ANEJO Nº 10: BALSA DE REGULACIÓN

PROYECTO DE INFRAESTRUCTURAS DE ALMACENAMIENTO Y RED DE RIEGO DE LOS REGADÍOS TRADICIONALES DE MONTAÑA DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DE JERTE (CÁCERES).

JUNTA DE EXTREMADURA

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN

UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural

Financiado por la Unión Europea
NextGenerationEU

seiasa

Índice

Balsa de regulación: Infiernos

1 Introducción y objetivo 5
2 Justificación del Volumen Regulado 6
2.1 Cálculo de la evaporación 6
2.2 Llenado de la balsa 10
2.2.1 Llenado por precipitación 10
2.2.2 Llenado mediante la toma en el arroyo 11
2.3 Balance hídrico de la balsa 11
2.4 Volumen mínimo de almacenamiento 12
2.5 Características Geométricas 13
3 Cálculos hidráulicos 16
3.1 Órgano de llenado 16
3.1.1 Vertido sobre la lámina impermeable 17
3.2 Órgano de abastecimiento a red de riego 18
3.3 Órgano de vaciado 19
3.4 Órgano de alivio 20
3.5 Resguardo 23
3.5.1 Resguardo normal 23
3.5.2 Resguardo mínimo 24
3.5.3 Medidas a adoptar para el aseguramiento del resguardo 24
4 Diseño de accesos a la balsa 26
5 Cálculos mecánicos 29
5.1 Movimientos de tierras 29
5.1.1 Gestión de tierra vegetal 30
5.2 Camino de coronación 30
5.3 Impermeabilización 32
5.4 Red de drenaje para control de fugas 35
5.5 Arqueta de válvulas 38
6 Introducción y objetivo 42
7 Justificación del Volumen Regulado 43
7.1 Cálculo de la evaporación 43
7.2 Llenado de la balsa 47
7.2.1 Llenado por precipitación 47
7.2.2 Llenado mediante la toma en el arroyo 48

7.3 Balance hídrico de la balsa 48
7.4 Volumen mínimo de almacenamiento 49
7.5 Características Geométricas 50
8 Cálculos hidráulicos 53
8.1 Órgano de llenado 53
8.1.1 Vertido sobre la lámina impermeable 54
8.2 Órgano de abastecimiento a red de riego 55
8.3 Órgano de vaciado 56
8.4 Órgano de alivio 57
8.5 Resguardo 60
8.5.1 Resguardo normal 60
8.5.2 Resguardo mínimo 61
8.5.3 Medidas a adoptar para el aseguramiento del resguardo 61
9 Diseño de accesos a la balsa 62
10 Cálculos mecánicos 63
10.1 Movimientos de tierras 63
10.1.1 Gestión de tierra vegetal 65
10.2 Camino de coronación 65
10.3 Impermeabilización 67
10.4 Red de drenaje para control de fugas 70
10.5 Arqueta de válvulas 73

BALSA DE REGULACIÓN: INFIERNOS

1 Introducción y objetivo

Se diseña una balsa de materiales sueltos impermeabilizada, con una capacidad de almacenamiento a NMN de 60.214,18 m^3, para cuya ubicación se han tenido en cuenta aspectos como:

- Accesibilidad
- Limitación topográfica por pendientes
- Cota altimétrica
- Situación relativa respecto a las fuentes de suministro, red de transporte y distribución.
- Climatología
- Hidrogeología, geología y geotecnia
- Seguridad e impacto visual

El presente Anejo contiene la información correspondiente al diseño de la balsa proyectada, así como los correspondientes cálculos justificativos.

2 Justificación del Volumen Regulado

En este apartado se justifica el volumen regulado en la balsa de almacenamiento, que se determina en función de las necesidades agronómicas del sistema de regadío (calculadas en el Anejo nº3) y de las pérdidas por evaporación. Además, se calcula el caudal de llenado de la balsa.

Adicionalmente, se incluye un balance del volumen de la balsa para conocer la situación del nivel de agua en cada momento.

2.1 Cálculo de la evaporación

La construcción de la balsa se justifica por la necesidad de almacenamiento de agua para garantizar el suministro de riego de las 93,69 ha del Sector Infiernos, durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre. De acuerdo con la solicitud de concesión en tramitación en la Confederación Hidrológica del Tajo bajo número de expediente C-0216/2021, el volumen a almacenar asciende a 61.100 m^3/año.

Sin embargo, a efectos de control del volumen almacenado y de las necesidades hídricas, deberán considerarse las pérdidas por evaporación, que son causa de la radiación solar sobre la superficie de la balsa. En este apartado se hace una estimación del volumen que se pierde por evaporación.

La Estación Meteorológica de Valdastillas no recoge los datos de evaporación, por lo que se opta por recurrir al *Método del Balance de Energía*, cuya expresión es la siguiente:

$$E_r = \frac{R_N}{L_V \cdot \rho_w}$$

Siendo:

- R_N radiación neta en W/m^2
- L_v calor latente de vaporación en J/kg
- ρ_w densidad del agua, 997 kg/m^3

La **radiación neta** se obtiene directamente de la estación de Valdastillas:

	Radiación neta (MJ/m² y día)
Enero	3,27
Febrero	6,13
Marzo	8,83
Abril	12,10
Mayo	14,07
Junio	14,64
Julio	12,18
Agosto	9,46
Septiembre	5,82
Octubre	3,02
Noviembre	1,69
Diciembre	1,82

Tabla 1: Radiación neta

El **calor latente de evaporación** se calcula mediante la siguiente expresión:

$$L_v = 2500 - 2{,}36 \cdot T$$

Siendo T la temperatura media mensual en ºC.

Por tanto, el calor latente de evaporación es el reflejado en la siguiente tabla

	Temperatura (ºC)	Lv (kJ/kg)
Enero	7,54	2482,22
Febrero	9,25	2478,17
Marzo	11,44	2473,01
Abril	13,61	2467,88
Mayo	17,66	2458,32
Junio	21,99	2448,11
Julio	25,92	2438,82
Agosto	25,92	2438,82
Septiembre	21,50	2449,26
Octubre	16,62	2460,78
Noviembre	10,94	2474,19
Diciembre	8,32	2480,36

Tabla 2: Calor latente de evaporación mensual

Introduciendo estos valores en la fórmula del balance de energía, se obtiene la **tasa de evaporación**:

$$E_r = \frac{R_N}{L_V \cdot \rho_w}$$

	Radiación neta (MJ/m² y día)	Temperatura (ºC)	Lv (kJ/kg)	Er (mm/día)
Enero	3,27	7,54	2482,22	1,32
Febrero	6,13	9,25	2478,17	2,48
Marzo	8,83	11,44	2473,01	3,58
Abril	12,10	13,61	2467,88	4,91
Mayo	14,07	17,66	2458,32	5,73
Junio	14,64	21,99	2448,11	5,99
Julio	12,18	25,92	2438,82	5,00
Agosto	9,46	25,92	2438,82	3,89
Septiembre	5,82	21,50	2449,26	2,38
Octubre	3,02	16,62	2460,78	1,23
Noviembre	1,69	10,94	2474,19	0,68
Diciembre	1,82	8,32	2480,36	0,74

Tabla 3: Obtención de la Tasa de Evaporación Er (mm(dia)

El volumen evaporado es función de la superficie de la lámina de agua en cada instante, lo que resulta en un procedimiento iterativo y no lineal. Para su cálculo, se toma la superficie de la lámina de agua al final de cada mes resultado del balance entre entradas y salidas y se aplica el respectivo valor de tasa de evaporación Er.

Teniendo en cuenta que la superficie de la balsa a Nivel Máximo Normal es de 12.688,64 m², la **evaporación potencial** es:

	Evaporación (m³/mes)
Enero	519,22
Febrero	880,59
Marzo	1407,28
Abril	1870,11
Mayo	2255,81
Junio	2280,95
Julio	1968,40
Agosto	1528,82
Septiembre	906,35

Octubre	483,70
Noviembre	260,53
Diciembre	289,20
ANUAL	**14650,97**

Tabla 4: Evaporación potencial

Al obtenerse estos valores en función de la superficie de embalse a Nivel Máximo Normal, para determinar la evaporación real habría que tener en cuenta el nivel de agua en cada instante

La **evaporación efectiva** se obtiene, de forma simplificada, considerando la superficie de agua en el embalse en cada momento, en función de las entradas (octubre-mayo) y salidas (junio-septiembre) de agua previstas:

	Evaporación efectiva (m^3/mes)
Enero	415,46
Febrero	767,49
Marzo	1326,91
Abril	1883,72
Mayo	2193,47
Junio	1637,28
Julio	1233,60
Agosto	842,69
Septiembre	484,29
Octubre	266,69
Noviembre	165,74
Diciembre	208,30
ANUAL	**11.425,66**

Tabla 5: Evaporación efectiva

2.2 Llenado de la balsa

La balsa se llenará por dos vías:

- Agua captada de la precipitación.
- Agua captada desde la toma del Arroyo Innominado, afluente de la Garganta de los Tres Cerros.

2.2.1 Llenado por precipitación

La precipitación media mensual registrada en la estación meteorológica de Valdastillas obtenida a partir de la serie histórica comprendida entre los años 2006 y 2023 es la siguiente:

	Precipitación (mm)
Octubre	143,03
Noviembre	155,42
Diciembre	134,84
Enero	116,51
Febrero	126,63
Marzo	112,09
Abril	114,16
Mayo	60,50
Junio	22,98
Julio	8,95
Agosto	9,47
Septiembre	55,45

Tabla 6: Precipitación media mensual

Teniendo en cuenta que la superficie de la balsa a Altura de Muro es de 14.301,21 m^2, el volumen mensual caído sobre la balsa es:

	m^3/mes
Octubre	2045,48
Noviembre	2222,75
Diciembre	1928,41
Enero	1666,27
Febrero	1811,00
Marzo	1603,01
Abril	1632,64
Mayo	865,25
Junio	328,58
Julio	127,93
Agosto	135,48
Septiembre	792,98

15.159,77

Tabla 7: Volumen mensual de lluvia caído sobre la balsa

2.2.2 Llenado mediante la toma en el arroyo

La balsa también se llenará desde un Arroyo Innominado, afluente de la Garganta de los Tres Cerros situada en las coordenadas:

X	Y	Cota
268.982	4.453.868	998,46 msnm

Tabla 8: Coordenadas de la toma

Y cuya sección transversal se encuentra reflejada en el Plano Nº 5.2 Obra de Captación.

El volumen captado del cauce será 61.100 m^3 entre los meses de octubre y mayo (243 días), lo que corresponde con un caudal 2,91 l/s. El llenado desde la toma se hará de forma continua durante las 24 horas del día y se regulará el caudal mediante válvula limitadora de caudal.

Volumen (m^3)	Entradas desde el Arroyo (m3)
Octubre	7794,65
Noviembre	7543,21
Diciembre	7794,65
Enero	7794,65
Febrero	7040,33
Marzo	7794,65
Abril	7543,21
Mayo	7794,65
Junio	0,00
Julio	0,00
Agosto	0,00
Septiembre	0,00
TOTAL	**61.100,00**

Tabla 9: Volumen de entrada desde el Arroyo

2.3 Balance hídrico de la balsa

Con los condicionantes anteriores y teniendo en cuenta las dotaciones de riego calculadas en el Anejo nº3, se obtiene el siguiente balance hídrico de la balsa:

Volumen (m^3)	Entradas		Salidas			Balance mensual	Acumulado
	Precip.	Captac.	Riego	Otros usos	Evaporación efectiva		
Octubre	2045,48	7794,65	0,00	2,86	266,69	9570,57	9570,57
Noviembre	2222,75	7543,21	0,00	2,86	165,74	9597,36	19167,94
Diciembre	1928,41	7794,65	0,00	2,86	208,30	9511,90	28679,84
Enero	1666,27	7794,65	0,00	2,86	415,46	9042,59	37722,43
Febrero	1811,00	7040,33	0,00	2,86	767,49	8080,98	45803,41
Marzo	1603,01	7794,65	0,00	2,86	1326,91	8067,89	53871,30
Abril	1632,64	7543,21	0,00	2,86	1883,72	7289,26	61160,57
Mayo	865,25	7794,65	10412,45	2,86	2193,47	-3948,88	57211,69
Junio	328,58	0,00	27490,94	2,86	1637,28	-28802,50	28409,19
Julio	127,93	0,00	9206,50	2,86	1233,60	-10315,03	18094,16
Agosto	135,48	0,00	7827,12	2,86	842,69	-8537,19	9556,97
Septiembre	792,98	0,00	2215,30	2,86	484,29	-1909,48	7647,49
TOTAL	**15.159,77**	**61.100,00**	**57152,30**	**34,31**	**11.425,66**	**7647,49**	

Tabla 10: Balance hídrico de la balsa

2.4 Volumen mínimo de almacenamiento

Con los datos ya expuestos, y adoptando una superficie de embalse con la forma más regular posible, se determinan las dimensiones de la balsa para garantizar el volumen necesario, obtenido mediante la herramienta de diseño Auto CAD Civil3D. Comprobando posteriormente que la capacidad correspondiente al volumen de diseño es mayor que la mínima necesaria.

TABLA DE ALMACENAMIENTO DE FASES A COTA NMN

ELEV	ÁREA m2	PROFUNDIDAD (m)	FINAL MEDIO VOL. TOTAL (m3)
910,75	5.571,87	N/A	0.00
917,45	12.688,64	6,7	60.214,18

TABLA DE ALMACENAMIENTO DE FASES A COTA DE NME

ELEV	ÁREA m2	PROFUNDIDAD (m)	FINAL MEDIO VOL. TOTAL (m3)
910,75	5.571,87	N/A	0.00
917,62	12.891,25	6,87	62.375,44

El volumen de regulación es suficiente para abastecer a la zona regable con garantía, independientemente de la estrategia de llenado de la balsa, ya que ésta se ha realizado con la suficiente holgura. Igualmente, la obra de toma de entrada a la balsa se ha previsto con un margen de capacidad suficiente para adaptarse a los posibles cambios de explotación o posibles fluctuaciones de caudal debido a cortes bruscos por falsas maniobras.

2.5 Características Geométricas

Para el dimensionamiento y características de la balsa proyectada, se han tenido en cuenta:

- Cartografía obtenida del Instituto Geográfico Nacional.
- Modelos digitales del terreno.
- Planos Catastrales: Parcelario del Término Municipal de Jerte en formato dxf.

SITUACIÓN	
Río y cuenca	Garganta de los tres cerros, afluente de la Garganta del Infierno por su margen derecha
Término municipal	Jerte, Cáceres.
Coordenadas UTM ETRS 89 30 NORTE	X: 266.116 / Y: 4.454.207
CUERPO DE BALSA	
Tipología	De materiales sueltos, impermeabilizada con geomembrana PEAD 1,5 mm
Planta	Ovalada irregular, adaptada al terreno
Perímetro de coronación exterior (m)	524,45
Perímetro de coronación interior (m)	499,31
Perímetro de fondo (m)	373,44
Altura máxima del vaso (m)	8
Ancho de coronación (m)	4
Cota mínima inferior del vaso (m)	910,75
Cota de coronación (m)	918,75
Cota N.M.N. (m)	917,45
Resguardo normal (m)	1,6
Resguardo mínimo (m)	1,43

Cota pie exterior Talud de cierre (m)	913,00
Altura de la balsa (m)	12
Talud interior	2,5:1
Talud exterior terraplén	2:1
Talud exterior desmonte	2:1

ÓRGANO DE LLENADO	
Tubería entrada a balsa (Pico de flauta)	Fundición Sección Circular Ø 80
ÓRGANO DE ABASTECIMIENTO A RED DE RIEGO	
Colector de acero	406,40
ÓRGANO DE VACIADO	
Diámetro (mm)/ Nº conductos (Ud.)	630/1
Cierre aguas arriba	Válvula de compuerta con reguladora de Caudal
Accionamiento.	Manual
Caudal Max. de desagüe (m^3/s)	0,465
Tiempo de vaciado (horas)	36
ÓRGANO DE ALIVIO	
Tipología.	Sección Circular Ø 600 mm
Situación	Situado en el sur de la balsa
Caudal máximo de Alivio (l/s)	43,08
AUSCULTACIÓN	
Colector dren (mm) / Disposición	4 colectores principales de Ø90 y Ø110 /Espina de Pez
Toma de Fondo (mm)	400
CARACTERISTICAS DEL EMBALSE	
Área ocupada (m^2)	22.630,56
Superficie NME (m^2)	12.891,25
Superficie NMN (m^2)	12.688,64
Superficie Fondo (m^2)	5.571,87
Volumen NME (m^3)	62.375,44
Volumen NMN (m^3)	60.214,18
MOVIMIENTOS DE TIERRA	
Desmonte (m^3)	39.694,91
Terraplén (m^3)	39.365,95
Tierra vegetal (m^3)	11.315,28
Volumen Neto (m^3)	328,96

3 Cálculos hidráulicos

3.1 Órgano de llenado

La balsa se llenará por gravedad, mediante la toma situada en el arroyo innominado afluente de la Garganta de los Tres Cerros, con un caudal de aportación total de 2,91 l/s.

CARACTERÍSTICAS DE LA CAPTACIÓN-TOMA	
Procedencia del agua	Arroyo Innominado
Tipo de captación	Toma directa mediante arqueta lateral
Días de Detracción	243 días
Caudal máximo instantáneo l/s	2,91
Potencia instalada C.V.	Sin mecanismos de extracción. Gravedad.
Término Municipal	Jerte (Cáceres)
Coordenadas U.T.M. ETRS89; (X,Y)	268.982/ 4453.868/ HUSO: 30
Cota del canal de captación	998,46
Cota mínima prevista del agua en el cauce	998,66
Cota de la tubería de llenado en su origen	998,26
Cota de vertido de la tubería	917,45

Para el caudal máximo instantáneo indicado se proyecta una arqueta de regulación de la que parte el colector de llenado a la balsa, diseñado en polietileno de alta densidad PE-100 DN-75 PN-10 (diámetro interior 66 mm), y una longitud total de 3.503,38 metros.

Se remite al anejo n9 Obra de Toma, para consultar de forma completa las características de la obra de toma, arqueta de regulación y tubería de llenado de la balsa.

Llegada a la balsa, dicha conducción cuenta con una arqueta de llenado, en la cual se sitúan los elementos de control y protección para el llenado de la balsa.

A la salida de dicha arqueta, la conducción continuará su recorrido a la balsa entrando en el cuerpo de dique de la misma cambiando su material a fundición con DN 80 mm.

3.1.1 Vertido sobre la lámina impermeable

De acuerdo con el "Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas", la obra de entrada de agua a la balsa se diseña de tal modo que el agua no produzca desperfectos en la balsa para ningún valor del caudal previsto. En base a esta premisa, los dos aspectos fundamentales a tener en cuenta para la adopción del dispositivo de entrada de agua son el tipo de impermeabilización de la balsa y el valor del caudal de entrada.

Al tratarse de una balsa impermeabilizada con geomembrana y un caudal de aportación pequeño, la entrada se proyecta por coronación mediante vertido directo sobre la geomembrana mediante tubería en pico de flauta, lo que permite obviar la ejecución de obras como canales de hormigón y cuenco amortiguador.

Este sistema consiste en la entrada de agua por vertido directo sobre la propia geomembrana, para lo cual se hace previamente un pequeño cajeado del talud interior de la balsa y se protege éste en la zona de vertido (en una anchura superior a medio metro, por cada lado, a la ocupada por la lámina de agua en su descenso) mediante una doble lámina, es decir, colocando un babero, que es una segunda geomembrana cuya misión es exclusivamente protectora y no impermeabilizante. En el babero se deberán dejar los oportunos orificios en la zona de fondo para la salida de agua en el desembalse y en coronación, para la salida de aire durante el llenado.

La entrada de agua se realiza por debajo de la rasante de coronación a una distancia que en el caso de que la balsa se encuentre llena, evitar que el agua rebose por la coronación y salga hacia el exterior a través del sistema de entrada, y, en cualquier caso, siempre por encima de la cota del umbral del aliviadero.

Se diseña de tal forma que el agua no impacte bruscamente sobre la lámina ni despegue de la misma. Una disposición muy utilizada en este caso es finalizar la tubería con forma de pico de flauta para adaptarla a la inclinación del talud.

Detalle incluido en Plano Nº 6.6 Obra de entrada: sección y detalle.

3.2 Órgano de abastecimiento a red de riego

La obra de toma para red de riego se diseña mediante un colector de 400 mm de PEAD, en base a los caudales de riego que se justifican en el Anejo nº 8 Red de Riego.

Se ejecuta una arqueta de fondo de dimensiones 1,40m x1,80m, mediante un vaso de entrada enterrado 1,70 m por debajo de la cota del fondo de la balsa (910,75 m). La arqueta es compartida con la tubería del desagüe de fondo. Ambas conducciones son de acero, de 406 mm para la de abastecimiento y 610 mm para el desagüe de fondo, y están recubiertas cada una por una tubería de hormigón a modo de camisa de 800 mm hasta la salida del dique, y su conexión con la arqueta de llaves exterior o arqueta de salida a la cota (909,41 m). A partir de esta arqueta ambas conducciones se ejecutarán en PEAD.

