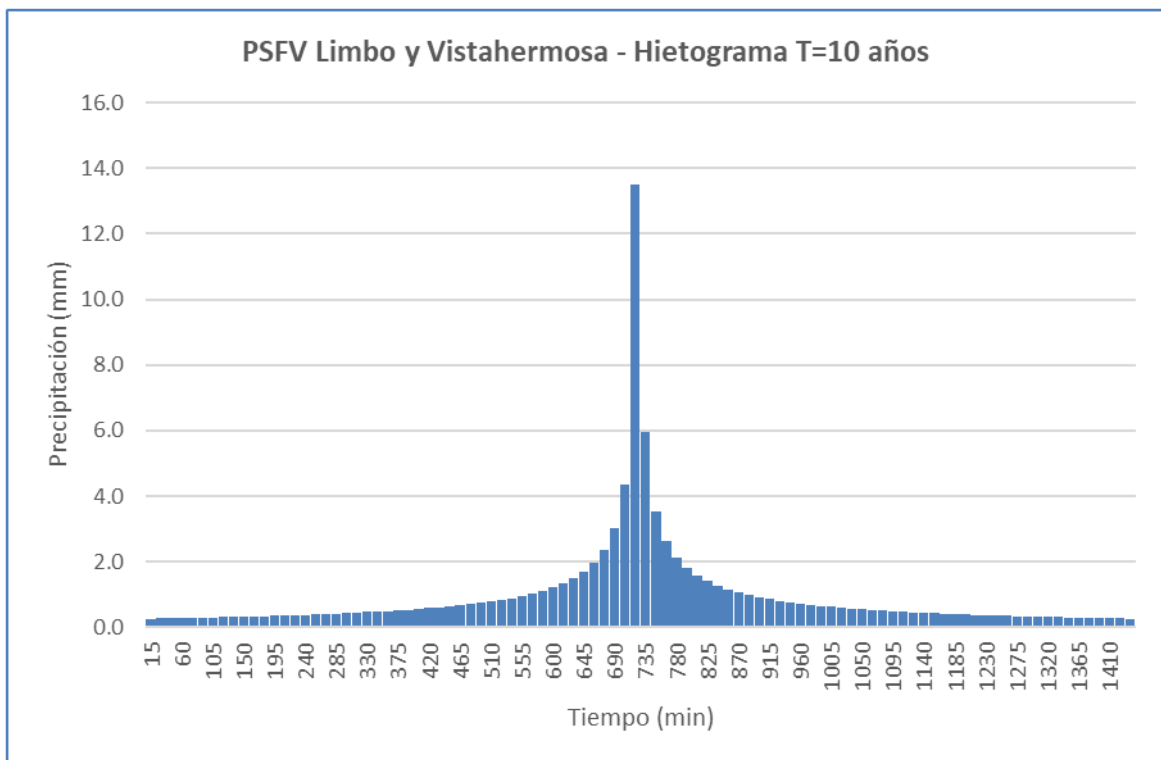
Esta formulación facilita la elaboración de las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) que caracterizan los eventos de precipitación para los distintos períodos de retorno en las cuencas objeto de estudio.

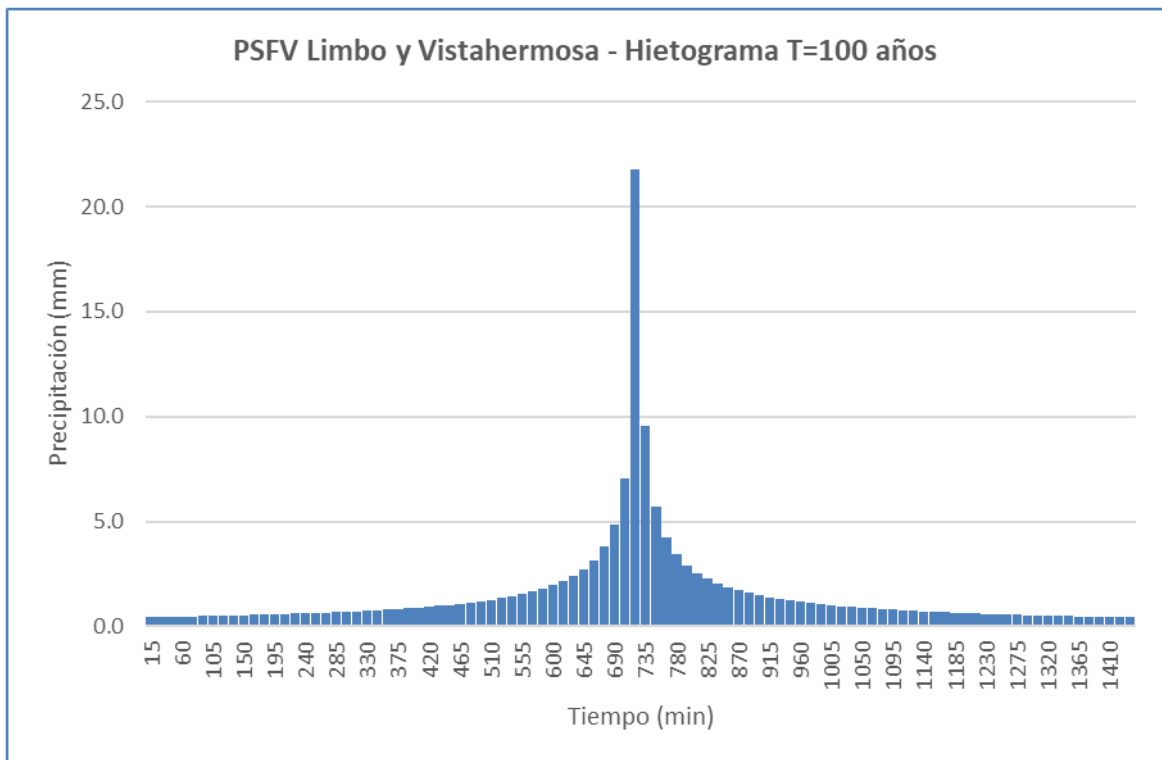
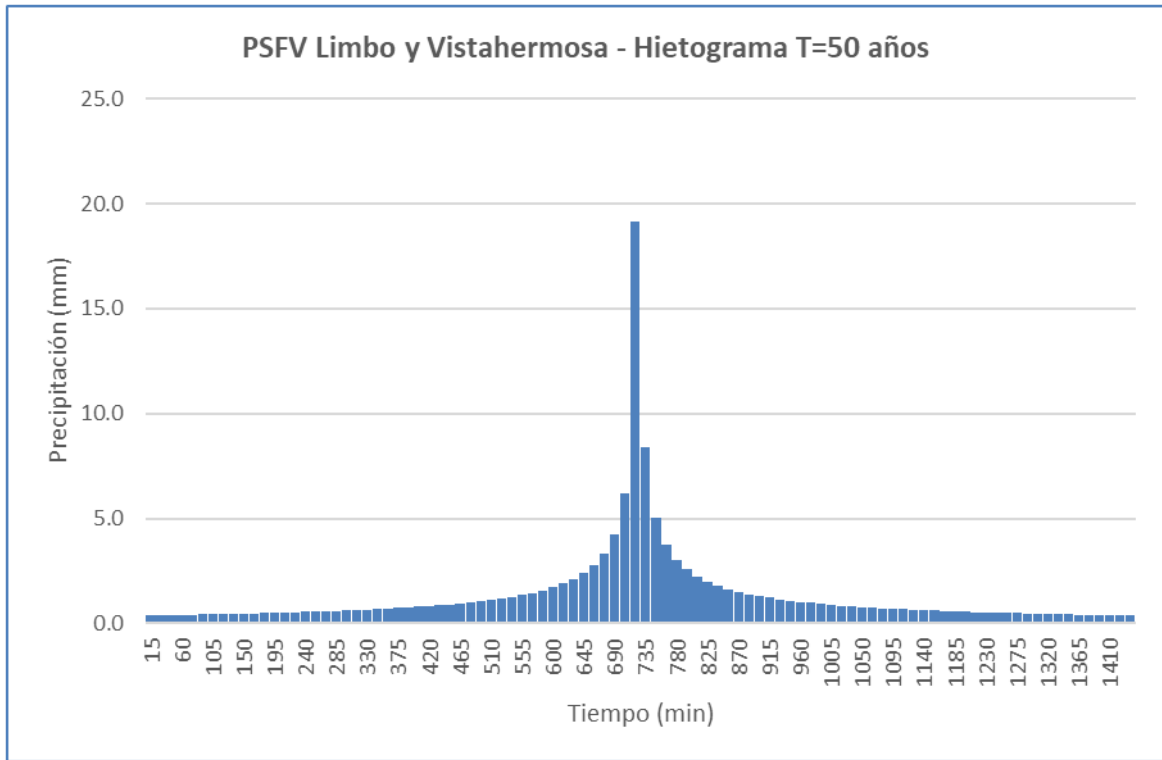