ARQUETA DE SALIDA

DISPOSITIVO	FUNCIÓN	CANTIDAD	CONDUCCIÓN
Ventosa	Purga, admisión y expulsión de aire	1 Ud.	RIEGO
Válvula de corte	Corte de suministro en caso de rotura de la conducción	1 Ud.	RIEGO
Piloto de paletas	Detección de aumento velocidad de circulación para limitación de caudal	1 Ud.	RIEGO
Traductor de Presión	Lectura de presión	1 Ud.	RIEGO
Sistema de medición de caudal	Mide el gasto volumétrico a efectos de la control de la concesión	1 Ud.	RIEGO
Filtro cazapiedras	Evita la obstrucción de la red causada por elementos suspendidos en el agua	1 Ud.	RIEGO
Piloto de paletas	Detección de aumento velocidad de circulación para limitación de caudal	1 Ud.	DESAGÜE
Válvula de corte	Corte de suministro en caso de rotura de la conducción	1 Ud.	DESAGÜE
Ventosa	Purga, admisión y expulsión de aire	1 Ud.	DESAGÜE

3.3 Órgano de vaciado

El dimensionamiento del desagüe de fondo está condicionado por sus funciones:

- Conseguir el vaciado de la balsa en situación normal en un tiempo prudencial que permita, en caso necesario, poder proceder sin mucha demora a su inspección, mantenimiento y trabajos de reparación. Se procura un vaciado de 36 horas.
- Permitir un vaciado rápido de la balsa en situación de emergencia.
- Velocidad máxima de vertido de 4 m/s.
- Caudal máximo de vertido no superior al 10% de los caudales naturales en el punto de vertido.

Aproximadamente a la mitad del recorrido, la conducción de desagüe contará con una arqueta de rotura de carga que permita limitar la presión en la tubería así como disipar el exceso energético para garantizar un vertido controlado a cauce.

El desagüe se realiza desde una arqueta de fondo con una tubería de acero de DN 610 mm, que conectará con una tubería de PE100 DN 630 PN16 que evacuará el agua de la balsa al cauce de la Garganta de los infiernos (X: 266.365,12 / Y: 4.453.577,95), a una distancia aproximada de 1.363,47 m y con cota de 716 m.

De la tubería de vaciado se obtiene la siguiente tabla:

VELOCIDAD m/s	DN mm	e mm	DI mm	Q L/s	VOLUMEN m³	T VACIADO h
2,23	630,00	57,20	515,60	465	60.214,18	36

Tabla 11: Tiempo de vaciado de la balsa

De acuerdo con los cálculos realizados, el tiempo máximo de evacuación total para la balsa es inferior a 2 días.

Asimismo, el desagüe de la balsa se realiza desde una arqueta de fondo con una tubería de acero DN 610 mm, recubierta con una tubería de hormigón de 800 mm a modo de camisa hasta la salida del dique, que conecta con la arqueta de válvulas compartida con la conducción para riego, desde la cual se evacúa el agua, con tubería de PE100 Ø 630 mm -PN16, al punto de vertido.

3.4 Órgano de alivio

La balsa dispondrá de un aliviadero para evitar el riesgo de desbordamientos, evacuando los caudales sobrantes hacía la Garganta de los Infiernos a través de la conducción empleada para desagüe de fondo.

Punto de Vertido	Balsa
Cauce de vertido	Garganta de los Infiernos
Coordenadas UTM ETRS 89 30 NORTE	266.365/4.453.578
Cota	716

Su diseño responde a dos necesidades:

- Evacuar una lluvia intensa con la balsa llena.
- Evacuar el máximo caudal que pueda aportar la toma de entrada.

Se proyecta un aliviadero mediante un colector de sección circular y acero helicoidal, que atraviesa la coronación de la balsa y desemboca en una T que conecta con la tubería de desagüe. Su elección, frente a otros ejecutados con marco y canal, se debe a la distancia a la que se encuentra la desembocadura, que obligaría a la ejecución de un canal excesivamente largo, siendo la solución adoptada más económica y con menor impacto visual, ya que la canalización irá enterrada.

Para su dimensionamiento, se sigue lo incluido en el "Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas". Se diseña a la cota de N.M.N. con una sección capaz de aliviar el caudal de la hipótesis pésima. Esta hipótesis considera el caudal máximo que se podría producir en el caso de coincidencia de la precipitación máxima previsible para un período de retorno de 500 años (balsa llena y un fallo de parada en el sistema de vaciado de la balsa).

La tubería del aliviadero deberá ser capaz de evacuar un caudal superior al máximo esperado:

$$Q_T \leq Q_{alivio}$$

Los cálculos llevados a cabo para el dimensionado del aliviadero son:

1. **Cálculo del caudal máximo esperado, Q_T**

El caudal máximo esperado a desaguar por la tubería será $Q_T = Q_1 + Q_2$, que corresponde a la suma del caudal previsto de entrada en el vaso de la balsa (Q_1) y el caudal de máxima lluvia sobre la superficie de la balsa (Q_2).

El caudal de entrada máximo Q_1 es 2,91 l/s, procedente de la toma del arroyo innominado afluente de la Garganta de los Tres Cerros y ya justificado en apartados anteriores.

El caudal Q_2 es el caudal de máxima lluvia sobre la superficie de la balsa. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q_2 = A \times Pd_{500}$$

Pd_{500} corresponde a la precipitación diaria máxima para un periodo de retorno de 500 años. Se ha obtenido en el Anejo nº3 *Estudio Agronómico*, y su valor es de 268 mm/día.

Se supone que toda la precipitación máxima diaria se obtiene en una tormenta de 24 horas de duración, por lo tanto, el caudal de lluvia vendría dado por:

$$Q_2 = A \times Pd_{500}$$

$$Q_2 = 14.301{,}21\ m^2 x \frac{268\ mm}{día} x \frac{1\ día}{86.400\ s} x \frac{\frac{1l}{m^2}}{1mm}$$

$$Q_2 = 44{,}36\ \text{l/s}$$

El caudal total, Q_T, caudal máximo a desaguar en situación de avenida extrema, será el caudal entrante de la tubería de llenado de la balsa más el caudal proveniente de la situación de máxima lluvia sobre la balsa:

$$Q_T = 2{,}91 + 44{,}36 = 47{,}27\ \text{l/s}$$

2. **Cálculo del caudal del aliviadero, Q_{alivio}**

Según el "Manual para el Diseño, Construcción, Explotación y Mantenimiento de Balsas", el diámetro mínimo de la tubería de alivio no será inferior a 600 mm, independientemente de

los caudales de cálculo obtenidos, de forma que se eviten taponamientos y subidas de nivel del embalse. Se establece como diámetro el mínimo de 600mm aceptado por el Manual y se comprueba si cumple, es decir, si es capaz de evacuar el caudal máximo esperado, QT.

El vertido de agua a través de un aliviadero constituido por una conducción circular se corresponde con la expresión de vertedero circular.

$$Q = \emptyset * \mu * D^{5/2}$$

Donde:

- D = Diámetro (dm)
- Q = Caudal de alivio (por determinar) (l/s)
- H = Altura de la lámina de agua sobre el labio (dm)
- Ø = Coeficiente obtenido en función de la relación h/d o mediante la expresión de Ramponi:

$$\emptyset = 10{,}12 * (H/D)^{1{,}975} - 2{,}66 * (H/D)^{3{,}78}$$

- μ = Coeficiente de gasto. Se obtiene a partir de la siguiente e expresión

$$\mu = 0{,}555 + (D/110 * H) + 0{,}041 * (H/D)$$

Sustituyendo los datos anteriores, se obtiene el valor de caudal evacuado por el aliviadero:

TUBERIA ACERO HELICOIDAL BAJO CORONACIÓN					
Ø interior (mm)	***Φ***	***μ***	**h (dm)**	**h/D**	**Q (l/s)**
600	0,813	0,66	1,69	0,28	47,27

Se comprueba que el caudal que es capaz de evacuar la tubería del aliviadero es igual que el máximo caudal esperado, obteniéndose este tan solo con 16,9 cm de elevación sobre el NMN.

Dimensionamiento de la tubería de alivio:

El alivio de la balsa se realiza para el caudal máximo previsto en situación de funcionamiento anómalo y un periodo de retorno de 500 años, mediante tubería de sección circular DN 600 mm, fijado bajo coronación en acero helicosoldado. Una vez fuera del dique de la balsa, la tubería podrá ejecutarse en fundición DN600 hasta su conexión con la tubería del desagüe de fondo mediante una pieza en Y. Esta conexión debe realizarse aguas debajo de la válvula de corte del desagüe de fondo.

3.5 Resguardo

El resguardo de la balsa permite su explotación bajo condiciones de seguridad. Para su comprobación y dimensionamiento seguiremos lo dispuesto en el "Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas". en su punto 6.2.3.4. se define el resguardo como diferencia entre el nivel de agua de la balsa en una situación concreta y la coronación del dique de cierre de la balsa. Se estudian dos situaciones de la balsa:

3.5.1 Resguardo normal

El resguardo normal es el relativo al NMN o al máximo nivel que puede alcanzar el agua en un nivel normal de explotación. Para su comprobación se establece que debe ser igual o superior a la diferencia entre el nivel máximo extraordinario (NME) y el nivel máximo normal (NMN) más 1,5 veces la altura de la máxima ola posible originada por acción del viento:

$$R_N = Z_{cor} - NMN \geq r_1 + 1{,}5 \cdot r_2$$

Donde:

- r_1: sobreelevación correspondiente al caudal de cálculo del aliviadero

$$r_1 = NME - MNM = 917{,}62\text{-}917{,}45 = 0{,}17 \text{ m}$$

- r_2: sobreelevación correspondiente al oleaje máximo

$$r_2\,(m) = 1{,}2 \cdot \sqrt[4]{F(km)}$$

Donde:

- h = altura de ola (m)

- F = Fetch, máxima distancia libre de lámina de agua (km) = 0,2 km

- $r_2\ (m) = 1{,}2 \cdot \sqrt[4]{0.2(km)} = 0{,}8$ m

Por lo tanto, el Resguardo Normal sería:

$$R_N = r_1 + 1{,}5 \cdot r_2 = 0{,}17 + 1{,}5 \cdot 0{,}8 = 1{,}37 \text{ m}$$

Y su comprobación:

$$R_N = Z_{cor} - NMN \geq r_1 + 1{,}5 \cdot r_2 \rightarrow 918{,}75 - 917{,}45 = 1{,}30 \geq 1{,}37 \rightarrow \underline{\text{No cumple}}$$

3.5.2 Resguardo mínimo

El Manual indica también que el resguardo mínimo es el relativo a Nivel Máximo Extraordinario (NME) o nivel correspondiente al caudal de cálculo del aliviadero. Este resguardo deberá ser igual o superior a la sobreelevacción correspondiente al oleaje máximo (r_2).

$$R_{mín} = Z_{cor} - NME \geq 1{,}5 \cdot r_2$$

Por lo tanto, el Resguardo Mínimo sería:

$$R_{mín} = 1{,}5 \cdot r_2 = 1{,}5 \cdot 0{,}8 = 1{,}2 \text{ m}$$

Y su comprobación:

$$R_{mín} = Z_{cor} - NME \geq 1{,}5 \cdot r_2 \rightarrow 918{,}75 - 917{,}62 = 1{,}13 \geq 1{,}2 \rightarrow \underline{\text{No cumple}}$$

3.5.3 Medidas a adoptar para el aseguramiento del resguardo

Del estudio anterior se deduce que las características y dimensiones de la balsa no son suficientes como para alcanzar el resguardo normal y mínimo necesario y, por tanto, mantener las condiciones de seguridad de la balsa a NMN y NME.

Como alternativa para alcanzar la cota de resguardo, en ocasiones se añade sobre la coronación de la balsa una barrera o murete de contención de agua que resista los empujes

del oleaje. En esos casos, en el Manual se indica que puede contabilizarse la mitad de su altura para la comprobación del resguardo mínimo.

Se propone entonces la instalación de un murete perimetral de 60 cm de altura, de modo que, a efectos de comprobación de resguardo, se contabilicen 30 cm (r_{murete} = 0,3m)

La comprobación de cada caso sería la siguiente:

1. Resguardo normal

$R_N = Z_{cor} + r_{murete} - NMN \geq r_1 + 1{,}5 \cdot r_2 \rightarrow 918{,}75 + 0{,}3 - 917{,}45 = 1{,}6 \geq 1{,}37 \rightarrow$ **Cumple**

2. Resguardo mínimo

$R_{mín} = Z_{cor} + r_{murete} - NME \geq 1{,}5 \cdot r_2 \rightarrow 918{,}75 + 0{,}3 - 917{,}62 = 1{,}43 \geq 1{,}2 \rightarrow$ **Cumple**

4 Diseño de accesos a la balsa

El acceso a la balsa se encuentra reflejado en el plano 6.1 Este acceso se realiza partiendo desde el municipio de Jerte a través de un camino rural denominado Camino de Jarandilla, que puede efectuarse cómodamente en coche.



Figura 1: Camino de acceso a la balsa



Figura 2: Fotografía en Camino de la Jarandilla.



Figura 3: Fotografía en Camino de la Jarandilla.

Se trata de un camino de aproximadamente 3,50 km de longitud con pavimento de hormigón. El ancho del camino es aproximadamente de 3 m.



Figura 4: Fotografía en ubicación de la balsa proyectada.

5 Cálculos mecánicos

5.1 Movimientos de tierras

El cálculo de los volúmenes de tierra, propios de la actuación, se ha realizado mediante la herramienta de diseño y cálculo AutoCAD Civil3D. Adoptando taludes tanto en desmonte como en terraplén 2,5H:V interior y 2H:1V exterior justificados en el anejo Nº6. Estudio Geotécnico.

Se muestra el resumen de movimiento de tierras a realizar:

Alineación: Balsa Infiernos
Grupo de líneas de muestreo: Muestreo Balsa
P.K. inicial: 0+00.000
P.K. final: 0+232,92

P.K.	Área desmonte (m^2)	Vol. desmonte (m^3)	Vol. reutilizable (m^3)	Área terraplén (m^2)	Vol. terraplén (m^3)	Vol. desmonte acumul. (m^3)	Vol. reutilizable acumul. (m^3)	Vol. terraplén acumul. (m^3)
0+00.000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0+20.000	36,10	361,01	361,01	279,65	2796,54	361,01	361,01	2796,54
0+40.000	106,78	1428,83	1428,83	192,82	4724,78	1789,84	1789,84	7521,32
0+60.000	219,88	3266,63	3266,63	195,34	3881,68	5056,47	5056,47	11403,01
0+80.000	273,65	4935,33	4935,33	192,82	3881,68	9991,80	9991,80	15284,69
1+00.000	321,44	5950,93	5950,93	181,18	3740,08	15942,73	15942,73	19024,77
1+20.000	349,71	6711,53	6711,53	182,39	3635,78	22654,25	22654,25	22660,56
1+40.000	382,64	7323,53	7323,53	175,73	3581,28	29977,78	29977,78	26241,84
1+60.000	336,67	7193,13	7193,13	177,50	3532,38	37170,91	37170,91	29774,22
1+80.000	249,34	5860,13	5860,13	190,85	3683,58	43031,04	43031,04	33457,81
2+00.000	215,30	4646,43	4646,43	151,58	3424,38	47677,47	47677,47	36882,19
2+20.000	71,67	2869,73	2869,73	58,80	2103,88	50547,19	50547,19	38986,07
2+32.920	0,00	463,00	463,00	0,00	379,87	51010,19	51010,19	39365,95

El material extraído de los desmontes se utilizará para la ejecución de los terraplenes, compactándose posteriormente hasta un 100% de la densidad del Proctor Modificado.

El volumen de tierras sobrante se empleará para:

- Revegetación de taludes.

5.1.1 Gestión de tierra vegetal

La tierra vegetal se reutilizará para la revegetación de taludes exteriores de la balsa.

Volumen tierra vegetal (m^3)	11.315,28
Profundidad tierra vegetal (m)	0,50
Tierra vegetal utilizada en taludes (m^3)	11.315,28

5.2 Camino de coronación

A la espera de la aprobación de la futura *Norma Técnica de Seguridad para el Proyecto, Construcción y Primer llenado de Balsas*, el diseño del camino de coronación de la balsa se ha realizado bajo criterios ingenieriles, teniendo en cuenta sus características de explotación y seguridad y basándose en balsas de la zona, con similares características.

Se ha considerado una anchura de 4 m, de modo que todos los elementos considerados queden incluidos dentro de la sección. Esta anchura es la considerada en los cálculos de estabilidad de la balsa, cuya comprobación se incluye en el anejo nº 6 Estudio Geotécnico y que ofrece como resultados coeficientes de seguridad favorables frente al vuelco y deslizamiento.

La sección de la coronación del dique se compone de los siguientes elementos:

- Camino de rodadura: compuesto únicamente por una capa de zahorra artificial de 0,20 m de espesor, dado el tráfico de tipo ocasional que soportará y que será debido a las labores de conservación y mantenimiento de la balsa. Su anchura será de 4 m.
- Elemento de anclaje del sistema de impermeabilización de la balsa: compuesto por una zanja perimetral sobre cuyos lados se extienden las capas de impermeabilización y que se rellena posteriormente con hormigón no estructural. Cumpliendo con el Manual, su sección tendrá unas dimensiones de 0,40m x 0,40 m y estará alejado del extremo del dique de coronación una longitud de 0,50 m.

- Murete perimetral: construido con la doble finalidad de asegurar el resguardo mínimo de la balsa y servir como soporte del sistema de vallado de seguridad. Está compuesto por un muro de hormigón armado de dimensiones 0,40m x 0,60 m (sección transversal).
- Cerramiento: ubicado sobre el murete perimetral, sus postes se anclarán en el interior del mismo.

5.3 Impermeabilización

Las alternativas en cuanto a materiales de impermeabilización son las siguientes:

TIPO DE MATERIAL	ESPESOR (mm)	RESISTENCIA A ROTURA (kg/cm^2)	RESISTENCIA A RADIACIÓN SOLAR
Caucho butílico	1 – 2	185	Alta
P.E.B.D	0,25	100	Baja
P.E.A.D	1 – 2	160	Alta
P.V.C	1 – 2	150	Alta

Siguiendo la práctica que se viene utilizando en cuanto a la impermeabilización de la balsa existentes en la zona, de características similares a la balsa en estudio, se opta por la colocación en el paramento aguas arriba de una geomembrana PEAD de espesor =1,5 mm, que presenta una alta resistencia a la radiación solar y ligereza

La lámina de PEAD se asentará sobre una capa geotextil fabricado a base de fibras sintéticas de polipropileno 100%, no tejido, de filamentos continuos unidos mecánicamente por un proceso de agujado, de resistencia a perforación CBR no menor de 2850 N (norma UNE-EN 12236), de perforación a caída libre de cono no mayor de 20 mm. (Norma EN 918), y peso no inferior a 400 gr/m2. con el fin de evitar roturas y dar mayor resistencia mecánica al conjunto impermeabilizante.

La construcción de este tipo de dispositivos es rápida y sencilla, ya que no plantea problemas derivados del uso de grava y arena para cubrir las láminas.

Otras características importantes del PEAD son:

- Comercialización en rollos de 2 metros de ancho y longitud variable.
- Alargamiento en rotura superior al 700%.
- Variación de pasa por envejecimiento menor del 1%.
- Variación de alargamiento por envejecimiento térmico menor del 3%.
- Absorción de agua a 24 horas menor del 0,22 %.
- Absorción de agua a 6 días menor del 1 %.
- Extracción de agua a 24 horas menor del 0,2 %.
- Extracción de agua a 6 días menor del 0,3 %.

La naturaleza termoplástica del material hace recomendable su colocación en horas de no excesivo calor.

Como principal inconveniente, está el paulatino endurecimiento y fragilización de la membrana, con el consiguiente riesgo de rotura por impacto.

Esta capa impermeable deberá ser colocada en toda la superficie interior de la balsa. A este valor hay que sumar la superficie de lámina utilizada en coronación, considerando un metro de lámina a lo largo de toda la zanja perimetral, más un incremento de lámina utilizada en la solapación.

Para proteger la geomembrana contra el punzonamiento y la abrasión, tanto durante la instalación como después de completada, se situará un geotextil de forma adyacente a la geomembrana en toda la superficie. La superficie total de geotextil utilizado en la balsa será la misma que la de la geomembrana.

La lámina impermeable estará anclada en coronación y en el fondo de la balsa. También se ancla verticalmente cada cierta distancia. El anclaje de la lámina en coronación se efectuará mediante zanja rellena con material seleccionado compactado al 95% del Proctor Modificado y zuncho perimetral de hormigón prefabricado.

Las juntas se unirán mediante soldadura.

En la siguiente tabla se muestra la superficie de lámina a utilizar.

Superficie de Impermeabilización	**Geomembrana PEAD 1,5 mm (m^2) – Sobre fondo**	**Geomembrana PEAD 1,5 mm (m^2) – Bajo dren**	**Geotextil 400gr/m2 (m^2)**	**Anclajes/Lastra(m)**
Fondo del vaso	5.571,87	6.394,96	5.571,87	Lastre perimetral en fondo de balsa con bordillo.
Talud interior	10.086,70	0	10.086,70	
Coronación	848,83	0	848,83	
Superficie Total a Impermeabilizar	16.507,40	6.394,96	16.507,40	

5.4 Red de drenaje para control de fugas

Aun habiendo dispuesto un sistema de impermeabilización para la balsa, se estudian todas las posibilidades de paso del agua a través de ella, tanto en la filtración normal como en posibles defectos y averías, y se proyectan las disposiciones necesarias para que la evacuación de estas filtraciones se haga con el menor peligro para la estabilidad del dique. Además, permitirá rebajar el nivel freático en las proximidades de la balsa.

Por lo tanto, el sistema de drenaje bajo la lámina tendrá una doble finalidad:

- Detectar posibles fugas en la lámina impermeabilizante
- Evitar posibles subpresiones de aguas bajo la lámina, cuando la balsa se encuentre vacía.

Partiendo de la superficie del vaso se sectoriza este en cuatro sectores, dos para los taludes interiores y dos para el fondo del vaso.

Sector Drenaje	**Dren**	**Superficie Drenada m²**
Sector 1	Dren Perimetral 1	4.068,43
Sector 2	Fondo norte	2.524,69
Sector 3	Fondo sur	2.677,69
Sector 4	Dren Perimetral 2	4.660,58

Cada sector estará separado mediante un pequeño cordón de hormigón, de manera que cualquier filtración que se produzca en su interior termine en el conducto ranurado independiente. En el caso del sector en talud, el conducto ranurado se sitúa en la intersección del talud con la solera. Y para el caso de los sectores de fondo de la balsa, se usa la espina de pez que termina en un conducto totalizador, también ranurado. Todos los conductos, como sectores existan, terminan en el punto más bajo del fondo de la balsa, a partir del cual se sacan, bien numerados al exterior.