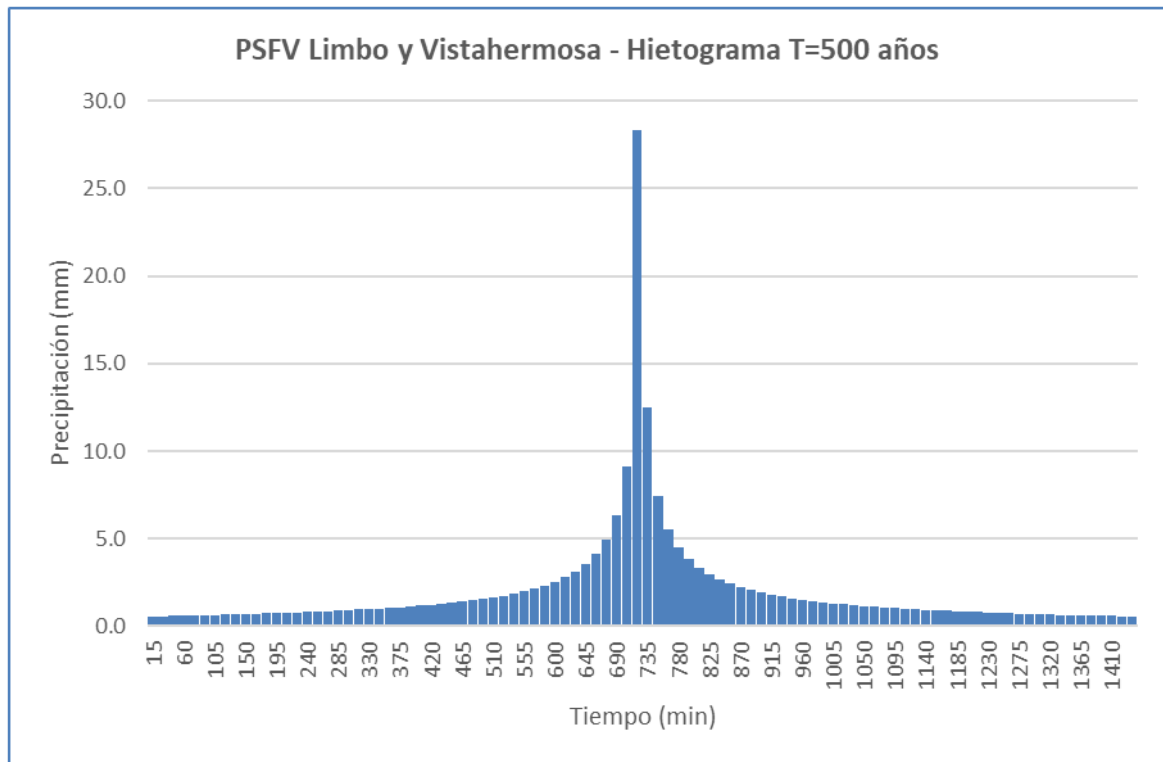
Curvas IDF para la planta fotovoltaica PSFV El Limbo y Vistahermosa

A partir de las curvas IDF se pueden desarrollar los hietogramas de diseño y/o comprobación para los distintos períodos de retorno.

Siguiendo la metodología de bloques alternos, con intervalos de tiempo de 15 minutos, y considerando el evento de precipitación de 24 horas de duración, se obtiene el hietograma correspondiente a 10, 50, 100 y 500 años de período de retorno para cada una de las cuencas estudiadas. A continuación se representan los hietogramas obtenidos:







#### 4. ESTUDIO HIDROLÓGICO

El estudio hidrológico tiene por finalidad el establecimiento de los caudales máximos de avenida, correspondientes a los períodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años, en los tramos de las denominadas vías de desagüe objeto de este estudio, prestando especial atención a los escenarios correspondientes a 10 años de período de retorno para la estimación del DPH, y 100 y 500 años para el análisis del riesgo de inundación.

Para el cálculo se emplearán métodos hidrométricos, que son actualmente los más utilizados para la determinación de avenidas y que simulan el proceso precipitación-escorrentía mediante modelos determinísticos que requieren fundamentalmente dos grupos de datos de entrada: los datos pluviométricos y las características físicas e hidrológicas de la cuenca considerada.

La determinación de los caudales de diseño se realiza siguiendo la formulación propuesta en la actual Norma 5.2.-I.C. Drenaje Superficial de la Instrucción de Carreteras de 15 de febrero de 2016, con un campo de aplicación a cuencas de hasta 3.000 Km<sup>2</sup> y tiempos de concentración comprendidos entre 0,25 h y 24h.

Esta nueva versión de la conocida Norma introduce en esta ocasión una corrección sobre los caudales calculados en la zona del levante español que afecta a la ubicación de la futura planta fotovoltaica.

Así pues, este estudio considera los siguientes aspectos, algunos ya desarrollados total o parcialmente en apartados anteriores:

- Caracterización de la cuenca.
- Estudio pluviométrico.
- Cálculo de caudales de avenida mediante modelos transformación precipitación-escorrentía.

#### **4.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS**

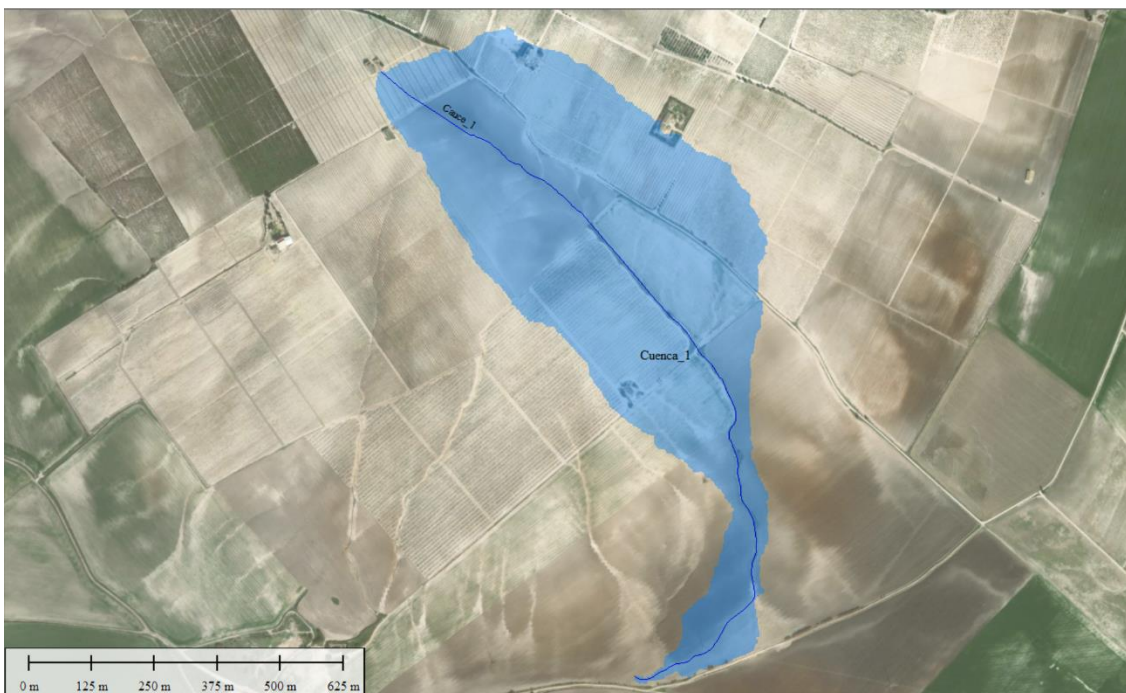
La caracterización de las distintas cuencas contempla tanto la definición geométrica (superficie, pendiente, etc.) como de los usos del suelo con la finalidad de obtener los principales parámetros que intervienen en la determinación de los caudales y volúmenes de avenida.

Como documentación de partida se analiza toda la información topográfica disponible tanto la elaborada para el proyecto como la procedente de otras fuentes como por ejemplo, el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) obtenida mediante tecnología Lidar.

Para la zona objeto de estudio existe información bastante detallada que permite elaborar modelos digitales del terreno con precisión suficiente para la determinación de cuencas vertientes.

Además de la información topográfica se determina los usos actuales del suelo, procediendo a comprobar su clasificación en el marco del proyecto europeo Corine Land Cover. Esta información es importante ya que la determinación del umbral de escorrentía para el cálculo de caudales según la nueva Norma de Drenaje está coordinada con los usos del suelo de este proyecto.

La siguiente imagen muestra la delimitación resultante de las cuencas identificadas.



Delimitación de cuencas vertientes.

Los datos físicos de estas cuencas, necesarios para el desarrollo del estudio, se resumen en la siguiente tabla:

**PROMOTOR: URBASOLAR ESPAÑA PLANTA FV 20, S.L.**

Cuenca	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Longitud cauce (Km)	Cota máxima (m)	Cota mínima (m)	Pendiente media (m/m)
Cuenca 1	0.42	1.69	90.0	32.5	0.034

La delimitación se realiza considerando el objetivo de obtención de caudales y modelización hidráulica.

El parámetro con especial importancia en la determinación de caudales y/o hidrogramas es el tiempo de concentración de las cuencas. Se propone la formulación recomendada en el manual de drenaje para este tipo de cuencas:

$$t_e = 0,3 \cdot \left( \frac{L}{J_e^{0,25}} \right)^{0,76}$$

Donde  $t_e$  es el tiempo de concentración en horas, L la longitud del cauce en kilómetros y  $J_e$  la pendiente media del cauce principal (m/m).

Como derivada de este tiempo, el método del SCS para la transformación de precipitación en escorrentía y determinación de hidrogramas, precisa el denominado tiempo de retardo o flag, cuyo valor se estima en  $0,6t_c$ . La siguiente tabla muestra los valores de estos tiempos.

Cuenca	Tc (h)	Tc (min)	Tlag (min)
Cuenca 1	0.85	50.84	30.50

En último lugar se analiza el uso del suelo en situación actual con el objeto de determinar el umbral de escorrentía. Para su definición la norma propone una clasificación regional considerando la zona en grupo hidrológico C caracterizado por un drenaje imperfecto.

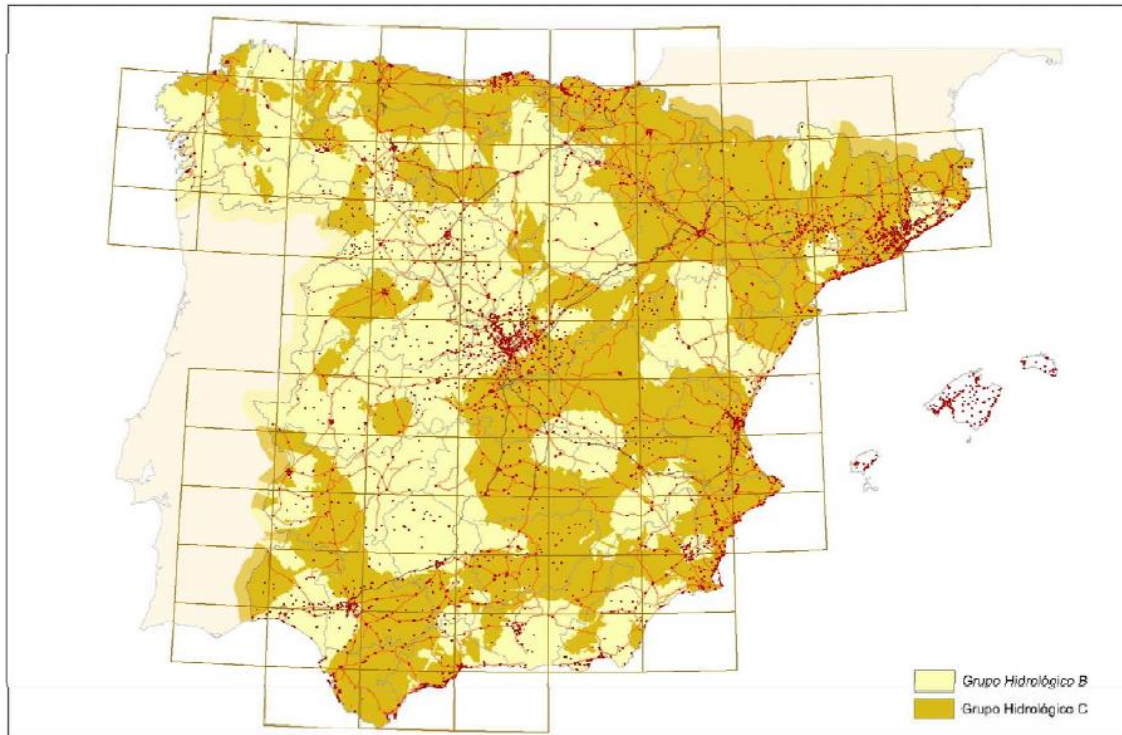


FIGURA 2.7.- MAPA DE GRUPOS HIDROLÓGICOS DE SUELO

Con relación a los usos del suelo actuales, el proyecto Corine Land Cover clasifica el uso del suelo de la cuenca objeto de estudio con la categoría 2.1.1 (Terrenos de labor).

Código	Uso de suelo	Práctica de cultivo	Pendiente (%)	Grupo de suelo			
				A	B	C	D
21100	Tierras de labor en secano (cereales)	R	$\geq 3$	29	17	10	8
21100	Tierras de labor en secano (cereales)	N	$\geq 3$	32	19	12	10
21100	Tierras de labor en secano (cereales)	R/N	$< 3$	34	21	14	12

Norma 5.2.IC valores del umbral de escorrentía  $P_0$ .

Conviene destacar además que este umbral de escorrentía representaría además el comportamiento de la superficie ocupada por la planta una vez construida (terrenos con poca vegetación y/o praderas naturales). La construcción de la planta fotovoltaica PSFV El Limbo y Vista hermosa no supone una modificación sustancial de los usos del suelo actuales salvo en aquellas zonas donde exista algún tipo de aprovechamiento incompatible con la nueva instalación. No obstante, el valor correspondiente para el umbral de escorrentía para espacios constituidos por pastizales para suelos tipo C entre 14 y 17 mm en función de la pendiente.

Código	Uso de suelo	Práctica de cultivo	Pendiente (%)	Grupo de suelo			
				A	B	C	D
32100	Pastizales naturales		≥ 3	53	23	14	9
32100	Pastizales naturales		< 3	80	35	17	10

Estos valores están en el orden o son superiores a los asumidos en el estudio hidrológico para la determinación de caudales. Hay que considerar además que esta posible modificación en el uso sólo afecta al porcentaje de superficie de cuenca realmente afectada por la construcción de la planta, minimizando su efecto sobre los caudales calculados.