Según El "Manual de Diseño, Construcción, Explotación y Mantenimiento de Balsas, del CEDEX, para el Comité Nacional de Grandes Presas, para diseñar la red de drenaje es preciso determinar el máximo caudal que circulará por ella, el cual, obviamente, será función de la entidad de las filtraciones que se produzcan en la balsa y si ésta está impermeabilizada por geomembrana, de las que tengan lugar a través de esta última.

En cualquier caso, un criterio simplista consiste en dimensionarla para que pueda circular, cuando el vaso está lleno, el caudal correspondiente a un descenso de nivel de entre 5 y 10 mm/hora.

Para el nivel máximo de explotación situado a la cota 917,45 m y el mayor descenso de nivel previsto de 10 mm/hora, el caudal de agua a recoger por el sistema de drenaje se calcularía a partir del Caudal Teórico de un área, para lo cual se utiliza la siguiente expresión:

$$Q_L = 0{,}13 \times L \times R \times H_L$$

donde:

- Q_L = Caudal teórico a evacuar (l/s)
- L= Intensidad de agua procedente del vaso a sección llena (mm/día)
- Factor R = Coeficiente de permeabilidad
- H_L= Superficie afectada a cada dren (m^2)

Una vez determinado los caudales teóricos necesarios para la evacuación determinamos los diámetros necesarios.

Se diseña:

- Red perimetral (sectores 1 y 4), ejecutada al pie de los taludes interiores mediante tuberías corrugadas de doble pared ranurada de PVC Ø 90 mm, dispuestas en una zanja de 0,5 m x 0,5 m rellena de material granular.
- Red interior en espina de pez, ejecutada en el fondo del vaso de la balsa, mediante una red secundaria constituida por tuberías corrugadas de doble pared ranurada de PVC Ø 75 mm, dispuestas en una zanja de 0,5 m x 0,5 m rellena de material granular. Y dos colectores principales (sectores 2 y 3), formado por una tubería corrugada de doble

pared ranurada de PVC Ø 110 mm, que terminan en el punto más bajo del fondo de la balsa.

La salida al exterior se realiza por el dispositivo de desagüe de fondo. La pendiente del fondo del vaso, será del 1 % hacia los puntos de evacuación de agua.

Las tuberías de drenaje se dividen en varios ramales, con el fin de poder conocer, en caso de filtración de agua, la ubicación aproximada de la misma. En el plano Nº 6.10.1 Red de Drenaje, se define la disposición de dichas tuberías.

El drenaje perimetral se divide en varios ramales, con la finalidad de poder controlar y conocer en caso de roturas o fisuras de la lámina, su posición aproximada del fallo de la impermeabilización.

Todas las tuberías de drenaje convergen en el dispositivo de toma, llegando hasta la arqueta de drenaje.

Los diámetros se han obtenido del catálogo del Grupo TUYPER para tuberías de drenaje.

Dren	**L** Intensidad de agua (mm/día)	**R** Coeficiente de permeabilidad	**HL** Superficie afectada a cada dren m²	**QL** Caudal teórico a evacuar **(l/s)**	**Ø (mm)**
D. Secundario 1	240	0,9	576,8	0,19	75
D. Secundario 2	240	0,9	790,3	0,26	75
D. Secundario 3	240	0,9	737,9	0,24	75
D. Secundario 4	240	0,9	419,7	0,14	75
D. Secundario 5	240	0,9	593,6	0,19	75
D. Secundario 6	240	0,9	787,4	0,26	75
D. Secundario 7	240	0,9	837,9	0,27	75
D. Secundario 8	240	0,9	458,9	0,15	75
D. Perimetral 1	240	0,9	4068,4	1,32	90
D. Principal 2	240	1,9	2524,7	1,73	110
D. Principal 3	240	0,9	2677,7	0,87	110
D. Perimetral 4	240	0,9	4660,6	1,51	90

5.4.1.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS TUBERÍA DE DRENAJE

ÁBACO DE CAUDALES (litros/seg.)																				
	Pendiente de la Zanja																			
	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0
200	16,5	21,24	30,06	36,84	42,54	47,58	52,14	56,34	60,18	63,84	67,32	73,74	79,68	85,14	90,30	95,22	99,84	104,28	108,54	112,68	116,64
250	29,76	38,34	54,24	66,48	76,74	85,80	94,02	101,52	108,54	115,14	121,38	132,96	143,64	153,54	162,84	171,66	180,06	188,04	195,72	203,10	210,24
315	54,36	70,20	99,30	121,62	140,46	157,08	172,02	185,82	198,66	210,72	222,12	243,30	262,80	280,98	298,02	314,16	329,46	344,10	358,14	371,70	384,72
400	102,48	132,3	187,14	229,20	264,66	295,86	324,12	350,10	374,28	396,96	418,44	458,40	495,12	529,32	561,42	591,78	620,64	648,24	674,70	700,20	724,80
110	1,35	1,71	2,43	2,97	3,45	3,87	4,23	4,56	4,89	5,16	5,46	5,97	6,45	6,90	7,32	7,71	8,07	8,43	8,79	9,12	9,45
160	3,51	4,53	6,42	7,86	9,06	10,14	11,10	12,00	12,81	13,59	14,34	15,69	16,95	18,12	19,23	20,25	21,24	22,20	23,10	23,97	24,81
200	6,48	8,37	11,85	14,52	16,74	18,72	20,52	22,17	23,70	25,14	26,49	29,01	31,35	33,51	35,55	37,47	39,30	41,04	42,72	44,34	45,87
250	11,40	14,73	20,82	25,50	29,43	32,91	36,06	29,94	41,64	44,16	46,53	50,97	55,05	58,86	62,43	65,82	69,03	72,09	75,03	77,88	80,61
315	21,63	27,93	39,48	48,36	55,83	62,43	68,40	73,86	78,99	83,76	88,29	96,72	104,46	111,69	118,47	124,86	130,95	136,77	142,38	147,75	152,94
350	26,71	34,49	48,75	59,72	68,94	77,09	84,47	91,21	97,51	103,44	109,03	119,44	129,00	137,93	146,30	154,19	161,71	168,90	175,83	182,46	188,87
400	41,19	53,19	75,21	92,13	106,38	118,95	130,29	140,73	150,45	159,57	168,21	184,26	199,02	212,76	225,66	237,87	249,48	260,58	271,23	281,46	291,33
465	64,62	83,43	117,97	144,49	166,83	186,53	204,33	220,70	235,96	250,26	263,81	288,98	312,13	333,69	353,93	373,08	274,50	408,69	425,37	441,44	456,93
500	74,70	96,45	136,38	167,04	192,87	215,64	236,22	255,15	272,79	289,32	304,98	334,08	360,84	385,77	409,17	431,31	452,34	472,47	491,76	510,33	528,24
75	0,95	1,25	1,75	2,20	2,50	2,80	3,05	3,40	3,55	3,75	4,00	4,40	4,70	5,00	5,40	5,60					
90	1,60	2,10	3,00	3,60	4,20	4,60	5,05	5,50	5,90	6,20	6,50	7,20	7,75	8,25	8,75	9,25					
110	2,75	3,60	5,05	6,20	7,20	8,00	8,75	9,50	10,00	10,80	11,25	12,40	13,30	14,20	15,10	16,00					
125	3,90	5,10	7,10	8,75	10,20	11,20	12,50	13,20	14,20	15,10	16,00	17,50	19,00	20,10	20,80	21,20					
150	7,60	10,00	14,00	17,00	19,50	22,00	24,00	26,00	28,80	29,50	32,00	34,00	37,00	39,00	42,00	44,00					

5.5 Arqueta de válvulas

Para el control de los dispositivos de entrada y salida proyectados en la balsa, se ha optado por la construcción de una arqueta de fábrica in situ, aguas arriba y otra, aguas abajo de la balsa, en la que se ubicarán las válvulas necesarias para el correcto funcionamiento de la red. Estas arquetas estarán enterradas, con el fin de provocar un impacto visual reducido.

Para acceder al interior de las arquetas se dispone una trampilla en la parte superior, lo suficientemente grande como para que pueda pasar una persona.

El control y regulación de caudales de salida requiere de la instalación de válvulas y dispositivos hidráulicos en las conducciones.

5.5.1.1 ARQUETA DE ENTRADA A BALSA

DISPOSITIVO	FUNCIÓN	CANTIDAD
Válvula de corte	Corte de suministro en caso de rotura de la conducción	1 Ud.

5.5.1.1 ARQUETA DE ENTRADA A BALSA

DISPOSITIVO	FUNCIÓN	CANTIDAD
Sistema de medición de caudal	Mide el gasto volumétrico a efectos de control de la concesión	1 Ud.
Válvula limitadora de caudal y reductora de presión	Limita el caudal de entrada a la balsa y reduce el exceso de carga para permitir un vertido controlado sobre lámina	1 Ud.

5.5.1.2 ARQUETA DE VÁLVULAS TUBERÍAS DE FONDO

DESAGÜE DE FONDO

DISPOSITIVO	FUNCIÓN	CANTIDAD
Válvula de corte	Corte de suministro en caso de rotura de la conducción	1 Ud.

TUBERÍA DE TOMA

DISPOSITIVO	FUNCIÓN	CANTIDAD
Válvula de corte	Corte de suministro en caso de rotura de la conducción	1 Ud.
Ventosa	Purga, admisión y expulsión de aire	1 Ud.
Sistema de medición de caudal	Mide el gasto volumétrico a efectos de control de la concesión	1 Ud.

Los diámetros de las respectivas válvulas situadas en la arquetas pueden consultarse en los planos de la Balsa 6.6 y 6.8.

Con objeto de evitar la formación de bolsas de aire en la conducción que pueden provocar la obstrucción parcial o total del agua originando notables pérdidas de carga en la tubería, incluso la rotura de la instalación, se instalarán ventosas trifuncionales:

- En los picos y cambios de pendiente de las conducciones de entrada y salida.
- Cada 500 m. de tramo de la conducción.

Mediante la colocación de transductores de presión aguas arriba de las válvulas de compuertas, se obtiene conocimiento en todo momento de la presión existente en la conducción y, por tanto, del nivel de embalse.

Las características de las arquetas pueden consultarse en el anejo nº11 *Anclajes y Obras de Fábrica* y en los planos de la Balsa 6.6 y 6.8.

BALSA DE REGULACIÓN: PAPUOS

6 Introducción y objetivo

Se diseña una balsa de materiales sueltos impermeabilizada, con una capacidad de almacenamiento a NMN de 46.449,55 m^3, para cuya ubicación se han tenido en cuenta aspectos como:

- Accesibilidad
- Limitación topográfica por pendientes
- Cota altimétrica
- Situación relativa respecto a las fuentes de suministro, red de transporte y distribución.
- Climatología
- Hidrogeología, geología y geotecnia
- Seguridad e impacto visual

El presente Anejo contiene la información correspondiente al diseño de la balsa proyectada, así como los correspondientes cálculos justificativos.

7 Justificación del Volumen Regulado

En este apartado se justifica el volumen regulado en la balsa de almacenamiento, que se determina en función de las necesidades agronómicas del sistema de regadío (calculadas en el Anejo nº3) y de las pérdidas por evaporación. Además, se calcula el caudal de llenado de la balsa.

Adicionalmente, se incluye un balance del volumen de la balsa para conocer la situación del nivel de agua en cada momento.

7.1 Cálculo de la evaporación

La construcción de la balsa se justifica por la necesidad de almacenamiento de agua para garantizar el suministro de riego de las 93,69 ha del Sector Infiernos, durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre. De acuerdo con la solicitud de concesión en tramitación en la Confederación Hidrológica del Tajo bajo número de expediente C-0216/2021, el volumen a almacenar asciende a 61.100 m^3/año.

Sin embargo, a efectos de control del volumen almacenado y de las necesidades hídricas, deberán considerarse las pérdidas por evaporación, que son causa de la radiación solar sobre la superficie de la balsa. En este apartado se hace una estimación del volumen que se pierde por evaporación.

La Estación Meteorológica de Valdastillas no recoge los datos de evaporación, por lo que se opta por recurrir al *Método del Balance de Energía*, cuya expresión es la siguiente:

$$E_r = \frac{R_N}{L_V \cdot \rho_w}$$

Siendo:

- R_N radiación neta en W/m^2
- L_v calor latente de vaporación en J/kg
- ρ_w densidad del agua, 997 kg/m^3

La **radiación neta** se obtiene directamente de la estación de Valdastillas:

	Radiación neta (MJ/m² y día)
Enero	3,27
Febrero	6,13
Marzo	8,83
Abril	12,10
Mayo	14,07
Junio	14,64
Julio	12,18
Agosto	9,46
Septiembre	5,82
Octubre	3,02
Noviembre	1,69
Diciembre	1,82

Tabla: 12 Radiación neta

El **calor latente de evaporación** se calcula mediante la siguiente expresión:

$$L_v = 2500 - 2{,}36 \cdot T$$

Siendo T la temperatura media mensual en ºC.

Por tanto, el calor latente de evaporación es el reflejado en la siguiente tabla

	Temperatura (ºC)	Lv (kJ/kg)
Enero	7,54	2482,22
Febrero	9,25	2478,17
Marzo	11,44	2473,01
Abril	13,61	2467,88
Mayo	17,66	2458,32
Junio	21,99	2448,11
Julio	25,92	2438,82
Agosto	25,92	2438,82
Septiembre	21,50	2449,26
Octubre	16,62	2460,78
Noviembre	10,94	2474,19
Diciembre	8,32	2480,36

Tabla 13: Calor latente de evaporación mensual

Introduciendo estos valores en la fórmula del balance de energía, se obtiene la **tasa de evaporación**:

$$E_r = \frac{R_N}{L_V \cdot \rho_w}$$

	Radiación neta (MJ/m² y día)	Temperatura (ºC)	Lv (kJ/kg)	E_r (mm/día)
Enero	3,27	7,54	2482,22	1,32
Febrero	6,13	9,25	2478,17	2,48
Marzo	8,83	11,44	2473,01	3,58
Abril	12,10	13,61	2467,88	4,91
Mayo	14,07	17,66	2458,32	5,73
Junio	14,64	21,99	2448,11	5,99
Julio	12,18	25,92	2438,82	5,00
Agosto	9,46	25,92	2438,82	3,89
Septiembre	5,82	21,50	2449,26	2,38
Octubre	3,02	16,62	2460,78	1,23
Noviembre	1,69	10,94	2474,19	0,68
Diciembre	1,82	8,32	2480,36	0,74

Tabla 14: Obtención de la Tasa de Evaporación Er (mm(dia)

El volumen evaporado es función de la superficie de la lámina de agua en cada instante, lo que resulta en un procedimiento iterativo y no lineal. Para su cálculo, se toma la superficie de la lámina de agua al final de cada mes resultado del balance entre entradas y salidas y se aplica el respectivo valor de tasa de evaporación Er.

Teniendo en cuenta que la superficie de la balsa a Nivel Máximo Normal es de 10.502,83 m², la **evaporación potencial** es:

	Evaporación (m³/mes)
Enero	429,78
Febrero	728,89
Marzo	1164,86
Abril	1547,95
Mayo	1867,21
Junio	1888,02
Julio	1629,32
Agosto	1265,46
Septiembre	750,21
Octubre	400,38
Noviembre	215,65

Diciembre	239,38
ANUAL	**12.127,12**

Tabla 15: Evaporación potencial

Al obtenerse estos valores en función de la superficie de embalse a Nivel Máximo Normal, para determinar la evaporación real habría que tener en cuenta el nivel de agua en cada instante

La **evaporación efectiva** se obtiene, de forma simplificada, considerando la superficie de agua en el embalse en cada momento, en función de las entradas (octubre-mayo) y salidas (junio-septiembre) de agua previstas:

	Evaporación efectiva (m^3/mes)
Enero	348,60
Febrero	637,99
Marzo	1093,56
Abril	1541,64
Mayo	1745,28
Junio	1189,67
Julio	852,91
Agosto	550,27
Septiembre	311,00
Octubre	234,75
Noviembre	143,03
Diciembre	176,94
ANUAL	**8825,64876**

Tabla 16: Evaporación efectiva

7.2 Llenado de la balsa

La balsa se llenará por dos vías:

- Agua captada de la precipitación.
- Agua captada desde la toma del Arroyo Innominado, afluente de la Garganta de los Tres Cerros.

7.2.1 Llenado por precipitación

La precipitación media mensual registrada en la estación meteorológica de Valdastillas obtenida a partir de la serie histórica comprendida entre los años 2006 y 2023 es la siguiente:

	Precipitación (mm)
Octubre	143,03
Noviembre	155,42
Diciembre	134,84
Enero	116,51
Febrero	126,63
Marzo	112,09
Abril	114,16
Mayo	60,50
Junio	22,98
Julio	8,95
Agosto	9,47
Septiembre	55,45

Tabla 17: Precipitación media mensual

Teniendo en cuenta que la superficie de la balsa a Altura de Muro es de 11.788,05 m², el volumen mensual caído sobre la balsa es:

	m³/mes
Octubre	1686,02
Noviembre	1832,15
Diciembre	1589,53
Enero	1373,45
Febrero	1492,75
Marzo	1321,32
Abril	1345,73
Mayo	713,20
Junio	270,84
Julio	105,45
Agosto	111,67
Septiembre	653,63
	12.495,73

Tabla 18: Volumen mensual de lluvia caído sobre la balsa

7.2.2 Llenado mediante la toma en el arroyo

La balsa también se llenará desde la Garganta de Becedas situada en las coordenadas:

X	Y	Cota
268737	4460210	1011 msnm

Tabla 19: Coordenadas de la toma

Y cuya sección transversal se encuentra reflejada en el Plano Nº 5.2 Obra de Captación.

El volumen captado del cauce será 45.769 m³ entre los meses de octubre y mayo (243 días), lo que corresponde con un caudal 2,18 l/s. El llenado desde la toma se hará de forma continua durante las 24 horas del día y se regulará el caudal mediante válvula limitadora de caudal.

Volumen (m³)	Entradas desde el Arroyo
Octubre	5838,84
Noviembre	5650,49
Diciembre	5838,84
Enero	5838,84
Febrero	5273,79
Marzo	5838,84
Abril	5650,49
Mayo	5838,84
Junio	0,00
Julio	0,00
Agosto	0,00
Septiembre	0,00
TOTAL	**45.769,00**

Tabla 20: Volumen de entrada desde el Arroyo

7.3 Balance hídrico de la balsa

Con los condicionantes anteriores y teniendo en cuenta las dotaciones de riego calculadas en el Anejo nº3, se obtiene el siguiente balance hídrico de la balsa:

Volumen (m³)	Entradas		Salidas			Balance mensual	Acumulado
	Precipitación	Captación	Riego	Otros usos	Evaporación efectiva		
Octubre	1686,02	5838,84	0,00	1,83	234,75	7287,30	7287,30
Noviembre	1832,15	5650,49	0,00	1,83	143,03	7336,77	14624,07
Diciembre	1589,53	5838,84	0,00	1,83	176,94	7248,58	21872,65
Enero	1373,45	5838,84	0,00	1,83	348,60	6860,88	28733,52

Febrero	1492,75	5273,79	0,00	1,83	637,99	6125,70	34859,22
Marzo	1321,32	5838,84	0,00	1,83	1093,56	6063,74	40922,96
Abril	1345,73	5650,49	0,00	1,83	1541,64	5451,58	46374,53
Mayo	713,20	5838,84	16952,46	1,83	1745,28	-12027,84	34346,69
Junio	270,84	0,00	44757,87	1,83	1189,67	-45237,17	0
Julio	105,45	0,00	14989,06	1,83	852,91	-15270,73	0
Agosto	111,67	0,00	12743,29	1,83	550,27	-12763,64	0
Septiembre	653,63	0,00	3606,72	1,83	311,00	-3008,88	0
TOTAL	**12495,73**	**45.769,0**	**93049,4**	**21,9**	**8.825,65**	**-41933,73**	

Tabla 21: Balance hídrico de la balsa

El volumen acumulado de la balsa es nulo durante los últimos tres meses y medio de la temporada de riego debido a que, por limitaciones del presupuesto, las infraestructuras de almacenamiento se han reducido de 6 a 1 y la red de riego vinculada a la balsa proyectada se ha aumentado. Se prevé la ampliación de las infraestructuras de almacenamiento para un correcto funcionamiento del regadío proyectado en su totalidad.

7.4 Volumen mínimo de almacenamiento

Con los datos ya expuestos, y adoptando una superficie de embalse con la forma más regular posible, se determinan las dimensiones de la balsa para garantizar el volumen necesario, obtenido mediante la herramienta de diseño Auto CAD Civil3D. Comprobando posteriormente que la capacidad correspondiente al volumen de diseño es mayor que la mínima necesaria.

TABLA DE ALMACENAMIENTO DE FASES A COTA NMN

ELEV	ÁREA m2	PROFUNDIDAD (m)	FINAL MEDIO VOL. TOTAL (m3)
969,00	5.092,04	N/A	0.00
975,05	10.501,84	6,05	46.449,55

TABLA DE ALMACENAMIENTO DE FASES A COTA DE NME

ELEV	ÁREA m2	PROFUNDIDAD (m)	FINAL MEDIO VOL. TOTAL (m3)
969,00	5.092,04	N/A	0.00
975,20	10.658,76	6,2	48.066,36

El volumen de regulación es suficiente para abastecer a la zona regable con garantía, independientemente de la estrategia de llenado de la balsa, ya que ésta se ha realizado con la

suficiente holgura. Igualmente, la obra de toma de entrada a la balsa se ha previsto con un margen de capacidad suficiente para adaptarse a los posibles cambios de explotación o posibles fluctuaciones de caudal debido a cortes bruscos por falsas maniobras.

7.5 Características Geométricas

Para el dimensionamiento y características de la balsa proyectada, se han tenido en cuenta:

- Cartografía obtenida del Instituto Geográfico Nacional.
- Modelos digitales del terreno.
- Planos Catastrales: Parcelario del Término Municipal de Jerte en formato dxf.
-

SITUACIÓN	
Rio y cuenca	Garganta de Becedas
Término municipal	Jerte, Cáceres.
Coordenadas UTM ETRS 89 30 NORTE	X: 268.520 / Y: 4.458.860
CUERPO DE BALSA	
Tipología	De materiales sueltos, impermeabilizada con geomembrana PEAD 1,5 mm
Planta	Ovalada irregular, adaptada al terreno
Perímetro de coronación exterior (m)	451,05
Perímetro de coronación interior (m)	425,92
Perímetro de fondo (m)	312,03
Altura máxima del vaso (m)	7,25
Ancho de coronación (m)	4
Cota mínima inferior del vaso (m)	969
Cota de coronación (m)	976,25
Cota N.M.N. (m)	975,05
Resguardo normal (m)	1,5
Resguardo mínimo (m)	1,35
Cota pie exterior Talud de cierre (m)	966,5
Altura de la balsa (m)	9,75
Talud interior	2,5:1

Talud exterior terraplén	2:1
Talud exterior desmonte	2:1

ÓRGANO DE LLENADO	
Tubería entrada a balsa (Pico de flauta)	Fundición Sección Circular Ø 80
ÓRGANO DE ABASTECIMIENTO A RED DE RIEGO	
Colector de acero	406,40
ÓRGANO DE VACIADO	
Diámetro (mm)/ Nº conductos (Ud.)	630/1
Cierre aguas arriba	Válvula de compuerta
Accionamiento.	Manual
Caudal Max. de desagüe (m^3/s)	0,358
Tiempo de vaciado (horas)	36
ÓRGANO DE ALIVIO	
Tipología.	Sección Circular Ø 600 mm
Situación	Situado en el sur de la balsa
Caudal máximo de Alivio (l/s)	38,74
AUSCULTACIÓN	
Colector dren (mm) / Disposición	4 colectores principales de Ø90 y Ø110 /Espina de Pez
Toma de Fondo (mm)	400
CARACTERISTICAS DEL EMBALSE	
Área ocupada (m^2)	18.308,13
Superficie NME (m^2)	10.658,76
Superficie NMN (m^2)	10.502,83
Superficie Fondo (m^2)	5.100,31
Volumen NME (m^3)	48.066,36
Volumen NMN (m^3)	46.449,55
MOVIMIENTOS DE TIERRA	
Desmonte (m^3)	111.545,77
Terraplén (m^3)	8.519,01
Tierra vegetal (m^3)	14.646,51
Volumen Neto (m^3)	103.026,76

8 Cálculos hidráulicos

8.1 Órgano de llenado

La balsa se llenará por gravedad, mediante la toma situada en el arroyo innominado afluente de la Garganta de los Tres Cerros, con un caudal de aportación total de 2,18 l/s.

CARACTERÍSTICAS DE LA CAPTACIÓN-TOMA	
Procedencia del agua	Garganta de Becedas
Tipo de captación	Toma directa mediante arqueta lateral
Días de Detracción	243 días
Caudal máximo instantáneo l/s	2,18
Potencia instalada C.V.	Sin mecanismos de extracción. Gravedad.
Término Municipal	Jerte (Cáceres)
Coordenadas U.T.M. ETRS89; (X,Y)	268.737/ 4.460.210/ HUSO: 30
Cota del canal de captación	1.011
Cota mínima prevista del agua en el cauce	1.010,80

Para el caudal máximo instantáneo indicado se proyecta una arqueta de regulación de la que parte el colector de llenado a la balsa, diseñado en polietileno de alta densidad PE-100 DN-90 PN-10 (diámetro interior 79,20 mm), y una longitud total de 1.612,49 metros.

Se remite al anejo n9 Obra de Toma, para consultar de forma completa las características de la obra de toma, arqueta de regulación y tubería de llenado de la balsa.

Llegada a la balsa, dicha conducción cuenta con una arqueta de llenado, en la cual se sitúan los elementos de control y protección para el llenado de la balsa.

A la salida de dicha arqueta, la conducción continuará su recorrido a la balsa entrando en el cuerpo de dique de la misma cambiando su material a fundición con DN 80 mm.

8.1.1 Vertido sobre la lámina impermeable

De acuerdo con el "Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas", la obra de entrada de agua a la balsa se diseña de tal modo que el agua no produzca desperfectos en la balsa para ningún valor del caudal previsto. En base a esta premisa, los dos aspectos fundamentales a tener en cuenta para la adopción del dispositivo de entrada de agua son el tipo de impermeabilización de la balsa y el valor del caudal de entrada.

Al tratarse de una balsa impermeabilizada con geomembrana y un caudal de aportación pequeño, la entrada se proyecta por coronación mediante vertido directo sobre la geomembrana mediante tubería en pico de flauta, lo que permite obviar la ejecución de obras como canales de hormigón y cuenco amortiguador.

Este sistema consiste en la entrada de agua por vertido directo sobre la propia geomembrana, para lo cual se hace previamente un pequeño cajeado del talud interior de la balsa y se protege éste en la zona de vertido (en una anchura superior a medio metro, por cada lado, a la ocupada por la lámina de agua en su descenso) mediante una doble lámina, es decir, colocando un babero, que es una segunda geomembrana cuya misión es exclusivamente protectora y no impermeabilizante. En el babero se deberán dejar los oportunos orificios en la zona de fondo para la salida de agua en el desembalse y en coronación, para la salida de aire durante el llenado.

La entrada de agua se realiza por debajo de la rasante de coronación a una distancia que en el caso de que la balsa se encuentre llena, evitar que el agua rebose por la coronación y salga hacia el exterior a través del sistema de entrada, y, en cualquier caso, siempre por encima de la cota del umbral del aliviadero.

Se diseña de tal forma que el agua no impacte bruscamente sobre la lámina ni despegue de la misma. Una disposición muy utilizada en este caso es finalizar la tubería con forma de pico de flauta para adaptarla a la inclinación del talud.

Detalle incluido en Plano Nº 6.6 Obra de entrada: sección y detalle.

8.2 Órgano de abastecimiento a red de riego

La obra de toma para red de riego se diseña mediante un colector de 400 mm de PEAD, en base a los caudales de riego que se justifican en el Anejo nº 8 Red de Riego.

Se ejecuta una arqueta de fondo de dimensiones 1,40m x1,80m, mediante un vaso de entrada enterrado 1,70 m por debajo de la cota del fondo de la balsa (969 m). La arqueta es compartida con la tubería del desagüe de fondo. Ambas conducciones son de acero, de 406 mm para la de abastecimiento y 610 mm para el desagüe de fondo, y están recubiertas cada una por una tubería de hormigón a modo de camisa de 800 mm hasta la salida del dique, y su conexión con la arqueta de llaves exterior o arqueta de salida a la cota (963,12). A partir de esta arqueta ambas conducciones se ejecutarán en PEAD.

ARQUETA DE SALIDA

DISPOSITIVO	FUNCIÓN	CANTIDAD	CONDUCCIÓN
Ventosa	Purga, admisión y expulsión de aire	1 Ud.	RIEGO
Válvula de corte	Corte de suministro en caso de rotura de la conducción	1 Ud.	RIEGO
Piloto de paletas	Detección de aumento velocidad de circulación para limitación de caudal	1 Ud.	RIEGO
Traductor de Presión	Lectura de presión	1 Ud.	RIEGO
Sistema de medición de caudal	Mide el gasto volumétrico a efectos de la control de la concesión	1 Ud.	RIEGO
Filtro cazapiedras	Evita la obstrucción de la red causada por elementos suspendidos en el agua	1 Ud.	RIEGO
Piloto de paletas	Detección de aumento velocidad de circulación para limitación de caudal	1 Ud.	DESAGÜE
Válvula de corte	Corte de suministro en caso de rotura de la conducción	1 Ud.	DESAGÜE
Ventosa	Purga, admisión y expulsión de aire	1 Ud.	DESAGÜE

8.3 Órgano de vaciado

El dimensionamiento del desagüe de fondo está condicionado por sus funciones:

- Conseguir el vaciado de la balsa en situación normal en un tiempo prudencial que permita, en caso necesario, poder proceder sin mucha demora a su inspección, mantenimiento y trabajos de reparación. Se procura un vaciado de 36 horas.
- Permitir un vaciado rápido de la balsa en situación de emergencia.
- Velocidad máxima de vertido de 4 m/s.
- Caudal máximo de vertido no superior al 10% de los caudales naturales en el punto de vertido.

Aproximadamente a la mitad del recorrido, la conducción de desagüe contará con una arqueta de rotura de carga que permita limitar la presión en la tubería así como disipar el exceso energético para garantizar un vertido controlado a cauce.

De la tubería de vaciado se obtiene la siguiente tabla:

VELOCIDAD m/s	DN mm	e mm	DI mm	Q L/s	VOLUMEN m^3	T VACIADO h
1,72	630,00	57,20	515,60	358,4	46.449,55	36

Tabla 22: Tiempo de vaciado de la balsa

De acuerdo con los cálculos realizados, el tiempo máximo de evacuación total para la balsa es inferior a 2 días.

Asimismo, el desagüe de la balsa se realiza desde una arqueta de fondo con una tubería de acero DN 610 mm, recubierta con una tubería de hormigón de 800 mm a modo de camisa hasta la salida del dique, que conecta con la arqueta de válvulas compartida con la conducción para riego, desde la cual se evacúa el agua, con tubería de PE100 Ø 630 mm -PN16, al punto de vertido.

8.4 Órgano de alivio

La balsa dispondrá de un aliviadero para evitar el riesgo de desbordamientos, evacuando los caudales sobrantes hacía la Garganta de los Infiernos a través de la conducción empleada para desagüe de fondo.

Su diseño responde a dos necesidades:

- Evacuar una lluvia intensa con la balsa llena.
- Evacuar el máximo caudal que pueda aportar la toma de entrada.

Se proyecta un aliviadero mediante un colector de sección circular y acero helicoidal, que atraviesa la coronación de la balsa y desemboca en una T que conecta con la tubería de desagüe. Su elección, frente a otros ejecutados con marco y canal, se debe a la distancia a la que se encuentra la desembocadura, que obligaría a la ejecución de un canal excesivamente largo, siendo la solución adoptada más económica y con menor impacto visual, ya que la canalización irá enterrada.

Para su dimensionamiento, se sigue lo incluido en el "Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas".

Se diseña a la cota de N.M.N. con una sección capaz de aliviar el caudal de la hipótesis pésima. Esta hipótesis considera el caudal máximo que se podría producir en el caso de coincidencia de la precipitación máxima previsible para un período de retorno de 500 años (balsa llena y un fallo de parada en el sistema de vaciado de la balsa). La tubería del aliviadero deberá ser capaz de evacuar un caudal superior al máximo esperado:

$$Q_T \leq Q_{alivio}$$

Los cálculos llevados a cabo para el dimensionado del aliviadero son:

3. Cálculo del caudal máximo esperado, Q_T

El caudal máximo esperado a desaguar por la tubería será $Q_T = Q_1 + Q_2$, que corresponde a la suma del caudal previsto de entrada en el vaso de la balsa (Q_1) y el caudal de máxima lluvia sobre la superficie de la balsa (Q_2).

El caudal de entrada máximo Q_1 es 2,91 l/s, procedente de la toma del arroyo innominado afluente de la Garganta de los Tres Cerros y ya justificado en apartados anteriores.

El caudal Q_2 es el caudal de máxima lluvia sobre la superficie de la balsa. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q_2 = A \times Pd_{500}$$

Pd_{500} corresponde a la precipitación diaria máxima para un periodo de retorno de 500 años. Se ha obtenido en el Anejo nº3 *Estudio Agronómico*, y su valor es de 268 mm/día.

Se supone que toda la precipitación máxima diaria se obtiene en una tormenta de 24 horas de duración, por lo tanto, el caudal de lluvia vendría dado por:

$$Q_2 = A \times Pd_{500}$$

$$Q_2 = 11.788{,}05\ m^2 x \frac{268\ mm}{día} x \frac{1\ día}{86.400\ s} x \frac{\frac{1l}{m^2}}{1mm}$$

$$Q_2 = 36{,}56 \text{ l/s}$$

El caudal total, Q_T, caudal máximo a desaguar en situación de avenida extrema, será el caudal entrante de la tubería de llenado de la balsa más el caudal proveniente de la situación de máxima lluvia sobre la balsa:

$$Q_T = 2{,}18 + 36{,}56 = 38{,}74 \text{ l/s}$$

4. Cálculo del caudal del aliviadero, Q_{alivio}

Según el "Manual para el Diseño, Construcción, Explotación y Mantenimiento de Balsas", el diámetro mínimo de la tubería de alivio no será inferior a 600 mm, independientemente de los caudales de cálculo obtenidos, de forma que se eviten taponamientos y subidas de nivel del embalse. Se establece como diámetro el mínimo de 600mm aceptado por el Manual y se comprueba si cumple, es decir, si es capaz de evacuar el caudal máximo esperado, QT.

El vertido de agua a través de un aliviadero constituido por una conducción circular se corresponde con la expresión de vertedero circular.

$$Q = \emptyset * \mu * D^{5/2}$$

Donde:

- D = Diámetro (dm)
- Q = Caudal de alivio (por determinar) (l/s)
- H = Altura de la lámina de agua sobre el labio (dm)
- Ø = Coeficiente obtenido en función de la relación h/d o mediante la expresión de Ramponi:

$$\emptyset = 10{,}12 * (H/D)^{1{,}975} - 2{,}66 * (H/D)^{3{,}78}$$

- μ = Coeficiente de gasto. Se obtiene a partir de la siguiente e expresión

$$\mu = 0{,}555 + (D/110 * H) + 0{,}041 * (H/D)$$

Sustituyendo los datos anteriores, se obtiene el valor de caudal evacuado por el aliviadero:

TUBERIA ACERO HELICOIDAL BAJO CORONACIÓN					
Ø interior (mm)	***Φ***	***μ***	**h (dm)**	**h/D**	**Q (l/s)**
600	0,813	0,66	1,54	0,28	38,74

Se comprueba que el caudal que es capaz de evacuar la tubería del aliviadero es igual que el máximo caudal esperado, obteniéndose este tan solo con 15,4 cm de elevación sobre el NMN.

<u>Dimensionamiento de la tubería de alivio</u>:

El alivio de la balsa se realiza para el caudal máximo previsto en situación de funcionamiento anómalo y un periodo de retorno de 500 años, mediante tubería de sección circular DN 600 mm, fijado bajo coronación en acero helicosoldado. Una vez fuera del dique de la balsa, la tubería podrá ejecutarse en fundición DN600 hasta su conexión con la tubería del desagüe de fondo mediante una pieza en Y. Esta conexión debe realizarse aguas debajo de la válvula de corte del desagüe de fondo.

8.5 Resguardo

El resguardo de la balsa permite su explotación bajo condiciones de seguridad. Para su comprobación y dimensionamiento seguiremos lo dispuesto en el "Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas". en su punto 6.2.3.4. se define el resguardo como diferencia entre el nivel de agua de la balsa en una situación concreta y la coronación del dique de cierre de la balsa. Se estudian dos situaciones de la balsa:

8.5.1 Resguardo normal

El resguardo normal es el relativo al NMN o al máximo nivel que puede alcanzar el agua en un nivel normal de explotación. Para su comprobación se establece que debe ser igual o superior a la diferencia entre el nivel máximo extraordinario (NME) y el nivel máximo normal (NMN) más 1,5 veces la altura de la máxima ola posible originada por acción del viento:

$$R_N = Z_{cor} - NMN \geq r_1 + 1{,}5 \cdot r_2$$

Donde:

- r_1: sobreelevación correspondiente al caudal de cálculo del aliviadero

$$r_1 = NME - NMN = 975{,}204 - 975{,}05 = 0{,}154 \text{ m}$$

- r_2: sobreelevación correspondiente al oleaje máximo

$$r_2\,(m) = 1{,}2 \cdot \sqrt[4]{F(km)}$$

Donde:

- h = altura de ola (m)
- F = Fetch, máxima distancia libre de lámina de agua (km) = 0,134 km

- $r_2\,(m) = 1{,}2 \cdot \sqrt[4]{0.134(km)} = 0{,}726$ m

Por lo tanto, el Resguardo Normal sería:

$$R_N = r_1 + 1{,}5 \cdot r_2 = 0{,}154 + 1{,}5 \cdot 0{,}726 = 1{,}243 \text{ m}$$

Y su comprobación:

$$R_N = Z_{cor} - NMN \geq r_1 + 1{,}5 \cdot r_2 \rightarrow 976{,}25 - 975{,}05 = 1{,}2 \geq 1{,}243 \rightarrow \underline{\text{No cumple}}$$

8.5.2 Resguardo mínimo

El Manual indica también que el resguardo mínimo es el relativo a Nivel Máximo Extraordinario (NME) o nivel correspondiente al caudal de cálculo del aliviadero. Este resguardo deberá ser igual o superior a la sobreelevacción correspondiente al oleaje máximo (r_2).

$$R_{mín} = Z_{cor} - NME \geq 1{,}5 \cdot r_2$$

Por lo tanto, el Resguardo Mínimo sería:

$$R_{mín} = 1{,}5 \cdot r_2 = 1{,}5 \cdot 0{,}726 = 1{,}089 \text{ m}$$

Y su comprobación:

$R_{mín} = Z_{cor} - NME \geq 1{,}5 \cdot r_2 \rightarrow 976{,}25 - 975{,}204 = 1{,}046 \geq 1{,}089 \rightarrow$ No cumple

8.5.3 Medidas a adoptar para el aseguramiento del resguardo

Del estudio anterior se deduce que las características y dimensiones de la balsa no son suficientes como para alcanzar el resguardo normal y mínimo necesario y, por tanto, mantener las condiciones de seguridad de la balsa a NMN y NME.

Como alternativa para alcanzar la cota de resguardo, en ocasiones se añade sobre la coronación de la balsa una barrera o murete de contención de agua que resista los empujes del oleaje. En esos casos, en el Manual se indica que puede contabilizarse la mitad de su altura para la comprobación del resguardo mínimo.

Se propone entonces la instalación de un murete perimetral de 60 cm de altura, de modo que, a efectos de comprobación de resguardo, se contabilicen 30 cm ($r_{murete} = 0{,}3$m)

La comprobación de cada caso sería la siguiente:

3. Resguardo normal

$R_N = Z_{cor} + r_{murete} - NMN \geq r_1 + 1{,}5 \cdot r_2 \rightarrow 976{,}25 + 0{,}3 - 975{,}05 = 1{,}5 \geq 1{,}243 \rightarrow$ **Cumple**

4. Resguardo mínimo

$R_{mín} = Z_{cor} + r_{murete} - NME \geq 1{,}5 \cdot r_2 \rightarrow 976{,}25 + 0{,}3 - 975{,}204 = 1{,}346 \geq 1{,}089 \rightarrow$ **Cumple**

9 Diseño de accesos a la balsa

El acceso a la balsa se encuentra reflejado en el plano 6.1.2 Este acceso se realiza partiendo desde el municipio de Jerte por la N-110 (dirección Soria) a través de un camino rural innominado situado a la izquierda a la altura de la Garganta Becedas.

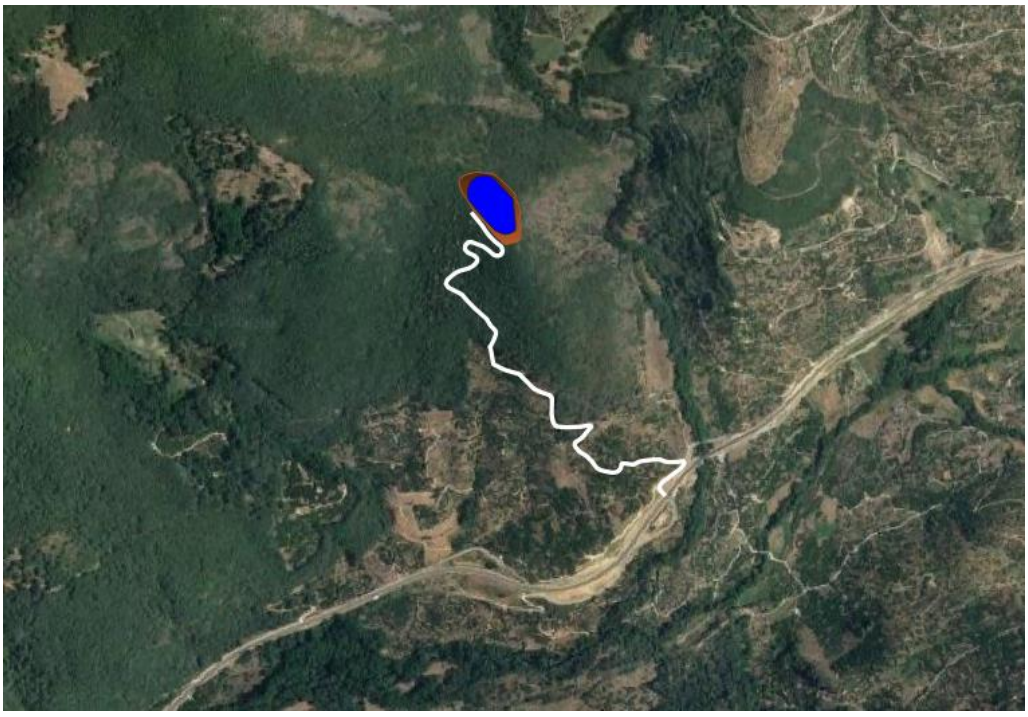


Figura 5: Camino de acceso a la balsa.



Figura 6: Camino hacia la ubicación de la balsa.

10 Cálculos mecánicos

10.1 Movimientos de tierras

El cálculo de los volúmenes de tierra, propios de la actuación, se ha realizado mediante la herramienta de diseño y cálculo AutoCAD Civil3D. Adoptando taludes tanto en desmonte como en terraplén 2,5H:V interior y 2H:1V exterior justificados en el anejo Nº6. Estudio Geotécnico.