Considerando el reparto de superficies asociadas a cada uso del suelo, y homogenizando el valor dada la similitud de los distintos usos del lado de la seguridad, el umbral de escorrentía inicial adoptado para cada una de las cuencas es:

<b>Umbral de escorrentía inicial</b>	
Cuenca	P <sub>0</sub> (mm)
Cuenca 1	12.00

**PROMOTOR: URBASOLAR ESPAÑA PLANTA FV 20, S.L.**

La Norma 5.2.IC clasifica la Península en distintas regiones para las que se adoptan diferentes factores correctores del umbral de escorrentía según el período de retorno considerado. La parcela objeto de estudio se encuentra en la región 511, para la que el factor de corrección del umbral de escorrentía presenta un valor medio de 2,15, valor al que habría que aplicar el coeficiente para cada período de retorno, que en el caso de 10 años es 1. Los caudales mayores se obtienen según la formulación indicada en dicha Norma.



FIGURA 2.9.- REGIONES CONSIDERADAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL COEFICIENTE CORRECTOR DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA

Región	Valor medio, $\beta_m$	Desviación respecto al valor medio para el intervalo de confianza del			Período de retorno $T$ (años), $F_T$				
		50% $\Delta_{50}$	67% $\Delta_{67}$	90% $\Delta_{90}$	2	5	25	100	500
511	2,15	0,10	0,15	0,20	0,81	0,91	1,12	1,30	1,50

## 4.2 DETERMINACIÓN DE CAUDALES

Para la determinación de los caudales de avenida o de diseño de la red de drenaje se propone emplear el método racional ampliamente empleado y sancionado por la experiencia para este tipo de infraestructuras. En este caso el modelo utilizado está basado en la formulación propuesta en la actual Norma 5.2.-I.C. Drenaje Superficial de la Instrucción de Carreteras de 15 de febrero de 2016.

Este método considera el efecto de no uniformidad de las lluvias además de una adecuada estimación del coeficiente de escorrentía.

El caudal máximo  $Q$ , expresado en  $m^3/s$  se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$Q = \frac{CIA}{3.6} K$$

obteniéndose los resultados que se reflejan en los siguientes cuadros.

A partir del uso del suelo se determina el valor del coeficiente de escorrentía mediante la formulación incluida en la normativa española:

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

Donde  $C$  es el coeficiente de escorrentía,  $P_d$  la precipitación diaria para el período de retorno considerado,  $P_0$  el umbral de escorrentía corregido para los distintos períodos de retorno y  $K_A$  un coeficiente reductor por superficie obtenido según:

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

$$K_A = 1$$

$$\text{Si } A \geq 1 \text{ km}^2$$

$$K_A = 1 - \frac{\log_{10} A}{15}$$

La determinación de la intensidad de cálculo se obtiene a partir de la siguiente expresión, siendo  $I_1/I_d$  8:

$$F_a = \left( \frac{I_1}{I_d} \right)^{3,5287 - 2,5287 t^{0,1}}$$

El tiempo de concentración se obtiene según:

$$t_c = 0,3 \cdot L_c^{0,76} \cdot J_c^{-0,19}$$

Donde  $t_c$  es el tiempo de concentración en horas,  $L_c$  la longitud del cauce principal en Km y  $J_c$  la pendiente media del cauce.

El coeficiente de uniformidad  $K$ , cuyo valor depende exclusivamente del tiempo de concentración  $T_c$ , responde a la siguiente expresión:

$$K = 1 + \frac{T_c^{1,25}}{T_c^{1,25} + 14}$$

En los siguientes cuadros se muestran los datos necesarios, así como el proceso seguido para la obtención de los caudales máximos.

Cuenca	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Longitud cauce (Km)	Cota máxima (m)	Cota mínima (m)	Pendiente media (m/m)	Tiempo de concentración (h)	Coficiente uniformidad	Coficiente reductor
Cuenca 1	0.42	1.69	90.0	32.5	0.034	0.85	1.055	1.000

La precipitación máxima en 24 horas estimada para distintos períodos de retorno es:

<b>Precipitación máxima 24 horas</b>				
<b>Período de Retorno</b>				
Cuenca	10 años	50 años	100 años	500 años
Cuenca completa	96.70	129.62	144.88	183.16

Una vez aplicado el coeficiente reductor por área, que en este caso dada su pequeña dimensión es igual a 1, las precipitaciones de cálculo son:

<b>Precipitación areal por subcuencas</b>				
<b>Período de Retorno</b>				
Cuenca	10 años	50 años	100 años	500 años
Cuenca 1	96.70	129.62	144.88	183.16

El umbral de escorrentía inicial y el corregido para el cálculo del caudal correspondiente a los distintos períodos de retorno es:

<b>Umbral de escorrentía inicial</b>	
Cuenca	$P_0$ (mm)
Cuenca 1	12.00

<b>Umbral de escorrentía</b>				
Coef. Corrector Bm	2.15			
<b>Período de Retorno</b>				
Coef. Corrector Ft	10 años	50 años	100 años	500 años
	1.00	1.21	1.30	1.50
Cuenca	10 años	50 años	100 años	500 años
Cuenca 1	25.80	31.22	33.54	38.70

Los valores obtenidos para el coeficiente de escorrentía e intensidad media son:

<b>Coeficiente de escorrentía C</b>				
<b>Período de Retorno</b>				
<b>Cuenca</b>	<b>10 años</b>	<b>50 años</b>	<b>100 años</b>	<b>500 años</b>
Cuenca 1	0.34	0.37	0.39	0.42

<b>Intensidad media</b>				
<b>Período de Retorno</b>				
<b>Cuenca</b>	<b>10 años</b>	<b>50 años</b>	<b>100 años</b>	<b>500 años</b>
Cuenca 1	35.14	47.11	52.65	66.56

Los caudales finalmente obtenidos para los distintos períodos de retorno son:

<b>Caudal máximo Racional (m<sup>3</sup>/s)</b>				
<b>Período de Retorno</b>				
<b>Cuenca</b>	<b>10 años</b>	<b>50 años</b>	<b>100 años</b>	<b>500 años</b>
Cuenca 1	1.45	2.14	2.48	3.40

## 5. ESTUDIO HIDRÁULICO

El estudio hidráulico analiza el riesgo de inundación en situación actual partiendo de la topografía original y los hietogramas de cálculo resultantes del estudio hidrológico.

La simulación hidráulica se realiza con el software HEC-RAS v6.41 utilizando el módulo de análisis bidimensional, considerando esta elección acertada dadas las características del emplazamiento.

Con motivo de la configuración de la red de drenaje asociada al emplazamiento de la planta fotovoltaica PSFV El Limbo y Vistahermosa, que cuenta con el arroyo del Gallo, y varios afluentes en el área objeto de estudio, se desarrolla un análisis del proceso de

precipitación sobre toda la cuenca como parte del estudio hidráulico por la información que pueda aportar sobre los procesos de escorrentía superficial.