En el proceso constructivo habrá que tener especial interés en realizar una correcta graduación de los materiales de excavación de manera que puedan adaptarse a la mejor funcionalidad de la balsa:

- Los materiales finos dejarlos para las zona en contacto con la impoermeabilización, donde al menos se asegure una capa de 15 cm en el rasanteo y perfilado de este material
- Los materiales mas gruesos que se situen en el talud exterior de la balsa, par aprocurar que actue de forma similar a un dren chimenea, permitiendo una evacuación rápida en caso de filtraciones.

Se muestra el resumen de movimiento de tierras a realizar:

Alineación: Balsa Sector Papúos
Grupo de líneas de muestreo: Muestreo Balsa
P.K. inicial: 0+00.000
P.K. final: 0+207,16

P.K.	Área desmonte (m^2)	Vol. desmonte (m^3)	Vol. reutilizable (m^3)	Área terraplén (m^2)	Vol. terraplén (m^3)	Vol. desmonte acumul. (m^3)	Vol. reutilizable acumul. (m^3)	Vol. terraplén acumul. (m^3)
0+00.000	3,44	0,00	0,00	3,48	0,00	0,00	0,00	0,00
0+20.000	421,49	4249,25	4249,25	3,50	69,75	4249,25	4249,25	69,75
0+40.000	855,20	12766,80	12766,80	2,80	62,90	17016,05	17016,05	132,65
0+60.000	1007,68	18628,70	18628,70	9,09	118,80	35644,75	35644,75	251,45
0+80.000	894,74	19024,10	19024,10	29,82	389,00	54668,85	54668,85	640,45
1+00.000	824,22	17189,50	17189,50	63,31	931,20	71858,35	71858,35	1571,65
1+20.000	791,54	16157,50	16157,50	58,15	1214,50	88015,85	88015,85	2786,16
1+40.000	710,08	15016,10	15016,10	42,04	1001,80	103031,95	103031,95	3787,96
1+60.000	506,99	12170,60	12170,60	67,52	1095,50	115202,55	115202,55	4883,46
1+80.000	261,55	7685,30	7685,30	92,88	1603,90	122887,85	122887,85	6487,36
2+00.000	50,74	3122,80	3122,80	81,22	1740,90	126010,65	126010,65	8228,26
2+07.160	0,00	181,63	181,63	0,00	290,75	126192,28	126192,28	8519,01

El material extraído de los desmontes se utilizará para la ejecución de los terraplenes, compactándose posteriormente hasta un 100% de la densidad del Proctor Modificado.

El volumen de tierras sobrante se empleará para:

- Revegetación de taludes.

10.1.1 Gestión de tierra vegetal

La tierra vegetal se reutilizará para la revegetación de taludes exteriores de la balsa.

Volumen tierra vegetal (m^3)	14.646,51
Profundidad tierra vegetal (m)	0,60
Tierra vegetal utilizada en taludes (m^3)	14.646,51

10.2 Camino de coronación

A la espera de la aprobación de la futura *Norma Técnica de Seguridad para el Proyecto, Construcción y Primer llenado de Balsas*, el diseño del camino de coronación de la balsa se ha realizado bajo criterios ingenieriles, teniendo en cuenta sus características de explotación y seguridad y basándose en balsas de la zona, con similares características.

Se ha considerado una anchura de 4 m, de modo que todos los elementos considerados queden incluidos dentro de la sección. Esta anchura es la considerada en los cálculos de estabilidad de la balsa, cuya comprobación se incluye en el anejo nº 6 Estudio Geotécnico y que ofrece como resultados coeficientes de seguridad favorables frente al vuelco y deslizamiento.

La sección de la coronación del dique se compone de los siguientes elementos:

- Camino de rodadura: compuesto únicamente por una capa de zahorra artificial de 0,20 m de espesor, dado el tráfico de tipo ocasional que soportará y que será debido a las labores de conservación y mantenimiento de la balsa. Su anchura será de 4 m.
- Elemento de anclaje del sistema de impermeabilización de la balsa: compuesto por una zanja perimetral sobre cuyos lados se extienden las capas de impermeabilización y que se rellena posteriormente con hormigón no estructural. Cumpliendo con el Manual, su sección tendrá unas dimensiones de 0,40m x 0,40 m y estará alejado del extremo del dique de coronación una longitud de 0,50 m.

- Murete perimetral: construido con la doble finalidad de asegurar el resguardo mínimo de la balsa y servir como soporte del sistema de vallado de seguridad. Está compuesto por un muro de hormigón armado de dimensiones 0,40m x 0,60 m (sección transversal).
- Cerramiento: ubicado sobre el murete perimetral, sus postes se anclarán en el interior del mismo.

10.3 Impermeabilización

Las alternativas en cuanto a materiales de impermeabilización son las siguientes:

TIPO DE MATERIAL	ESPESOR (mm)	RESISTENCIA A ROTURA (kg/cm^2)	RESISTENCIA A RADIACIÓN SOLAR
Caucho butílico	1 – 2	185	Alta
P.E.B.D	0,25	100	Baja
P.E.A.D	1 – 2	160	Alta
P.V.C	1 – 2	150	Alta

Siguiendo la práctica que se viene utilizando en cuanto a la impermeabilización de la balsa existentes en la zona, de características similares a la balsa en estudio, se opta por la colocación en el paramento aguas arriba de una geomembrana PEAD de espesor =1,5 mm, que presenta una alta resistencia a la radiación solar y ligereza

La lámina de PEAD se asentará sobre una capa geotextil fabricado a base de fibras sintéticas de polipropileno 100%, no tejido, de filamentos continuos unidos mecánicamente por un proceso de agujado, de resistencia a perforación CBR no menor de 2850 N (norma UNE-EN 12236), de perforación a caída libre de cono no mayor de 20 mm. (Norma EN 918), y peso no inferior a 400 gr/m2. con el fin de evitar roturas y dar mayor resistencia mecánica al conjunto impermeabilizante.

La construcción de este tipo de dispositivos es rápida y sencilla, ya que no plantea problemas derivados del uso de grava y arena para cubrir las láminas.

Otras características importantes del PEAD son:

- Comercialización en rollos de 2 metros de ancho y longitud variable.
- Alargamiento en rotura superior al 700%.
- Variación de pasa por envejecimiento menor del 1%.
- Variación de alargamiento por envejecimiento térmico menor del 3%.
- Absorción de agua a 24 horas menor del 0,22 %.
- Absorción de agua a 6 días menor del 1 %.
- Extracción de agua a 24 horas menor del 0,2 %.
- Extracción de agua a 6 días menor del 0,3 %.

La naturaleza termoplástica del material hace recomendable su colocación en horas de no excesivo calor.

Como principal inconveniente, está el paulatino endurecimiento y fragilización de la membrana, con el consiguiente riesgo de rotura por impacto.

Esta capa impermeable deberá ser colocada en toda la superficie interior de la balsa. A este valor hay que sumar la superficie de lámina utilizada en coronación, considerando un metro de lámina a lo largo de toda la zanja perimetral, más un incremento de lámina utilizada en la solapación.

Para proteger la geomembrana contra el punzonamiento y la abrasión, tanto durante la instalación como después de completada, se situará un geotextil de forma adyacente a la geomembrana en toda la superficie. La superficie total de geotextil utilizado en la balsa será la misma que la de la geomembrana.

La lámina impermeable estará anclada en coronación y en el fondo de la balsa. También se ancla verticalmente cada cierta distancia. El anclaje de la lámina en coronación se efectuará mediante zanja rellena con material seleccionado compactado al 95% del Proctor Modificado y zuncho perimetral de hormigón prefabricado.

Las juntas se unirán mediante soldadura.

En la siguiente tabla se muestra la superficie de lámina a utilizar.

Superficie de Impermeabilización	**Geomembrana PEAD 1,5 mm (m²) – Sobre fondo**	**Geomembrana PEAD 1,5 mm (m²) – Bajo dren**	**Geotextil 400gr/m2 (m²)**	**Anclajes/Lastra(m)**
Fondo del vaso	5.100,31	5.853,73	5.100,31	Lastre perimetral en fondo de balsa con bordillo.
Talud interior	7.723,30	0	7.723,30	
Coronación	745,43	0	745,43	
Superficie Total a Impermeabilizar	13.569,04	5.853,73	13.569,04	

10.4 Red de drenaje para control de fugas

Aun habiendo dispuesto un sistema de impermeabilización para la balsa, se estudian todas las posibilidades de paso del agua a través de ella, tanto en la filtración normal como en posibles defectos y averías, y se proyectan las disposiciones necesarias para que la evacuación de estas filtraciones se haga con el menor peligro para la estabilidad del dique. Además, permitirá rebajar el nivel freático en las proximidades de la balsa.

Por lo tanto, el sistema de drenaje bajo la lámina tendrá una doble finalidad:

- Detectar posibles fugas en la lámina impermeabilizante
- Evitar posibles subpresiones de aguas bajo la lámina, cuando la balsa se encuentre vacía.

Partiendo de la superficie del vaso se sectoriza este en cuatro sectores, dos para los taludes interiores y dos para el fondo del vaso.

Sector Drenaje	**Dren**	**Superficie Drenada m²**
Sector 1	Dren Perimetral 1	3.722,61
Sector 2	Fondo norte	2.310,09
Sector 3	Fondo sur	2.450,09
Sector 4	Dren Perimetral 2	4.264,43

Cada sector estará separado mediante un pequeño cordón de hormigón, de manera que cualquier filtración que se produzca en su interior termine en el conducto ranurado independiente. En el caso del sector en talud, el conducto ranurado se sitúa en la intersección del talud con la solera. Y para el caso de los sectores de fondo de la balsa, se usa la espina de pez que termina en un conducto totalizador, también ranurado. Todos los conductos, como sectores existan, terminan en el punto más bajo del fondo de la balsa, a partir del cual se sacan, bien numerados al exterior.

Según El "Manual de Diseño, Construcción, Explotación y Mantenimiento de Balsas, del CEDEX, para el Comité Nacional de Grandes Presas, para diseñar la red de drenaje es preciso determinar el máximo caudal que circulará por ella, el cual, obviamente, será función de la entidad de las filtraciones que se produzcan en la balsa y si ésta está impermeabilizada por geomembrana, de las que tengan lugar a través de esta última.

En cualquier caso, un criterio simplista consiste en dimensionarla para que pueda circular, cuando el vaso está lleno, el caudal correspondiente a un descenso de nivel de entre 5 y 10 mm/hora.

Para el nivel máximo de explotación situado a la cota 917,45 m y el mayor descenso de nivel previsto de 10 mm/hora, el caudal de agua a recoger por el sistema de drenaje se calcularía a partir del Caudal Teórico de un área, para lo cual se utiliza la siguiente expresión:

$$Q_L = 0{,}13 \times L \times R \times H_L$$

donde:

- Q_L = Caudal teórico a evacuar (l/s)
- L= Intensidad de agua procedente del vaso a sección llena (mm/día)
- Factor R = Coeficiente de permeabilidad
- H_L= Superficie afectada a cada dren (m^2)

Una vez determinado los caudales teóricos necesarios para la evacuación determinamos los diámetros necesarios.

Se diseña:

- Red perimetral (sectores 1 y 4), ejecutada al pie de los taludes interiores mediante tuberías corrugadas de doble pared ranurada de PVC Ø 90 mm, dispuestas en una zanja de 0,5 m x 0,5 m rellena de material granular.
- Red interior en espina de pez, ejecutada en el fondo del vaso de la balsa, mediante una red secundaria constituida por tuberías corrugadas de doble pared ranurada de PVC Ø 75 mm, dispuestas en una zanja de 0,5 m x 0,5 m rellena de material granular. Y dos colectores principales (sectores 2 y 3), formado por una tubería corrugada de doble

pared ranurada de PVC Ø 110 mm, que terminan en el punto más bajo del fondo de la balsa.

La salida al exterior se realiza por el dispositivo de desagüe de fondo. La pendiente del fondo del vaso, será del 1 % hacia los puntos de evacuación de agua.

Las tuberías de drenaje se dividen en varios ramales, con el fin de poder conocer, en caso de filtración de agua, la ubicación aproximada de la misma. En el plano Nº 6.10.1 Red de Drenaje, se define la disposición de dichas tuberías.

El drenaje perimetral se divide en varios ramales, con la finalidad de poder controlar y conocer en caso de roturas o fisuras de la lámina, su posición aproximada del fallo de la impermeabilización.

Todas las tuberías de drenaje convergen en el dispositivo de toma, llegando hasta la arqueta de drenaje.

Los diámetros se han obtenido del catálogo del Grupo TUYPER para tuberías de drenaje.

Dren	**L** Intensidad de agua (mm/día)	**R** Coeficiente de permeabilidad	**HL** Superficie afectada a cada dren m²	**QL** Caudal teórico a evacuar **(l/s)**	**Ø (mm)**
D. Secundario 1	240	0,9	527,8	0,17	75
D. Secundario 2	240	0,9	723,1	0,24	75
D. Secundario 3	240	0,9	675,2	0,22	75
D. Secundario 4	240	0,9	384,0	0,12	75
D. Secundario 5	240	0,9	543,1	0,18	75
D. Secundario 6	240	0,9	720,5	0,23	75
D. Secundario 7	240	0,9	766,7	0,25	75
D. Secundario 8	240	0,9	419,9	0,14	75
D. Perimetral 1	240	0,9	3722,6	1,21	90
D. Principal 2	240	1,9	2310,1	1,58	110
D. Principal 3	240	0,9	2450,1	0,80	110
D. Perimetral 4	240	0,9	4264,4	1,39	90

10.4.1.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS TUBERÍA DE DRENAJE

ÁBACO DE CAUDALES (litros/seg.)																				
	Pendiente de la Zanja																			
	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0
200	16,5	21,24	30,06	36,84	42,54	47,58	52,14	56,34	60,18	63,84	67,32	73,74	79,68	85,14	90,30	95,22	99,84	104,28	108,54	112,68	116,64
250	29,76	38,34	54,24	66,48	76,74	85,80	94,02	101,52	108,54	115,14	121,38	132,96	143,64	153,54	162,84	171,66	180,06	188,04	195,72	203,10	210,24
315	54,36	70,20	99,30	121,62	140,46	157,08	172,02	185,82	198,66	210,72	222,12	243,30	262,80	280,98	298,02	314,16	329,46	344,10	358,14	371,70	384,72
400	102,48	132,3	187,14	229,20	264,66	295,86	324,12	350,10	374,28	396,96	418,44	458,40	495,12	529,32	561,42	591,78	620,64	648,24	674,70	700,20	724,80
110	1,35	1,71	2,43	2,97	3,45	3,87	4,23	4,56	4,89	5,16	5,46	5,97	6,45	6,90	7,32	7,71	8,07	8,43	8,79	9,12	9,45
160	3,51	4,53	6,42	7,86	9,06	10,14	11,10	12,00	12,81	13,59	14,34	15,69	16,95	18,12	19,23	20,25	21,24	22,20	23,10	23,97	24,81
200	6,48	8,37	11,85	14,52	16,74	18,72	20,52	22,17	23,70	25,14	26,49	29,01	31,35	33,51	35,55	37,47	39,30	41,04	42,72	44,34	45,87
250	11,40	14,73	20,82	25,50	29,43	32,91	36,06	29,94	41,64	44,16	46,53	50,97	55,05	58,86	62,43	65,82	69,03	72,09	75,03	77,88	80,61
315	21,63	27,93	39,48	48,36	55,83	62,43	68,40	73,86	78,99	83,76	88,29	96,72	104,46	111,69	118,47	124,86	130,95	136,77	142,38	147,75	152,94
350	26,71	34,49	48,75	59,72	68,94	77,09	84,47	91,21	97,51	103,44	109,03	119,44	129,00	137,93	146,30	154,19	161,71	168,90	175,83	182,46	188,87
400	41,19	53,19	75,21	92,13	106,38	118,95	130,29	140,73	150,45	159,57	168,21	184,26	199,02	212,76	225,66	237,87	249,48	260,58	271,23	281,46	291,33
465	64,62	83,43	117,97	144,49	166,83	186,53	204,33	220,70	235,96	250,26	263,81	288,98	312,13	333,69	353,93	373,08	274,50	408,69	425,37	441,44	456,93
500	74,70	96,45	136,38	167,04	192,87	215,64	236,22	255,15	272,79	289,32	304,98	334,08	360,84	385,77	409,17	431,31	452,34	472,47	491,76	510,33	528,24
75	0,95	1,25	1,75	2,20	2,50	2,80	3,05	3,40	3,55	3,75	4,00	4,40	4,70	5,00	5,40	5,60					
90	1,60	2,10	3,00	3,60	4,20	4,60	5,05	5,50	5,90	6,20	6,50	7,20	7,75	8,25	8,75	9,25					
110	2,75	3,60	5,05	6,20	7,20	8,00	8,75	9,50	10,00	10,80	11,25	12,40	13,30	14,20	15,10	16,00					
125	3,90	5,10	7,10	8,75	10,20	11,20	12,50	13,20	14,20	15,10	16,00	17,50	19,00	20,10	20,80	21,20					
150	7,60	10,00	14,00	17,00	19,50	22,00	24,00	26,00	28,80	29,50	32,00	34,00	37,00	39,00	42,00	44,00					

10.5 Arqueta de válvulas

Para el control de los dispositivos de entrada y salida proyectados en la balsa, se ha optado por la construcción de una arqueta de fábrica in situ, aguas arriba y otra, aguas abajo de la balsa, en la que se ubicarán las válvulas necesarias para el correcto funcionamiento de la red. Estas arquetas estarán enterradas, con el fin de provocar un impacto visual reducido.

Para acceder al interior de las arquetas se dispone una trampilla en la parte superior, lo suficientemente grande como para que pueda pasar una persona.

El control y regulación de caudales de salida requiere de la instalación de válvulas y dispositivos hidráulicos en las conducciones.

10.5.1.1 ARQUETA DE ENTRADA A BALSA

DISPOSITIVO	FUNCIÓN	CANTIDAD
Válvula de corte	Corte de suministro en caso de rotura de la conducción	1 Ud.

10.5.1.1 ARQUETA DE ENTRADA A BALSA

DISPOSITIVO	FUNCIÓN	CANTIDAD
Sistema de medición de caudal	Mide el gasto volumétrico a efectos de control de la concesión	1 Ud.
Válvula limitadora de caudal y reductora de presión	Limita el caudal de entrada a la balsa y reduce el exceso de carga para permitir un vertido controlado sobre lámina	1 Ud.

10.5.1.2 ARQUETA DE VÁLVULAS TUBERÍAS DE FONDO

DESAGÜE DE FONDO

DISPOSITIVO	FUNCIÓN	CANTIDAD
Válvula de corte	Corte de suministro en caso de rotura de la conducción	1 Ud.

TUBERÍA DE TOMA

DISPOSITIVO	FUNCIÓN	CANTIDAD
Válvula de corte	Corte de suministro en caso de rotura de la conducción	1 Ud.
Ventosa	Purga, admisión y expulsión de aire	1 Ud.
Sistema de medición de caudal	Mide el gasto volumétrico a efectos de control de la concesión	1 Ud.

Los diámetros de las respectivas válvulas situadas en la arquetas pueden consultarse en los planos de la Balsa 6.6 y 6.8.

Con objeto de evitar la formación de bolsas de aire en la conducción que pueden provocar la obstrucción parcial o total del agua originando notables pérdidas de carga en la tubería, incluso la rotura de la instalación, se instalarán ventosas trifuncionales:

- En los picos y cambios de pendiente de las conducciones de entrada y salida.
- Cada 500 m. de tramo de la conducción.

Mediante la colocación de transductores de presión aguas arriba de las válvulas de compuertas, se obtiene conocimiento en todo momento de la presión existente en la conducción y, por tanto, del nivel de embalse.

Las características de las arquetas pueden consultarse en el anejo nº11 *Anclajes y Obras de Fábrica* y en los planos de la Balsa 6.6 y 6.8.

PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN

Apéndice 1: Propuestas de Clasificación

PROYECTO DE CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL RIESGO POTENCIAL DE ROTURA DE LA BALSA "PAPUOS" UBICADA EN EL T.M. DE JERTE (CÁCERES)

Índice

1 Introducción 5

2 Objetivo del proyecto 6

3 Legislación 7

4 Caracterización de la zona 9

4.1 Ámbito geográfico 9

4.2 Ámbito orográfico 11

4.3 Ámbito hidrográfico 12

4.3.1 Demarcación hidrográfica 12

4.3.2 Red hidrográfica 14

4.3.3 Sistema Nacional de Cartografías de Zonas Inundables (SNCZI) 14

4.4 Condicionantes hidráulicos 15

4.4.1 Infraestructuras de drenaje 15

5 Características de la balsa y el embalse 18

5.1 Identificación de la balsa y el embalse 18

5.2 Situación de la balsa 18

5.3 Características de la balsa 18

5.4 Características del embalse 19

6 Características de la zona aguas abajo de la balsa afectada por la onda de rotura 20

6.1 Cartografía empleada 20

6.2 Tipología de la zona 22

6.2.1 Posibles afecciones en caso de rotura 22

6.3 Presas existentes aguas abajo 24

7 Metodología y datos básicos del análisis hidráulico 25

7.1 Descripción y definición del modelo hidráulico bidimensional de HEC-RAS 25

7.1.1 Introducción 25

7.1.2 Contorno de la simulación 28

7.1.3 Límite aguas abajo del estudio 29

7.1.4 Escenarios de rotura 30

7.1.5 Modelización del terreno 32

7.1.6 Modelización del embalse 32

7.1.7 Modelización de la rugosidad 33

7.1.8 Modelización de infraestructuras hidráulicas 34

7.1.9 Condiciones del modelo 35

7.1.10 Parámetros de la simulación 37

7.2 Resultados del modelo hidráulico 43

7.2.1 Escenario sin avenida 44

8 Clasificación de la balsa 46

8.1 Clasificación en función de las dimensiones 46

8.2 Clasificación en función del riesgo potencial 47

8.2.1 Criterios básicos de valoración de las afecciones 48

8.3 Propuesta de clasificación 56

9 Conclusiones 57

Metodología para el cálculo de la rugosidad

1 Introducción 60

2 Rugosidad en la llanura de inundación 64

3 Rugosidad del cauce 73

Análisis de afecciones

1 Daños materiales ocasionados por la rotura 82

Planos

1 Introducción

El presente documento se redacta con objeto de establecer la clasificación de la Balsa PAPUOS, situada en el término municipal de Jerte, en la provincia de Cáceres, en función de sus dimensiones y del riesgo potencial derivado de su rotura.