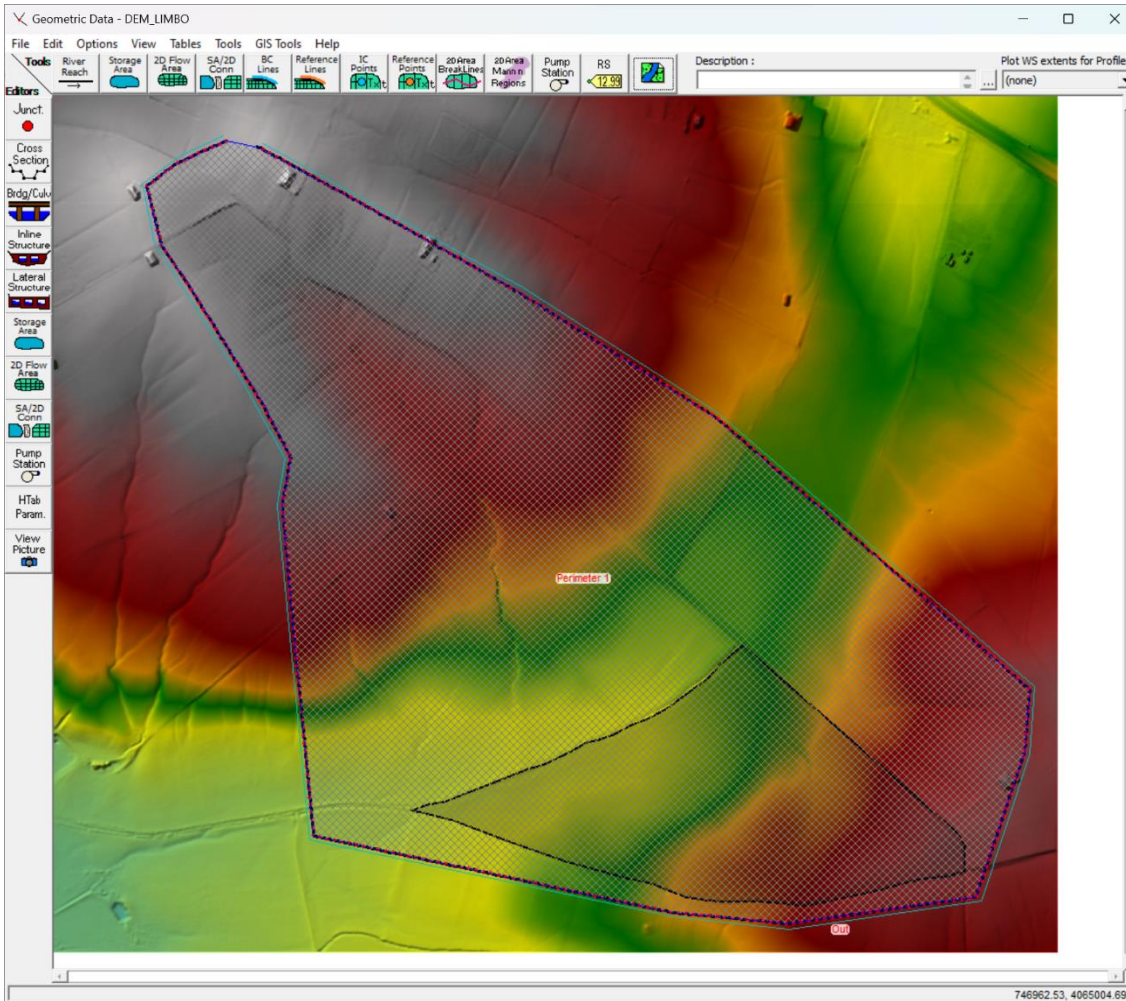
La simulación hidráulica se realiza con el software HEC-RAS v6.41 utilizando el módulo de análisis bidimensional utilizando los caudales obtenidos para los otros cauces como contraste y/o comprobación de los resultados obtenidos.

El modelo propuesto es un programa de cálculo hidráulico y no hidrológico, si bien se puede añadir la precipitación como una condición de contorno, no incorpora entre sus capacidades el estudio de los caudales desde el punto de vista de la hidrología.

Esta parte del modelo puede emplearse adoptando las precauciones necesarias como aplicación del coeficiente de escorrentía, interpretación de resultados, etc. confirmando, entre otras cuestiones, la coherencia de los caudales obtenidos.

El análisis del proceso de precipitación sobre toda la cuenca se realiza teniendo en cuenta la hora y media de mayor intensidad para los períodos de retorno de 10, 100 y 500 años. La lluvia previa a esta hora permite asegurar que se ha superado el umbral de escorrentía por lo que no se consideran pérdidas iniciales en la precipitación.

Los caudales y precipitaciones de cálculo obtenidos según este criterio en el estudio hidrológico constituyen el principal dato de entrada junto con la geometría o topografía actual.



Esquema del Modelo Hidráulico.

El modelo hidráulico contempla el mallado con igual tamaño en toda el área de inundación, y con más detalle la zona correspondiente al cauce. Se adopta un coeficiente de rugosidad o  $n$  de Manning general de 0,045, 0,060 en zonas de vegetación o arbustos poco densos y de 0,100 para aquellas zonas con presencia de arbolado o matorral espeso, y considera como condición de contorno de entrada los caudales e hietogramas obtenidos en el estudio hidrológico, y la pendiente del régimen uniforme en la salida coincidente con la pendiente natural del terreno.



Mallado general del modelo zonas de mayor detalle.

Además de realizar un análisis de sensibilidad durante la modelización hidráulica, las condiciones de contorno se distancian de la zona objeto de estudio con la finalidad de garantizar que no afectan a los resultados obtenidos.

En el siguiente apartado se muestran los resultados obtenidos considerando la precipitación de la hora y media de mayor intensidad en los distintos escenarios contemplados corregida con el coeficiente de escorrentía. Para no distorsionar los resultados se ha seleccionado el método de representación más adecuado disponiendo además un filtro para calados inferiores a 10 cm.

## 5.1 RESULTADOS MODELO HIDRÁULICO

Las siguientes figuras resumen los resultados de la modelización hidráulica para los tramos de los arroyos y cauces objeto de estudio.



Línea de máxima inundación (T=10 años)



Velocidades máximas alcanzadas (T=10 años)



Línea de máxima inundación (T=100 años)



Velocidades máximas alcanzadas (T=100 años)



Línea de máxima inundación (T=500 años)



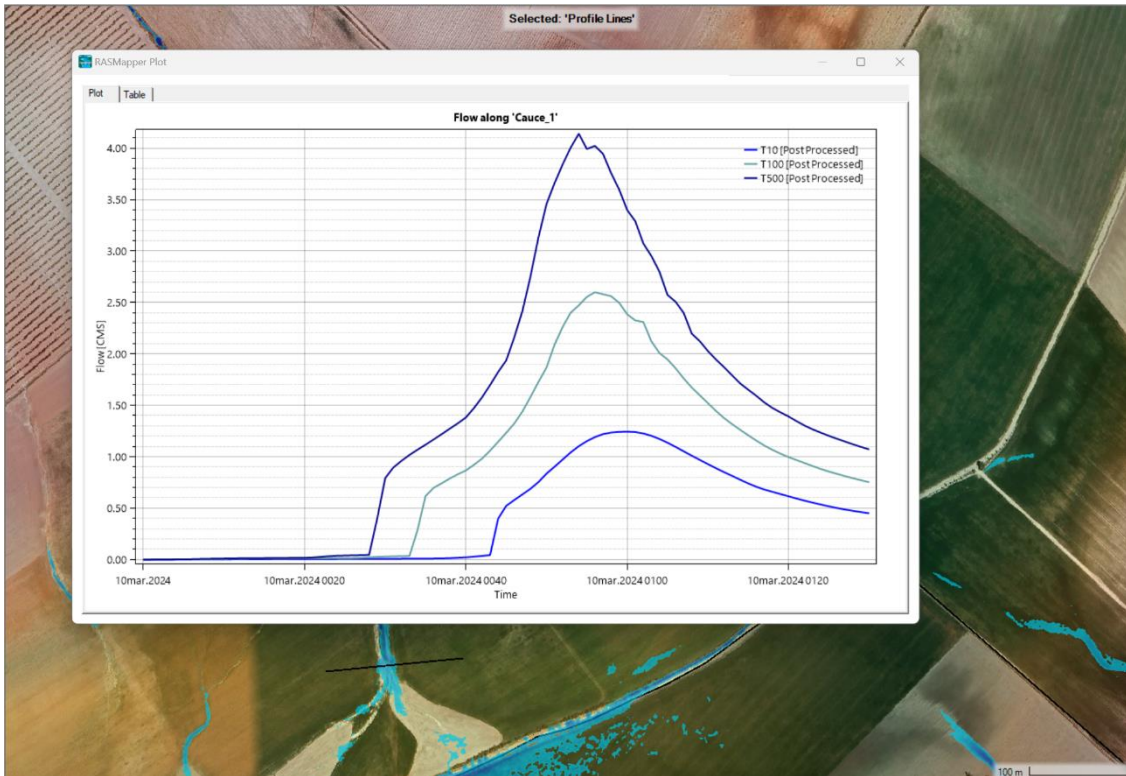
Velocidades máximas alcanzadas (T=500 años)

Tal y como se puede observar las distintas vías presentan una capacidad de desagüe correcta y acorde a las condiciones topográficas de estas en aquellos tramos donde se encuentran correctamente definidos. En aquellos tramos donde la definición de la vía de drenaje se ha visto alterada por la modificación sufrida por el aprovechamiento agrícola hace que existan algunas zonas donde los caudales circulan de manera difusa.

Los caudales asociados a los distintos períodos de retorno circulan por los cauces formados sin grandes diferencias, con calados que pueden superar puntualmente 0,5 m de altura en determinados tramos de las vías principales, y velocidades entre 0,5 m/s y algo más de 2,5 m/s considerando los caudales correspondientes a 500 años de período de retorno.

Las siguientes imágenes muestran los caudales simulados en el cauce de referencia (Cauce\_1), comprobando que están en orden de magnitud con los obtenidos en el

estudio hidrológico resultando algo mayores por lo que los resultados quedarían del lado de la seguridad.



Caudales simulados en Cauce\_1.

En la siguiente imagen se representan las tres líneas de inundación, permitiendo comprobar que salvo zonas puntuales la extensión de la inundación es similar para los escenarios contemplados.



Línea de inundación para T=10 años (azul), 100 años (verde) y 500 años (magenta)

## 5.2 ANÁLISIS DE FLUJO PREFERENTE

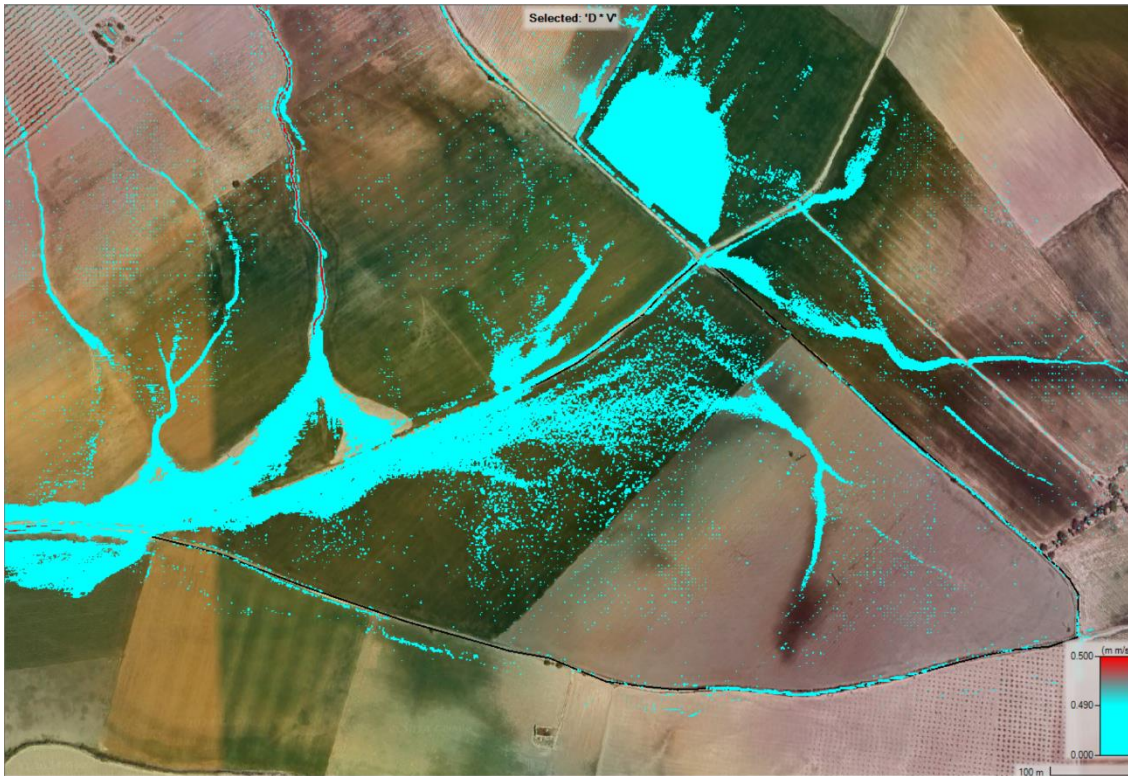
De acuerdo con el artículo 9.2 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, en las zonas de flujo preferente sólo podrán ser autorizadas por el organismo de cuenca aquellas actividades no vulnerables frente a las avenidas y que no supongan una reducción significativa de la capacidad de desagüe de dicha vía. La zona de flujo preferente es aquella zona constituida por la unión de la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo durante las avenidas, o vía de intenso desagüe, y de la zona donde, para la avenida de 100 años de periodo de retorno, se puedan producir graves daños sobre las personas y los bienes, quedando delimitado su límite exterior mediante la envolvente de ambas zonas. A los efectos de la aplicación de la definición anterior, se considerará que pueden producirse graves daños sobre las personas y los bienes cuando

las condiciones hidráulicas durante la avenida satisfagan uno o más de los siguientes criterios:

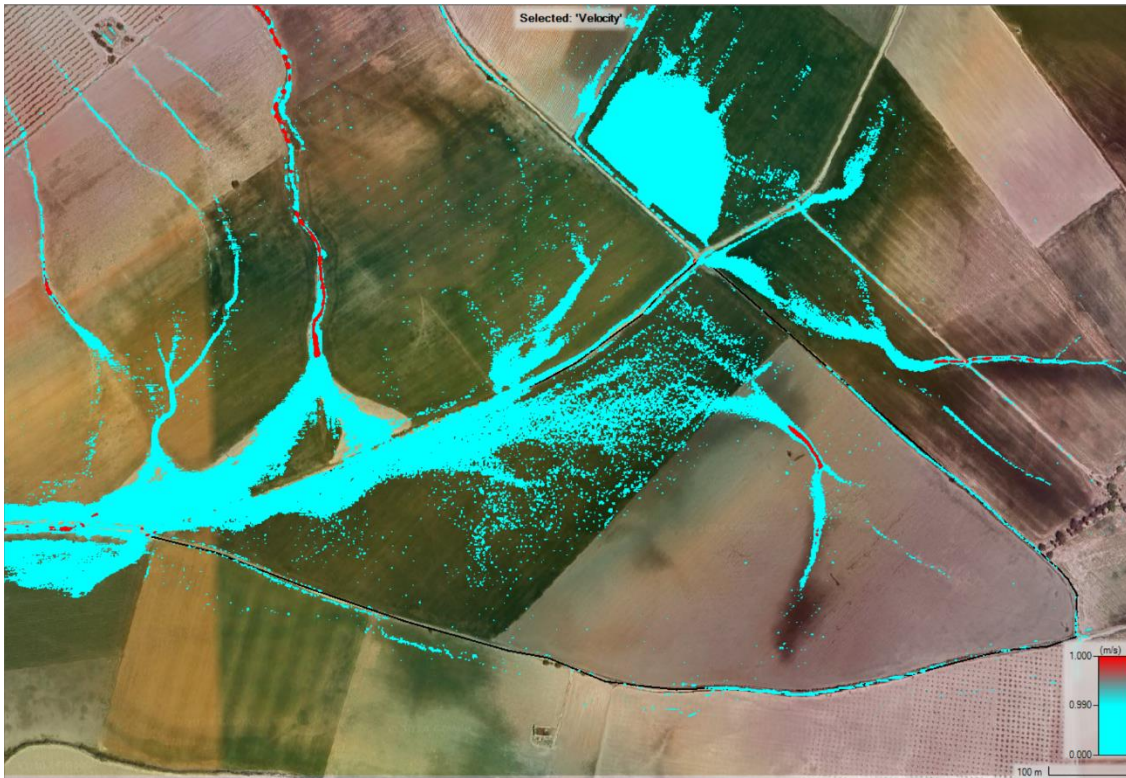
- Que el calado sea superior a 1 m.
- Que la velocidad sea superior a 1 m/s.
- Que el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m<sup>2</sup>/s.