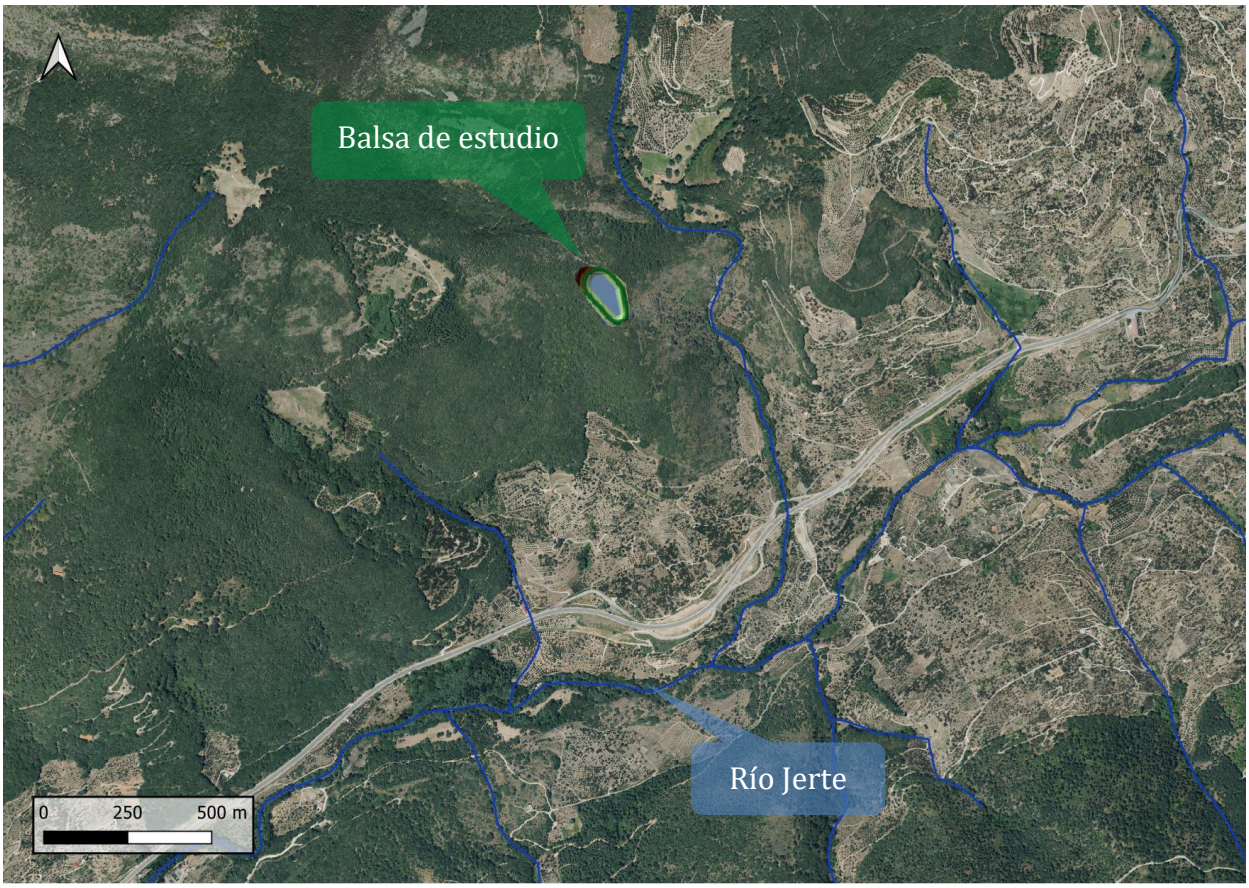


Figura 1: Localización de la balsa de estudio.

2 Objetivo del proyecto

El objeto del presente estudio es la justificación de la propuesta de clasificación, en función de las dimensiones y del riesgo potencial ante rotura, de la balsa "PAPUOS", situada en el término municipal de Jerte (Cáceres)

La presente balsa tiene una altura de 9,75 m, por lo que se establece la necesidad de clasificarla en función de su riesgo potencial según el Artículo 367.1 del Reglamento de Dominio Público Hidráulico:

Artículo 367. Obligaciones del titular.

1. *Los titulares de presas y balsas de altura superior a 5 metros o de capacidad de embalse mayor de 100.000 m3, de titularidad privada o pública, existentes, en construcción o que se vayan a construir, estarán obligados a solicitar su clasificación y registro. La resolución de clasificación deberá dictarse en el plazo máximo de un año.*

3 Legislación

A continuación, se enumera la normativa vigente adoptada como marco de referencia en el desarrollo del presente Estudio.

- Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.
- Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.
- Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, el Reglamento de Planificación Hidrológica, aprobado por el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, y otros reglamentos en materia de gestión de riesgos de inundación, caudales ecológicos, reservas hidrológicas y vertidos de aguas residuales.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.
- Plan Hidrológico Nacional (Ley 10/2001, de 5 de julio) posteriormente modificado por la Ley 11/2005, de 22 de junio.
- Instrucción de Planificación Hidrológica aprobada mediante ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre.
- Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica.
- Real Decreto 1159/2021, de 28 de diciembre, por el que se modifica el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica.
- Ley 9/2010 de 30 de julio de aguas de Andalucía y el artículo 32 de la Ley 7/2002, de 17 de diciembre, de Ordenación Urbanística de Andalucía.

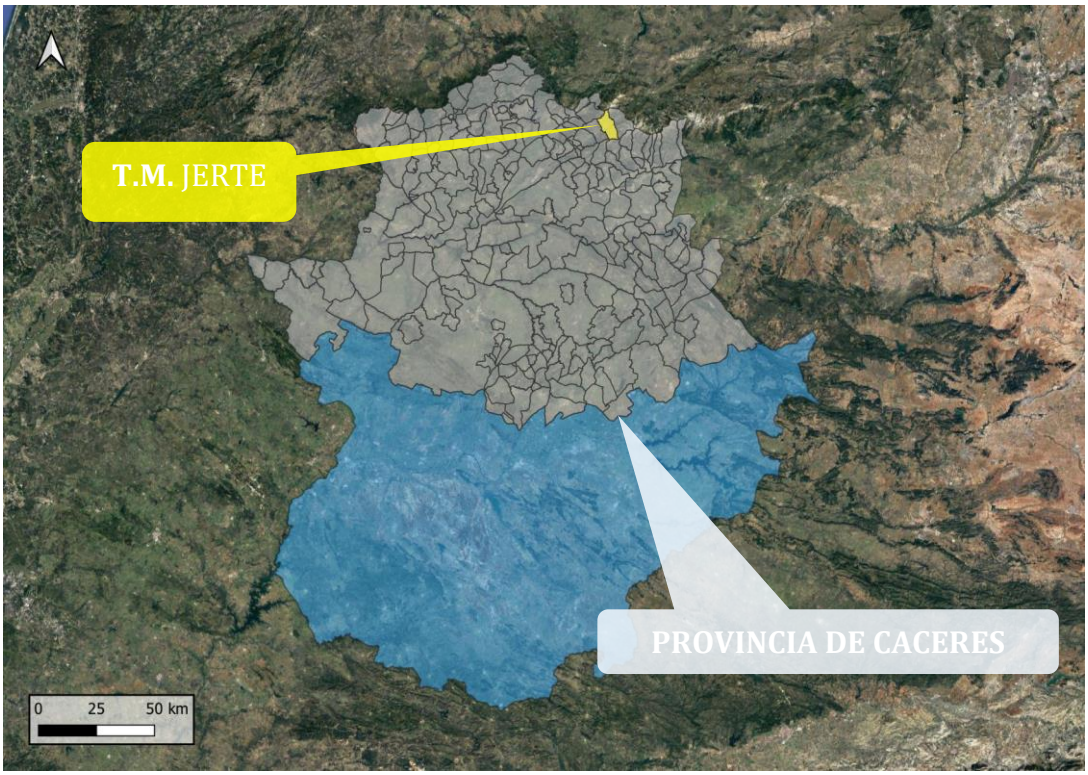
- Orden del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente de 12 de marzo de 1996 por el que se aprueba el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses.
- "Guía Técnica para la Clasificación de Presas en función del riesgo potencial" de la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas del Ministerio de Medio Ambiente, publicada en el año 1996.
- Real Decreto 264/2021, de 13 de abril, por el que se aprueban las normas técnicas de seguridad para las presas y sus embalses.
- "Guía Técnica para la Clasificación de Presas en función del riesgo potencial" de la Dirección General del Agua del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, publicada en noviembre de 2021 y actualizada en junio de 2023.
- Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, por el que se aprueba la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro. 3º ciclo 2022-2027.

4 Caracterización de la zona

A lo largo del presente apartado se describen las características fundamentales de la zona en la que se realiza el proyecto incidiendo en la localización de la misma, los elementos orográficos e hidrográficos y los condicionantes hidráulicos existentes en el entorno.

4.1 Ámbito geográfico

La zona de estudio se sitúa en el Término Municipal de Jerte.



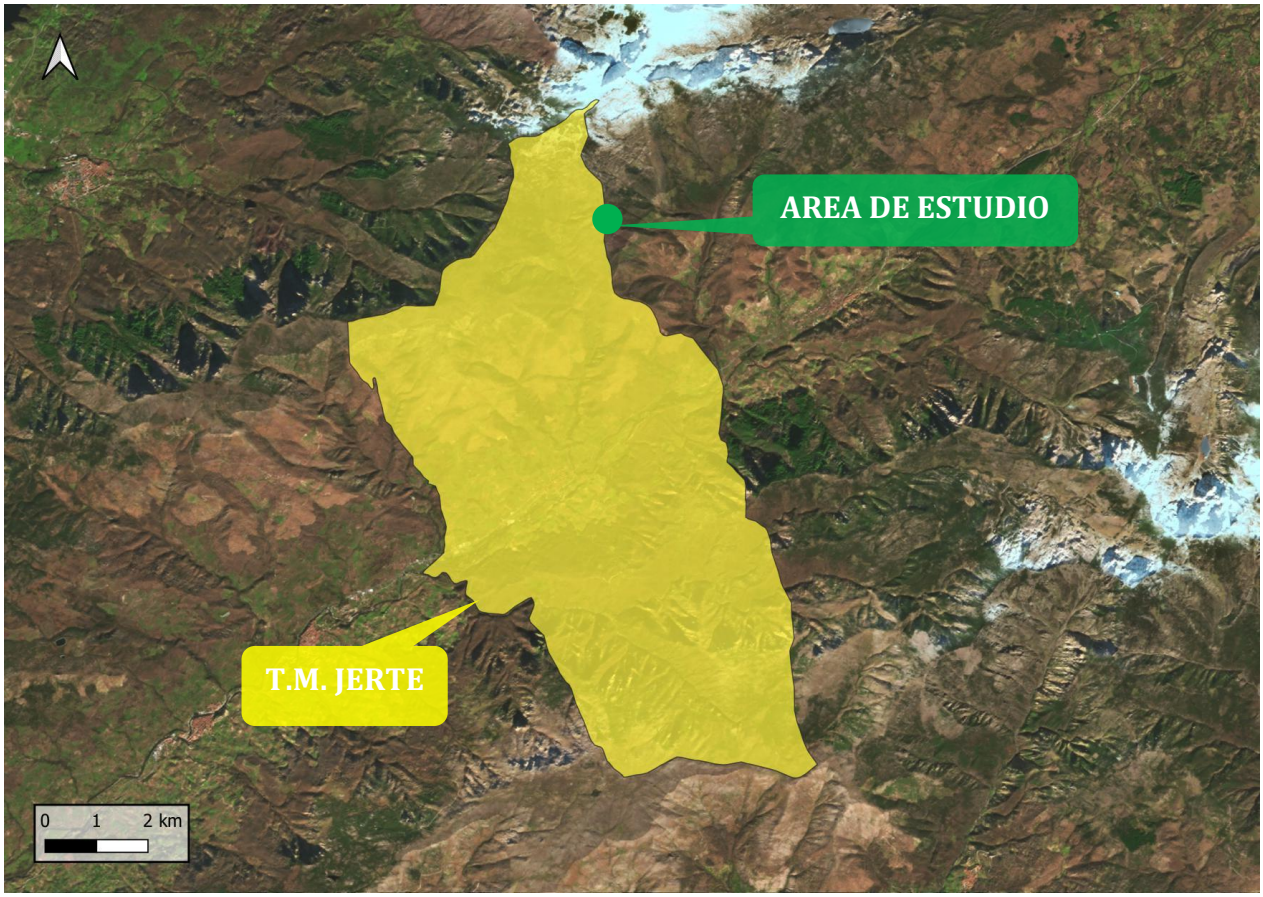


Figura 2: Localización del área de estudio en la provincia de Cáceres y el término municipal de Jerte.



Figura 3: Localización de detalle del área de estudio.

4.2 Ámbito orográfico

La orografía de la zona de estudio se caracteriza por las grandes pendientes que forman el valle del Jerte. La balsa de estudio se encuentra a la 970 m.s.n.m y el río jerte en la zona de estudio a la cota 670 m.s.n.m.

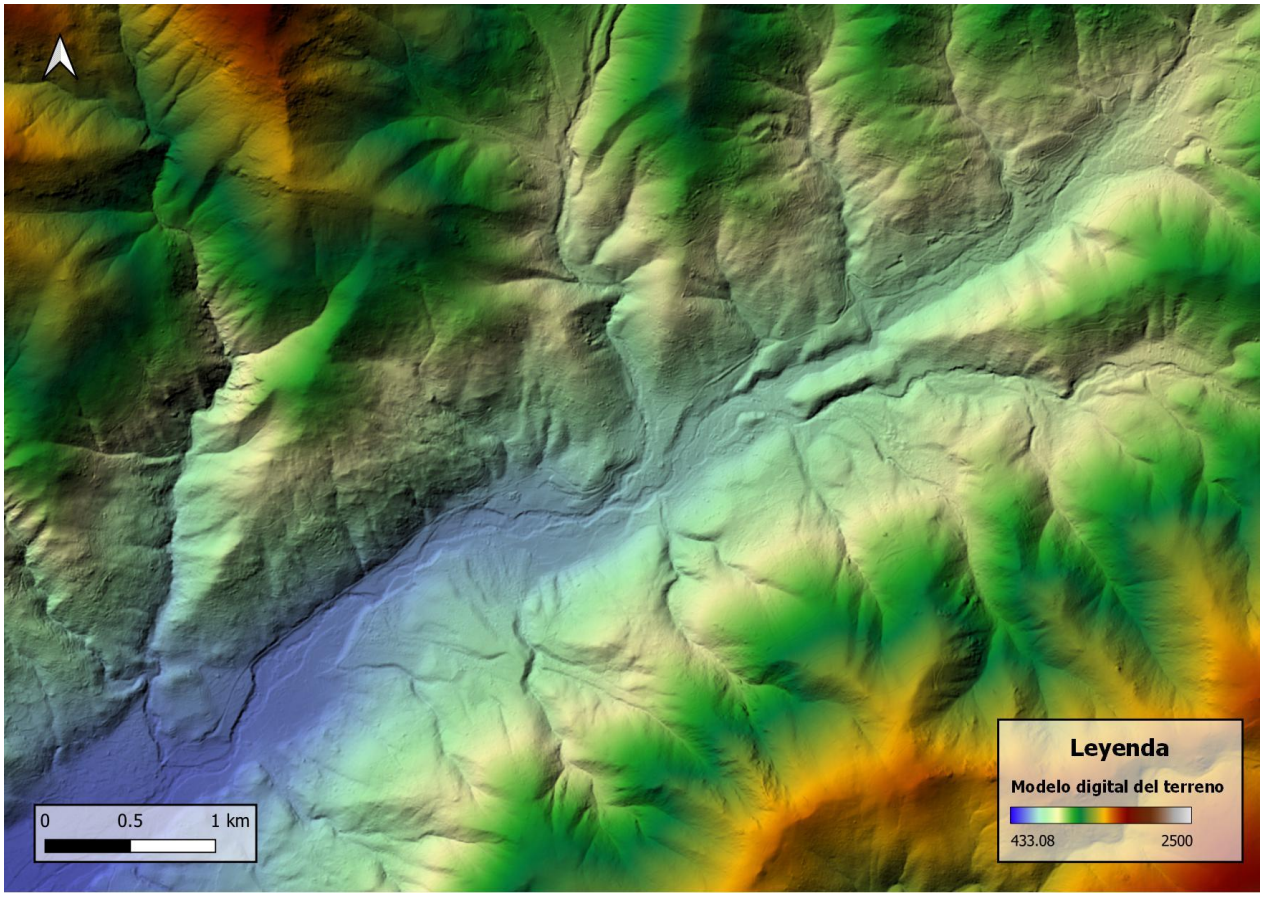


Figura 4: Ámbito orográfico de la zona de estudio (Fuente: MDT05 del Centro Nacional de Información Geográfica).

4.3 Ámbito hidrográfico

4.3.1 Demarcación hidrográfica

La zona de estudio se encuentra ubicada dentro de la Demarcación Hidrográfica de Tajo.



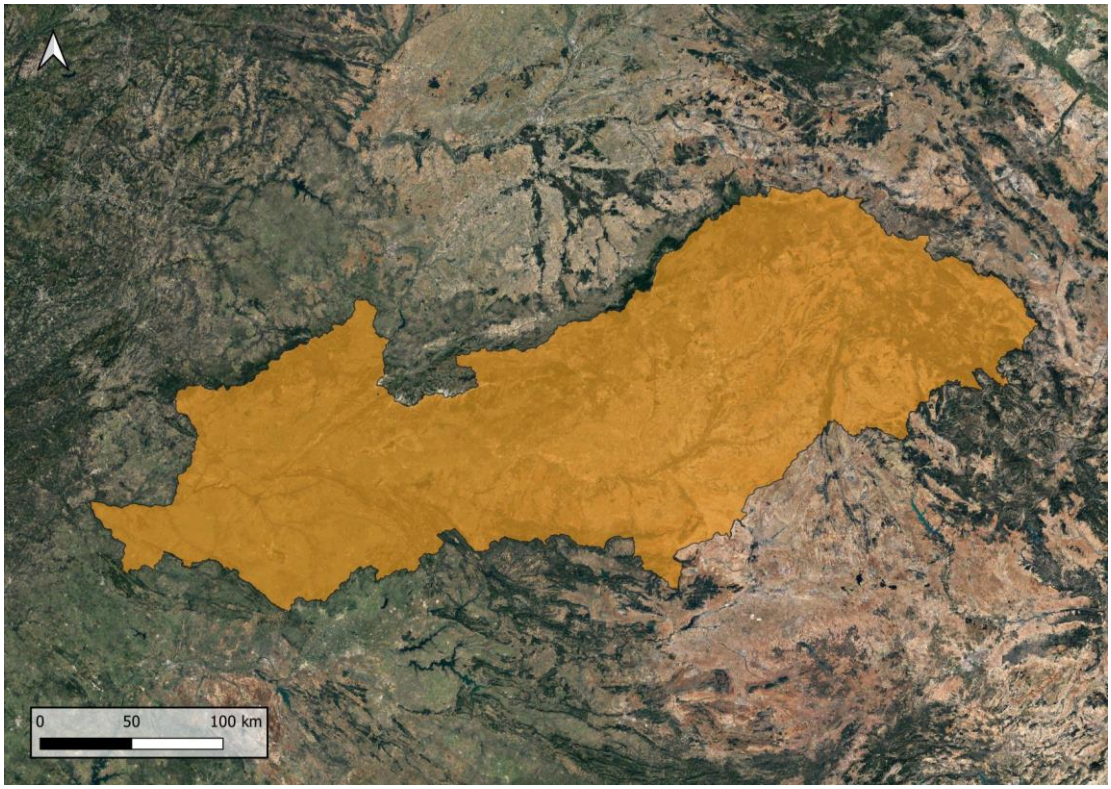


Figura 5: Localización del área de estudio respecto a la Demarcación Hidrográfica Tajo.

4.3.2 Red hidrográfica

Con el objeto de definir hidrográficamente el ámbito de estudio, se ha consultado la red hidrográfica disponible en formato shapefile en la Infraestructura de Datos Espaciales de las Demarcaciones Hidrográficas del Tajo.



Figura 6: Red hidrográfica en la zona según datos de la Confederación hidrográfica del Tajo.

4.3.3 Sistema Nacional de Cartografías de Zonas Inundables (SNCZI)

El MAPAMA, siguiendo los principios de la Directiva 2007/60 sobre evaluación y gestión de riesgos de inundación, ha desarrollado el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) como instrumento de apoyo a la gestión del espacio fluvial, la prevención de riesgos, la planificación territorial y la transparencia administrativa.

El sistema tiene como base una cartografía que permite visualizar los estudios de zonas inundables elaborados por el Ministerio y las Comunidades Autónomas (https://sig.mapama.gob.es/snczi/).