En la delimitación de la zona de flujo preferente se empleará toda la información de índole histórica y geomorfológica existente, a fin de garantizar la adecuada coherencia de los resultados con las evidencias físicas disponibles sobre el comportamiento hidráulico del cauce.

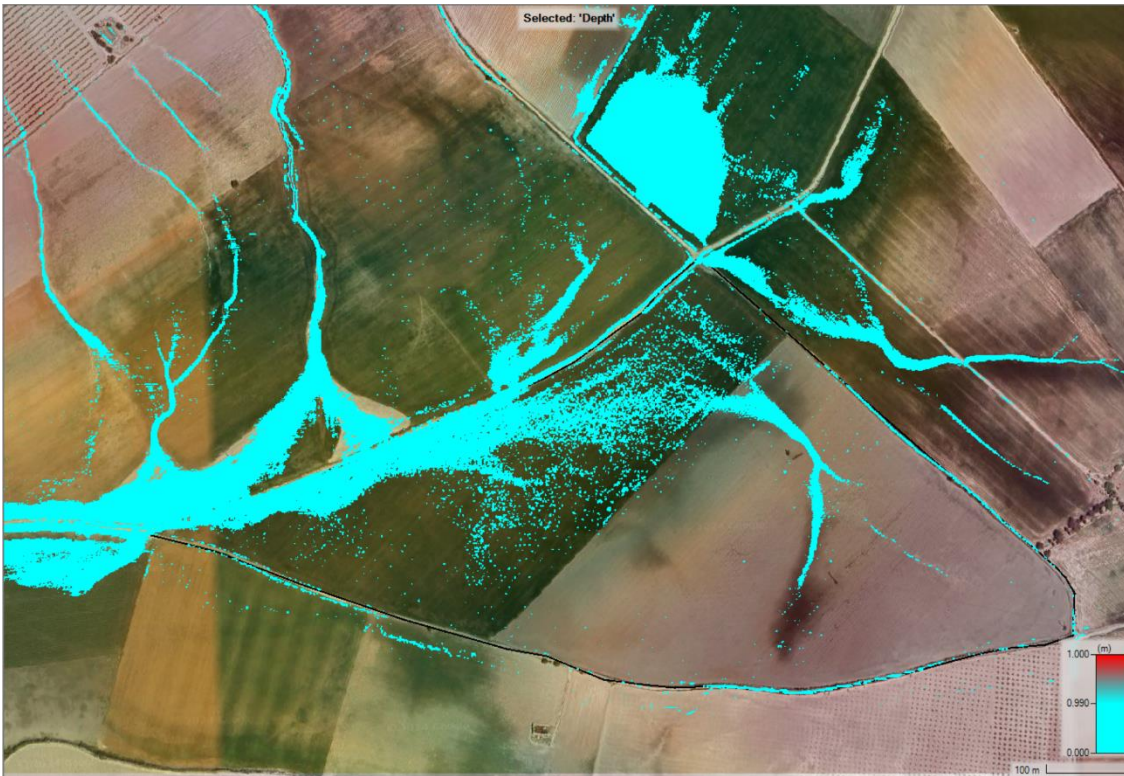
Las siguientes figuras representan el valor del producto calado por velocidad, velocidades y calados para los cauces analizados destacando los límites indicados anteriormente.



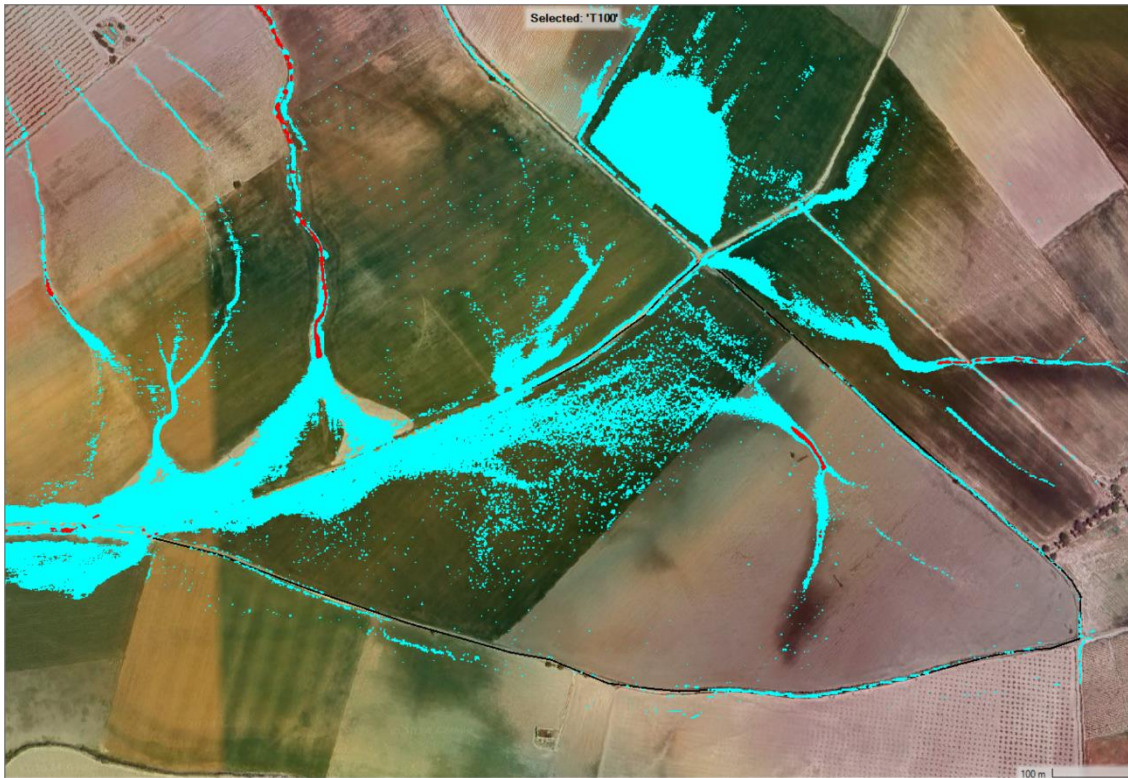
Resultados del producto calado por velocidad (V\*D) para T=100 años.



Resultados de velocidad para T=100 años.



Resultados de calado para T=100 años.