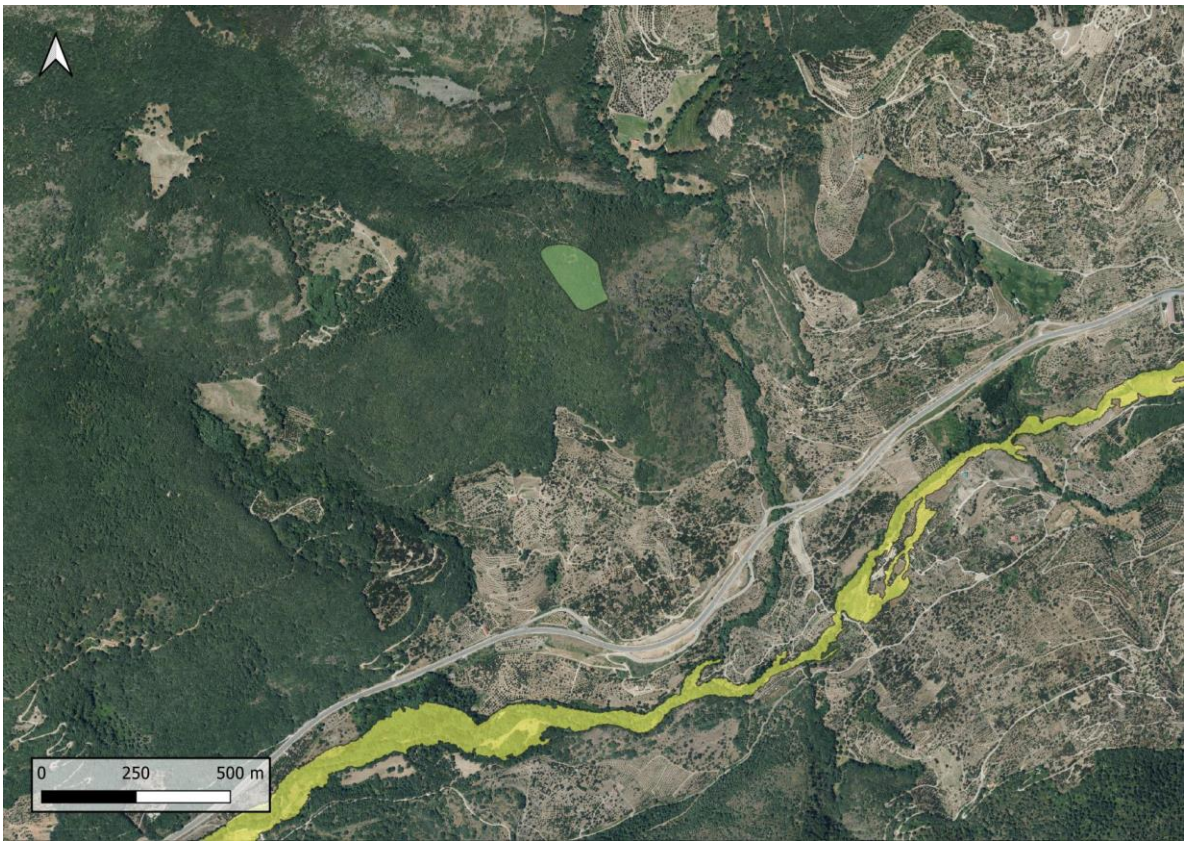


Figura 7: SNCZI en el entorno de estudio (lámina correspondiente a 500 años, con probabilidad baja)

Como se puede extraer de la imagen anterior, aguas abajo de la zona de estudio, existe cartografía de zonas inundables, es decir, el tramo final del río Jerte se encuentra recogido.

4.4 Condicionantes hidráulicos

4.4.1 Infraestructuras de drenaje

La zona de estudio posee 5 de obras de paso hidráulicas situadas sobre los diferentes arroyos para dar paso a las carreteras y caminos que discurren sobre ellos, las cuales se muestran en la siguiente imagen:



Figura 8: Situación de las obras de drenaje en la zona de estudio

La caracterización de las obras de drenaje expuestas se detalla en la siguiente tabla:

ID	CAUCE	CARACTERÍSTICAS Y DIMENSIONES	IMAGEN
1	Arroyo Innominado	▪ Número de tubos: 1 ▪ Material: Hormigón armado ▪ Diámetro: 1000 mm	

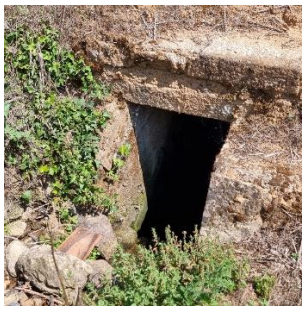
ID	CAUCE	CARACTERÍSTICAS Y DIMENSIONES	IMAGEN
2	Arroyo Innominado	▪ Número de tubos: 1 ▪ Material: Hormigón armado ▪ Diámetro: 1000 mm	
3	Arroyo Innominado	▪ Número de marcos: 1 ▪ Material: Hormigón armado ▪ Dimensiones: 1,50 x 1,50 m	
4	-	▪ Número de marcos: 1 ▪ Material: Hormigón armado ▪ Dimensiones: 1,50 x 0,70 m	
5	-	▪ Número de marcos: 1 ▪ Material: Hormigón armado ▪ Dimensiones: 2,00 x 2,50 m	

Tabla 1: Características de las obras de drenaje existentes en la zona de estudio que serán modelizadas.

5 Características de la balsa y el embalse

5.1 Identificación de la balsa y el embalse

- Denominación de la balsa y del embalse: Papuos.
- Titular: Comunidad de Regantes del Jerte.
- Datos del titular:
  - NIF: G10291268,
  - Dirección: C/ Real, 2, 10612 Jerte, Cáceres
- Representante: Ramón Arias Salgado, Presidente de la Comunidad de Regantes
- Datos del representante:
  - NIF: 03841643-E

5.2 Situación de la balsa

- Cauce y demarcación hidrográfica: Garganta de Becedas, Demarcación hidrográfica del Tajo.
- Provincia y Comunidad Autónoma: Cáceres, Extremadura.
- Coordenadas de centro de balsa UTM ETRS89: huso 30

  X: 268521.361

  Y: 4458857.715

5.3 Características de la balsa

Tipología de la balsa y aliviadero: materiales sueltos. Aliviadero de sección circular

- Tipología de la balsa y del aliviadero: Materiales sueltos. Aliviadero de sección circular Ø 600 mm.
- Características de la balsa:

PARÁMETRO	VALOR
Cota de solera	969
Cota de vertedero	969
Cota de coronación	976,25
Ancho de coronación (m)	4
Altura de balsa (m)	9,75
Perímetro de coronación exterior (m)	451,05
Perímetro de coronación interior (m)	425,92
Cota NMN	975,05

Tabla 2: Características de la balsa

- Órganos de desagüe: Asimismo, el desagüe de la balsa se realiza desde una arqueta de fondo con una tubería de acero DN 610 mm, recubierta con una tubería de hormigón de 800 mm a modo de camisa hasta la salida del dique, que conecta con la arqueta de válvulas compartida con la conducción para riego, desde la cual se evacúa el agua, con tubería de PE100 Ø 630 mm -PN16, al punto de vertido.

5.4 Características del embalse

PARÁMETRO	VALOR
Volumen de embalse a cota NMN (m^3)	46,449.55
Volumen de embalse a cota de coronación (m^3)	48,066.36

Tabla 3: Características del embalse

6 Características de la zona aguas abajo de la balsa afectada por la onda de rotura

6.1 Cartografía empleada

Las fuentes de datos empleada para la obtención de la cartografía del presente estudio son:

- Modelo digital disponible en el Centro de Descarga del Centro Nacional de Información Geográfica del Instituto Geográfico Nacional del Ministerio de Fomento del Gobierno de España.
  https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/locale?request_locale=en



  A escala de cuenca (escala hidrológica), se ha utilizado el modelo digital del terreno disponible con un paso de malla de 5 m, con la misma distribución de hojas que el MTN50. El formato de archivo es ASCII matriz ESRI (asc). El sistema geodésico de referencia es ETRS89 (en Canarias REGCAN95, compatible con ETRS89) 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 50 cm/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. El modelo digital del terreno con paso de malla de 5x5 m en la zona de estudio se muestra en la siguiente imagen:

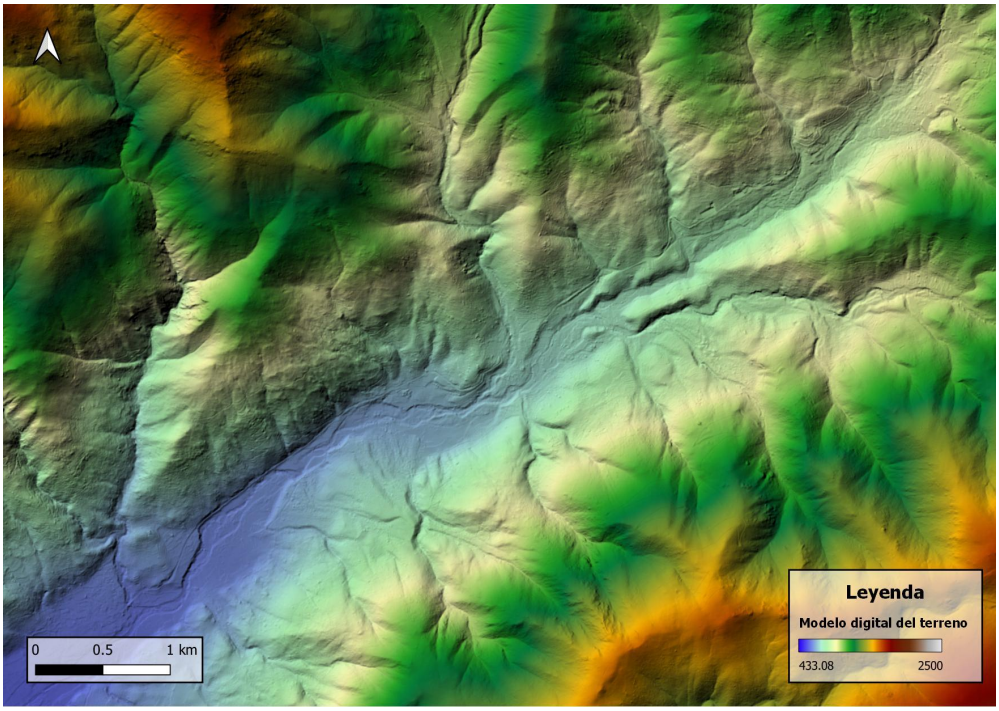


Figura 9: Modelo Digital del Terreno en la zona de estudio para la escala hidrológica (Fuente: MDT05 del Centro Nacional de Información Geográfica).

A escala de la zona concreta de estudio (escala hidráulica), se han utilizado los ficheros LiDAR, que son ficheros digitales con información altimétrica de la nube de puntos LiDAR, distribuidos en ficheros de 2x2 km de extensión. El formato de descarga es un archivo LAZ (formato de compresión de ficheros LAS). Las nubes de puntos han sido capturadas mediante vuelos con sensor LiDAR con una densidad de 0,5 puntos/m2, y posteriormente clasificadas de manera automática y coloreadas mediante RGB obtenido a partir de ortofotos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) con tamaño de pixel de 25 ó 50 cm. El sistema geodésico de referencia es ETRS89 en la Península, Islas Baleares, Ceuta y Melilla, y REGCAN95 en las Islas Canarias (ambos sistemas compatibles con WGS84), y proyección UTM en el huso correspondiente a cada fichero. Se representan alturas ortométricas. El modelo digital del terreno obtenido de los ficheros LiDAR en la zona de estudio se muestra en la siguiente imagen:

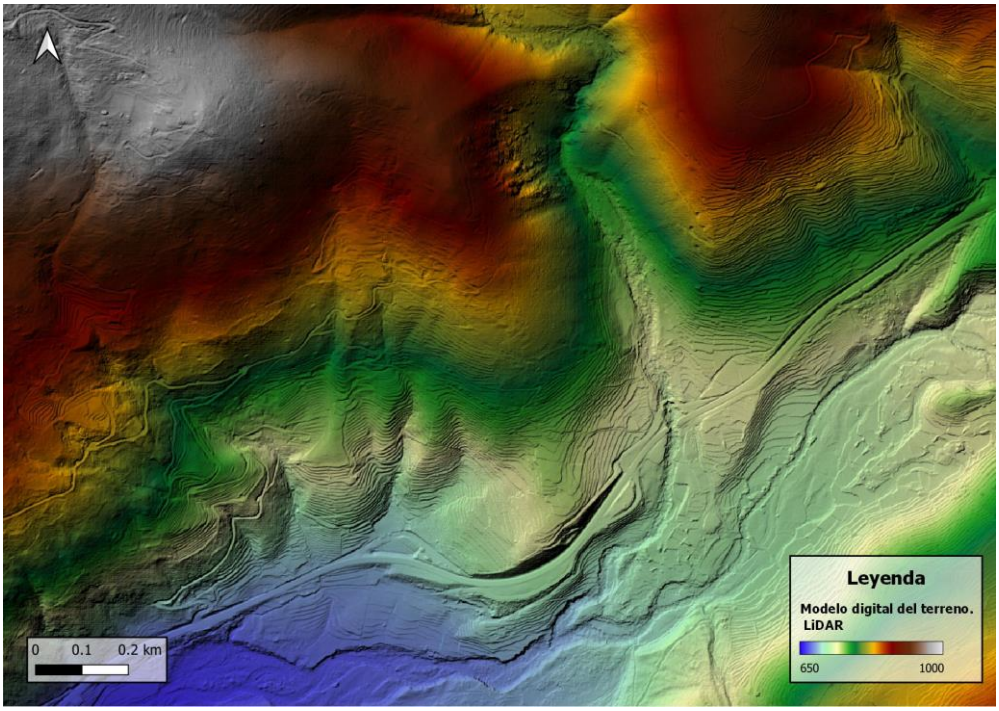


Figura 10: Modelo Digital del Terreno en la zona de estudio para la escala hidráulica (Fuente: ficheros LiDAR del Centro Nacional de Información Geográfica).

- Modelo topográfico de la balsa con tamaño de celda de 50 centímetros.

6.2 Tipología de la zona

La balsa Papuos se encuentra ubicada en un entorno rural, alejada de núcleos de población. En las proximidades se encuentran edificaciones aisladas destinadas a usos agrarios y caminos rurales que dan acceso a estas edificaciones. Aguas abajo de la balsa se encuentra la carretera N-110 la cual comunica el sur de la comunidad de Castilla y León con el valle del jerte.

6.2.1 Posibles afecciones en caso de rotura

En el entorno aguas abajo de la balsa existen ocho puntos de posible afección en caso de rotura de la balsa.

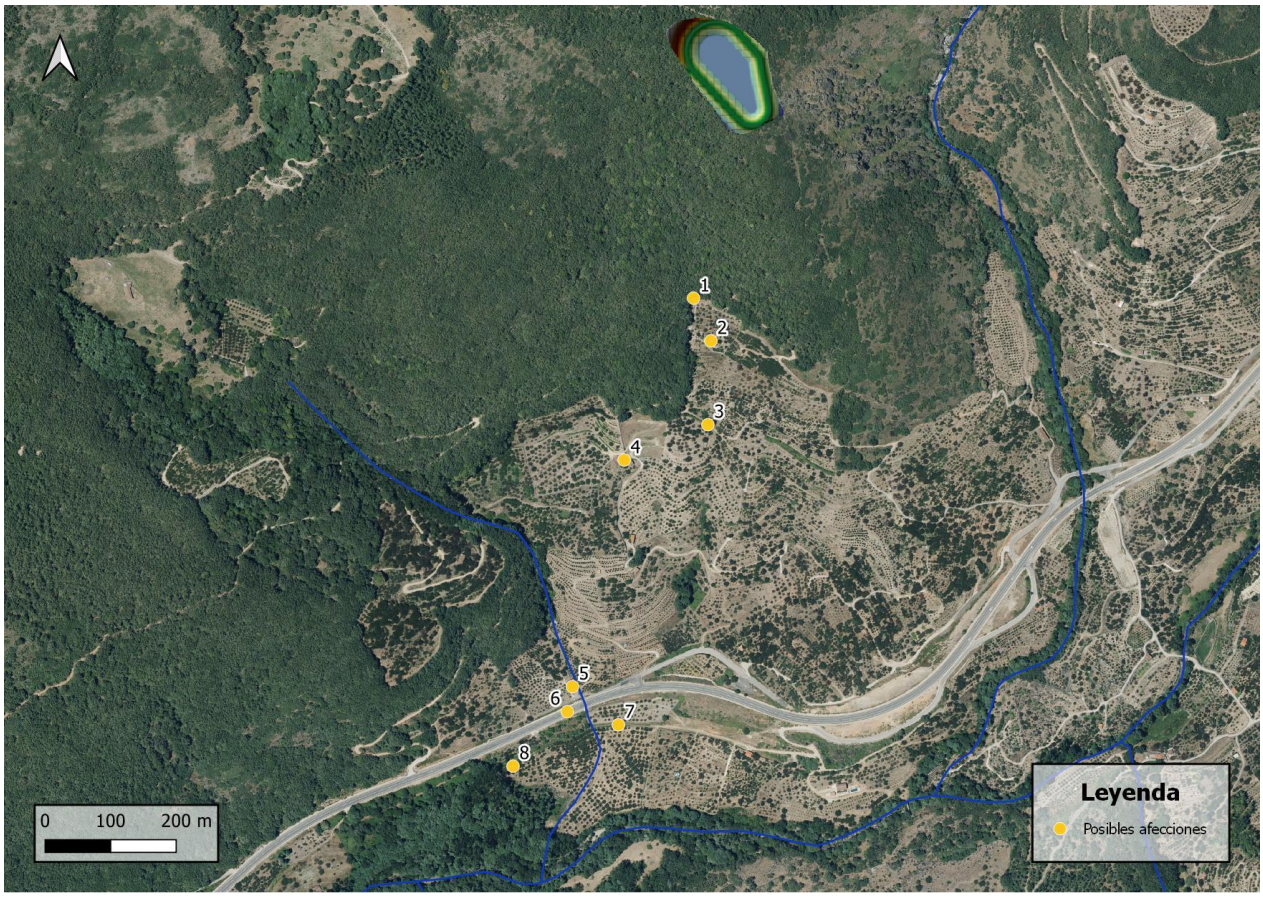


Figura 11: Situación de las posibles afecciones aguas abajo de la balsa

PUNTO	POSIBLE AFECCIÓN	PARCELA CATASTRAL	TÉRMINO MUNICIPAL
Punto 1	Camino de la huerta del Lagar	10110A001090040000QR	Jerte
Punto 2	Edificación aislada	10110A001001030000QM	Jerte
Punto 3	Camino rural	10110A001090020000QO	Jerte
Punto 4	Edificación aislada	10110A001008680000QF	Jerte
Punto 5	Edificación aislada	10110A001008840000QS	Jerte
Punto 6	Carretera N-110	10110A001090010000QM	Jerte
Punto 7	Camino rural	10110A002090070000QM	Jerte

PUNTO	POSIBLE AFECCIÓN	PARCELA CATASTRAL	TÉRMINO MUNICIPAL
Punto 8	Edificación aislada	10110A002000690000QY	Jerte

Tabla 4: Identificación de las posibles afecciones

6.3 Presas existentes aguas abajo

No existe ninguna presa aguas abajo de la balsa de estudio.

7 Metodología y datos básicos del análisis hidráulico

Los cálculos hidráulicos se han realizado mediante HEC-RAS 2D (versión 6.3), del inglés Hydrologic Engineering Center - River Analysis System. Este modelo matemático es una versión actualizada del modelo HEC-2, "Water Surface Profiles", desarrollado en el "Hydrologic Engineering Center" del "U.S. Army Corps of Engineers". Se ha desarrollado un modelo bidimensional de toda la zona de cálculo, utilizando como datos de entrada los hidrogramas de caudales anteriormente expuestos.

Se han realizado las siguientes simulaciones hidráulicas correspondientes a los escenarios de rotura:

- Escenario sin avenida

A lo largo del presente apartado se detallan los diferentes aspectos de los modelos desarrollados (escenarios de rotura, parámetros, tipos de modelización realizados, condiciones, etc.), para finalmente analizar los resultados obtenidos.

7.1 Descripción y definición del modelo hidráulico bidimensional de HEC-RAS

7.1.1 Introducción

Las capacidades en las que se basa el flujo bidimensional en HEC-RAS han sido desarrolladas para permitir trabajar de manera combinada en modelizaciones 1D/2D. El algoritmo de modelización de flujo 2D presenta las siguientes características:

- Puede efectuar simulaciones 1D, 2D y combinaciones de ambas. HEC-RAS puede realizar simulaciones unidimensionales, bidimensionales y combinar ambas posibilidades. Poder efectuar modelizaciones combinadas en el mismo modelo en régimen no permanente facilita el trabajo en ríos de cierta longitud usando la

modelización 1D y modelizar en 2D las zonas que requieran una mayor precisión en la computación hidrodinámica.