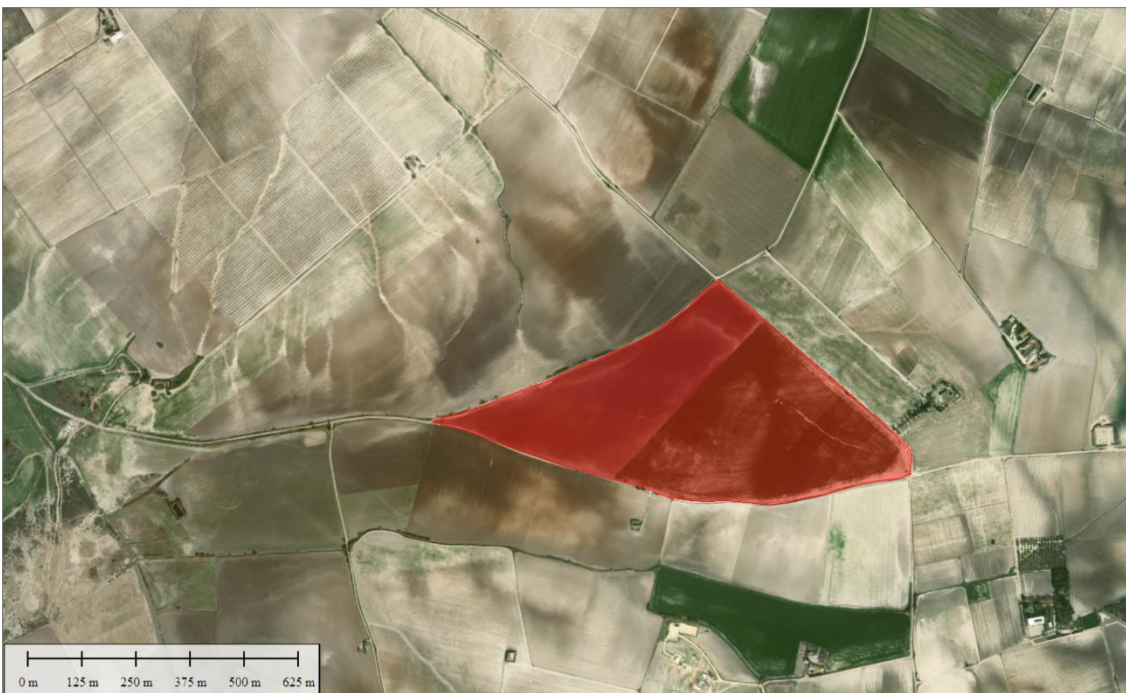
Zona de Flujo Preferente (color rojo)

En las imágenes anteriores se puede comprobar que debido a la configuración del terreno y en aquellos tramos donde se observa la presencia de un cauce preferencial, las únicas zonas con riesgo de graves daños ( $V \cdot D > 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$ ) o que superan los límites indicados se encuentran restringidas a los propios cauces analizados.

## 6. CONTRASTE DE RESULTADOS

La definición de posibles cauces o en su caso del Dominio Público Hidráulico debe tener en cuenta, además de los resultados de la simulación hidráulica, otros aspectos como son la topografía, geomorfología, datos históricos, etc. Este contraste se realiza además para la definición del riesgo de inundabilidad.

La siguiente imagen muestra la ubicación de los terrenos sobre la ortofoto más actual.



Emplazamiento Planta fotovoltaica PSFV El Limbo y Vistahermosa sobre ortofoto PNOA.

Las vías de desagüe actuales se encuentran definidas en el entorno de los terrenos que ocupa este emplazamiento, donde topográfica y geomorfológicamente es posible delimitarlas. Este aspecto se puede comprobar tanto en la foto más actual como en todas las anteriores disponibles.

Las fotos aéreas más antiguas se corresponden con el denominado vuelo americano de los años 1956/57, mostrando a continuación la correspondiente a la zona objeto de estudio.



Emplazamiento Planta fotovoltaica PSFV El Limbo y Vistahermosa. Vuelo Americano

Tal y como se puede comprobar estos terrenos no han sufrido alteraciones significativas en los últimos 60 años con relación al sistema de drenaje salvo las realizadas con motivo del aprovechamiento de parte de los terrenos.

Con relación a los posibles trámites administrativos, la definición de DPH obtenida para los distintos cauces al considerar la avenida de 10 años de período de retorno en su caso es coherente con el resto de información existente considerada en la normativa actual.

Independientemente de estos trámites, los terrenos presentan el riesgo de inundación definido en los apartados anteriores, riesgo que deberá tenerse en cuenta en la fase de diseño de la planta para evitar en lo posible los daños asociados.

## **7. CONCLUSIONES**

Este estudio desarrolla el estudio hidrológico e hidráulico básico para caracterización del riesgo de inundación de los terrenos donde se ubicará la futura planta fotovoltaica PSFV El Limbo y Vistahermosa.

El análisis se desarrolla según las metodologías y criterios habituales para este tipo de estudios.

Esta infraestructura, para la que no se prevén movimientos significativos de tierras que modifiquen la configuración del terreno, es permeable permitiendo el proceso de escorrentía superficial en las mismas condiciones que se realiza en la actualidad, evitando disponer elementos incompatibles con la inundación en los puntos bajos y proponiendo los elementos necesarios para garantizar el correcto funcionamiento.

Debido a la configuración del emplazamiento seleccionado, la topografía y la capacidad hidráulica de los cauces analizados, la circulación de los posibles caudales en situación de avenida tiene lugar por el cauce definido. El riesgo de inundabilidad por tanto es bajo, sin representar daños graves tanto a personas como a bienes materiales, salvo los incompatibles con la propia inundación.

Con relación a los posibles trámites administrativos, la definición de DPH obtenida al considerar la avenida de 10 años de período de retorno para los cauces estudiados, o la propia definición del canal de drenaje existente, es coherente con el resto de información existente considerada en la normativa actual.

Las zonas detectadas con menor capacidad de evacuación favorecen la acumulación de agua tanto superficial como subterránea sin calados importantes salvo

zonas puntuales o los propios cursos de agua. Se podría plantear corregir la pendiente y facilitar la evacuación de caudales mediante un sistema de drenaje que respete la configuración actual del terreno, o evitar instalaciones y equipos que pudieran verse afectados.

La interpretación de resultados debe considerar las limitaciones del modelo empleado ya que no representa, por ejemplo, la capacidad de infiltración del terreno en las zonas de terrazas y/o zonas de cultivo. Los resultados obtenidos representarían la situación más desfavorable correspondiente a suelos saturados en el momento de máxima precipitación.

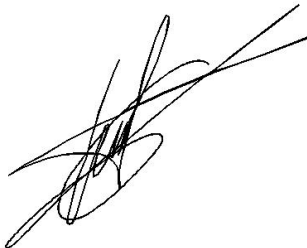
El trazado de caminos internos deberá considerar los elementos de drenaje necesarios y, en los cruces de caminos con los cauces principales, deben preverse las obras necesarias para su protección.

Los cruces de zanjas con cauces deberán protegerse mediante un relleno de pedraplén o grava de 20-30 cm de espesor en su parte superior, a lo largo de toda la longitud afectada, y con un ancho igual al doble de la zanja normal.

En Cádiz, a marzo de 2024

Por SOLUTIO GESTIÓN INTEGRAL DE PROYECTOS S.L.

El Ingeniero Técnico Industrial



Fdo.: Juan José Gázquez González

Col. 845

El Ingeniero de Caminos, C y P.



Fdo.: Guillermo Berbel Castillo

Col. 15.152

# PLANOS

LEYENDA

- Lámina Inundación (T = 10)
- Lámina Inundación (T = 100)
- Lámina Inundación (T = 500)



Ter. Municipal de Jerez de la Frontera  
Ter. Municipal de El Puerto de Santa María

PSFV El Limbo

Coordenadas UTM ETRS89

X	Y	Zona
746035,54	4064507,98	29 S



JUAN JOSÉ GÁZQUEZ GONZÁLEZ  
Ingeniero Técnico Industrial  
Colegiado Nº : 845

GUILLERMO BERBEL CASTILLO  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Colegiado Nº : 15152



Peticionario:  
**axpo** URBASOLAR ESPAÑA  
PLANTA FV 20, S.L.U.

Título:  
ANEXO I AL PROYECTO EJECUCIÓN DE INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA  
PARA LA CONEXIÓN A LA RED EN T.M. DE PUERTO-DE SANTA MARÍA (CÁDIZ) -  
PSFV EL LIMBO

Plano de  
Estudio Hidrológico

Escala  
1/2.500  
Fecha  
Marzo 2024

Número Hoja  
**Anejo 9** 1 de 1  
Referencia  
P13.1\_24