- Resolución en 2D por ecuaciones completas de Saint Venant o por onda difusiva. El programa resuelve en 2D indistintamente a través de las ecuaciones completas de Saint Venant o mediante las de onda difusiva. En general las ecuaciones de la onda difusiva computan más rápidamente y presentan mayor estabilidad. Las ecuaciones completas de Saint Venant pueden aplicarse a una gama más amplia de situaciones, requiriendo un mayor esfuerzo computacional.
- Solución de algoritmo implícito de volúmenes finitos. Para la solución de las ecuaciones de flujo 2D no permanente el programa usa un algoritmo implícito de volúmenes finitos que permite mayores intervalos computacionales que los métodos explícitos, y ofrece mayor estabilidad respecto de otros más tradicionales como, por ejemplo, el de elementos finitos, consiguiendo que la determinación de mojado o secado de un elemento 2D sea muy fiable. De este modo, las zonas de flujo 2D pueden iniciarse completamente secas y resolver una situación de crecida, ya sea mediante régimen subcrítico, supercrítico o mixto.
- Resolución sincronizada 1D y 2D del algoritmo. En la computación paso a paso la resolución de los algoritmos 1D y 2D se encuentran íntimamente conectados, con la opción de iteración de transferencia de flujo 1D a 2D en un mismo paso computacional, de manera que siempre existe una sincronización y correlación directa entre elementos 1D y 2D en cada paso de cálculo.
- Mallas estructuradas y no estructuradas. El software está diseñado para resolver tanto mallas estructuradas como no estructuradas, ya que su tratamiento es idéntico, pero la eficiencia es mayor si las celdas son ortogonales entre sí. Las celdas pueden ser triangulares, cuadradas, rectangulares o poligonales hasta un máximo de 8 lados. Estas mallas están perimetralmente delimitadas por un polígono en cuyo interior se distribuyen celdas de diferente tamaño y forma.
- Clasificación de características hidráulicas detalladas para celdas y sus aristas. Las celdas no tienen por qué conformar una superficie plana, ni sus aristas ni bordes tiene por qué ser líneas rectas con una sola cota o elevación. Al contrario, cada celda y

aristas se amoldan al terreno que yace bajo ella. A este tipo de modelos se les suele referir en la literatura como "modelos de subentramado de alta resolución". El término subentramado significa que se usa una información detallada subyacente o de "fondo" del terreno para establecer mediante un pre-proceso unas tablas de propiedades geométricas e hidráulicas que caractericen las celdas y sus aristas basándose en el terreno. El pre-proceso de la zona 2D genera una relación elevación-volumen en cada celda basada en los datos de detalle del MDE. Por consiguiente, una celda puede estar parcialmente mojada según sea el volumen de agua para una elevación de superficie de agua determinada basado en la parrilla o entramado de 0,5 m. Complementariamente, cada arista de celda funciona como una sección transversal y se clasifica según sus propias características hidráulicas (rugosidad, área, perímetro mojado, etc.). El flujo a través de una arista (y en consecuencia entre dos celdas) se basa en estos datos de detalles. Esto permite modelizar con celdas de gran tamaño sin perder demasiada información de detalle sobre el terreno subyacente y que rige el movimiento del flujo. Adicionalmente, la ubicación de aristas a lo largo de la parte superior de elementos de control de terreno (carreteras, terraplenes, muros, etc.) mejoran considerablemente los cálculos hidráulicos usando pocas celdas.

Cada arista es una sección transversal de detalle del terreno subyacente. Este proceso permite al flujo moverse entre celdas a partir de los datos del terreno según se representan por las aristas y el volumen que queda contenido en cada celda. Por consiguiente, un pequeño canal que atraviesa una celda sigue representándose por la relación elevación-volumen de la misma y las características hidráulicas de las aristas. Así, el agua puede fluir a través de celdas de gran tamaño, pero seguir siendo representada con sus características habituales de canal. En la siguiente imagen se muestra un ejemplo en el que aparecen canales de menos de 30 m de ancho en una malla con 150 m de lado:

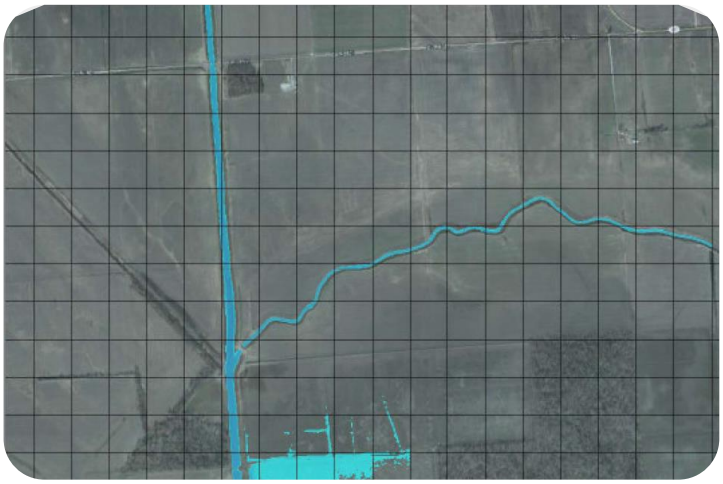


Figura 12: Ejemplo de Flujo en canales pequeños circulando por celdas de gran tamaño.

7.1.2 Contorno de la simulación

En la siguiente imagen se muestra el contorno elegido para llevar a cabo la simulación hidráulica. Para su definición se ha adoptado una distancia suficiente entre las zonas por las que entra y sale el flujo de agua de forma que el modelo pueda estabilizarse adecuadamente en la zona de mayor interés para el análisis.



Figura 13: Contorno de la simulación hidráulica

7.1.3 Límite aguas abajo del estudio

El límite de estudio se ha establecido en la confluencia con el río Jerte. Esto es debido a que la cuenca aportante del río Jerte tiene una superficie de 5070 Ha, la cual genera un caudal mucho más significativo que el caudal generado por la rotura de la balsa.

Se ha realizado una comprobación de la delimitación de la cuenca del río jerte en la zona de estudio mediante la herramienta CARTODES (https://cartodes.com/), la cual se representa en la siguiente imagen.



Figura 14: Delimitación de la cuenca del río jerte en la zona de estudio en CARTODES

Por otra parte, como se verá en los siguientes apartados, la rotura de la balsa afecta a la carretera N-110 lo cual determina la clasificación de la balsa como tipo A y por lo tanto no es necesario seguir analizado las afecciones generadas por la rotura de la balsa de estudio en la presente propuesta de clasificación.

7.1.4 Escenarios de rotura

La metodología para establecer la clasificación de la balsa se basa en el análisis de los efectos producidos aguas abajo de la balsa en dos escenarios extremos:

1. Escenario sin avenida: rotura de la presa en ausencia de avenida y con el embalse situado en su NMN. Siendo el NMN el máximo nivel de retención de agua que se alcanza en el embalse cuando todos los elementos mecánicos de los órganos de desagüe se encuentran cerrados.

2. Escenario límite: embalse en su NMN y desagüe de un hidrograma que pueda llenarlo hasta la coronación de la presa, manteniendo ésta todos sus elementos de desagüe abiertos, produciéndose a continuación la rotura de la presa.

En el caso de la Balsa PAPUOS, esta no intercepta niún cauce, por lo que la situación de avenida no afecta más que en las pluviales que puedan recibirse en el área de la balsa. Por lo tanto, en el escenario límite, se modelizará la rotura de la balsa en la situación de llenado hasta coronación.

Según la metodología general, el proceso de clasificación de la balsa sigue el siguiente esquema de análisis de los escenarios estudiados.

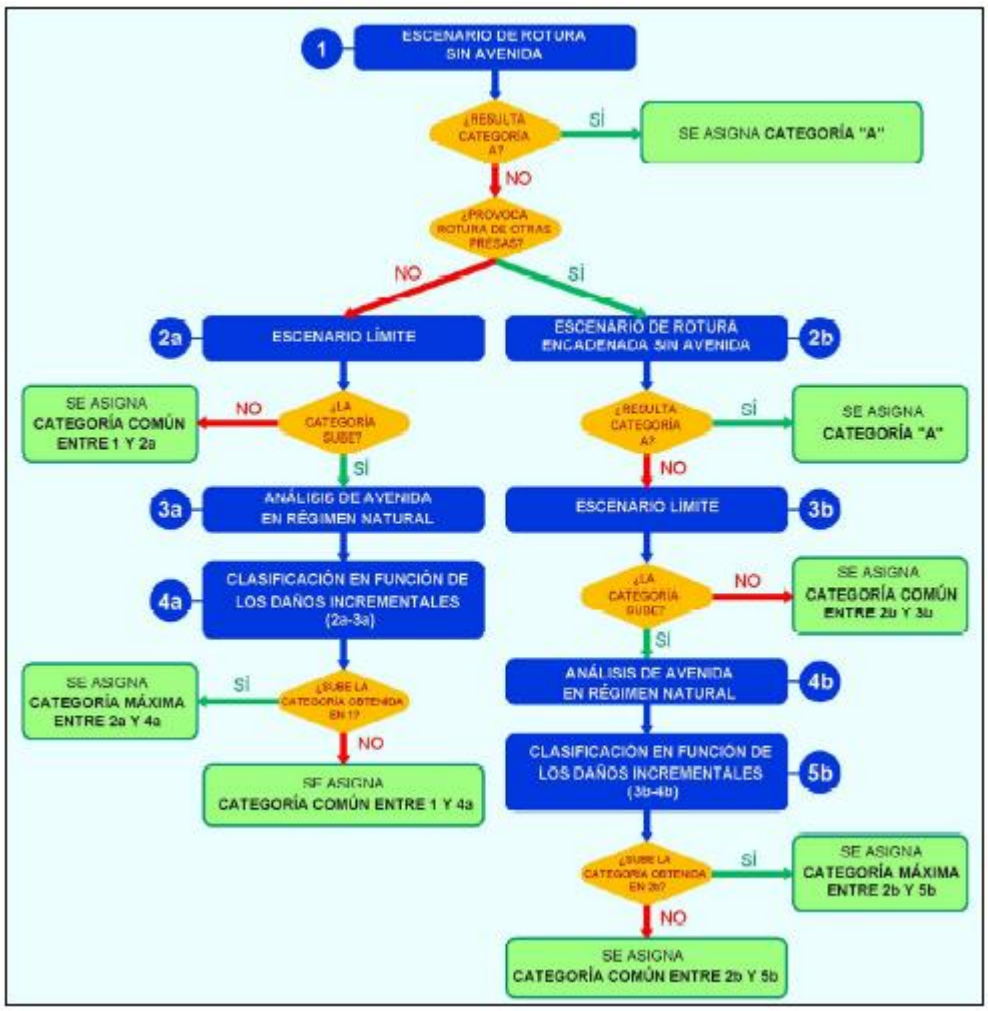


Figura 15: Proceso de clasificación.

La clasificación final de la balsa corresponderá a la mayor entre la asignada en el escenario sin avenida y la correspondiente a los efectos incrementales del escenario límite respecto al supuesto de avenida en régimen natural.

7.1.5 Modelización del terreno

Para la modelización del terreno se ha tomado el Modelo Digital del Terreno (MDT) del vuelo Lidar, proporcionado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Dicho modelo, obtenido a partir de una nube de puntos con densidad de 0,5 puntos por metro cuadrado, Se ha unido al modelo topográfico de la balsa con tamaño de celda de 50 centímetros.

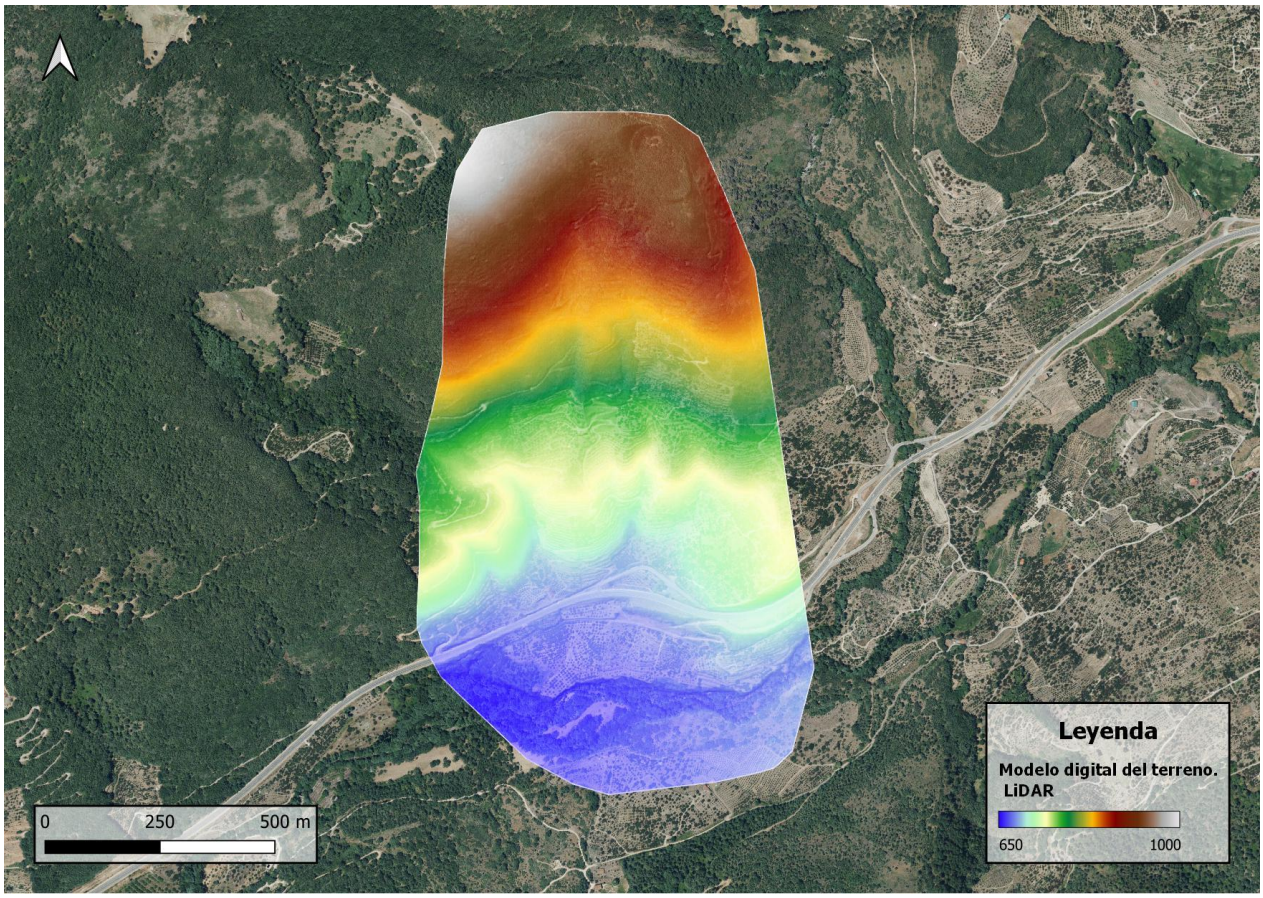


Figura 16: Modelo Digital del Terreno en la zona de estudio

7.1.6 Modelización del embalse

El vaso del embalse creado por la balsa se introduce en la malla de cálculo del modelo hidráulico para poder simular el vaciado del mismo como consecuencia de la rotura de la

balsa. Esta modelización del vaso del embalse se realiza a partir de la modelización realizada en el diseño de la balsa

7.1.7 Modelización de la rugosidad

Las pérdidas por rozamiento se calculan a través de la ecuación de Manning. Al tratarse de un modelo bidimensional, el propio modelo tiene en cuenta factores como la sinuosidad y la irregularidad en las secciones. La determinación de la rugosidad del terreno se ha realizado en base a los usos del suelo recogidos en el Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España (SIOSE- 2013) llevado a cabo por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). De esta forma, se ha obtenido la cobertura de usos del suelo dentro del dominio de cálculo.

Los valores de los coeficientes de rugosidad de Manning aplicados se han obtenido de la tabla expuesta en la Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. En el Apéndice Nº1 se detalla el procedimiento seguido para su obtención. Asimismo, se han revisado dichos valores en base a la ortofoto de máxima actualidad del PNOA editada por el Instituto Geográfico Nacional y disponible en el centro de descargas del Centro Nacional de Información Geográfica con vistas a identificar cambios del uso del suelo posteriores a la fecha de publicación del SIOSE que se traduzcan en una variación de la rugosidad.

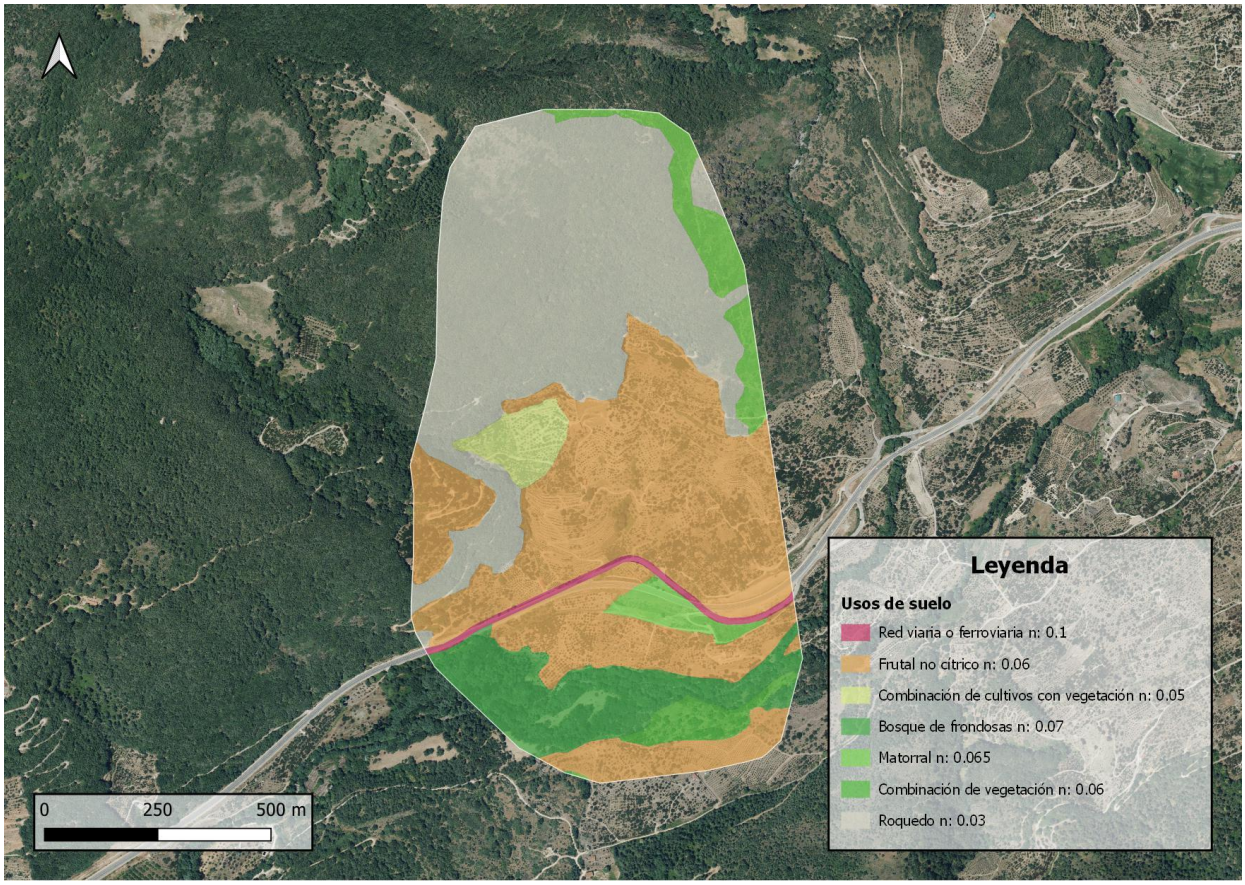


Figura 17: Mapa de usos de suelo en la zona de estudio

7.1.8 Modelización de infraestructuras hidráulicas

De cara a la modelización de las infraestructuras hidráulicas se han tenido en cuenta los siguientes aspectos:

- Tipología, forma y dimensiones de la obra.
- Pérdidas de entrada y salida en la misma (en general, se ha definido un coeficiente de pérdidas de 0,5 a la entrada y de 1 a la salida).
- Número de Manning para caracterizar la rugosidad.

Las diferentes infraestructuras hidráulicas existentes en el entorno de estudio se han modelizado de acuerdo a los parámetros indicados en la siguiente tabla:

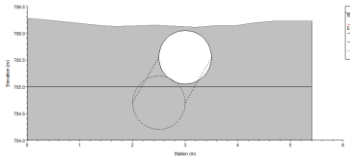
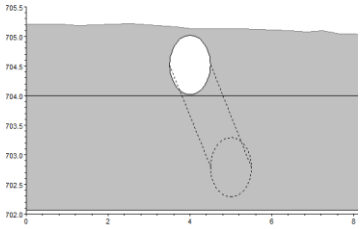
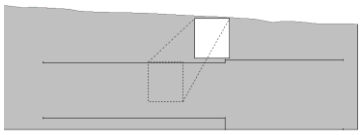
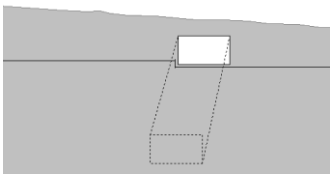
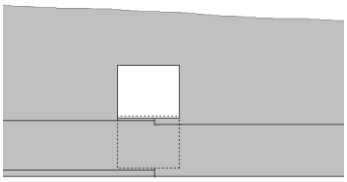
ID	CARACTERÍSTICAS	CLAVES DE LA MODELIZACIÓN	MODELIZACIÓN
1	Tubo de hormigón ▪ Número de tubos: 1 ▪ D = 1.000 mm ▪ n = 0,015	Inclusión de un elemento hidráulico tipo "culvert" en el modelo de cálculo	
2	Tubo de hormigón ▪ Número de tubos: 1 ▪ D = 1000 mm ▪ n = 0,015		
3	Marco de hormigón ▪ Numero de marcos: 1 ▪ Dimensiones: 1,50x1,50 ▪ n = 0,015		
4	Marco de hormigón ▪ Numero de marcos: 1 ▪ Dimensiones: 1,50x0,70 ▪ n = 0,015		
5	Marco de hormigón ▪ Numero de marcos: 1 ▪ Dimensiones: 1,50x0,70 ▪ n = 2,00x2,50		

Tabla 5: Parámetros para la modelización de las obras de drenaje del entorno

7.1.9 Condiciones del modelo

Las condiciones de un modelo se corresponden con los valores iniciales en el dominio y en los contornos del mismo. A tal efecto, se distingue entre condiciones iniciales, como es el calado inicial en el dominio de cálculo, y condiciones de contorno e internas, como es la zona de entrada del flujo (y los valores del mismo en función del tiempo) y la zona de salida del flujo del modelo.

7.1.9.1 CONDICIONES INICIALES

Se ha introducido como condición inicial un calado nulo en todo el dominio de cálculo.

En el caso del escenario sin avenida, como situación inicial el embalse se encuentra lleno a NMN y, en el caso del escenario límite, a cota de coronación.

7.1.9.2 CONDICIONES DE CONTORNO A INTERNAS

La definición de las condiciones de contorno del modelo pasa por el establecimiento de las zonas de entrada de flujo al dominio de cálculo (y el correspondiente valor del mismo) y las zonas de salida del flujo. En la siguiente imagen se muestran dichas zonas para el caso de estudio:

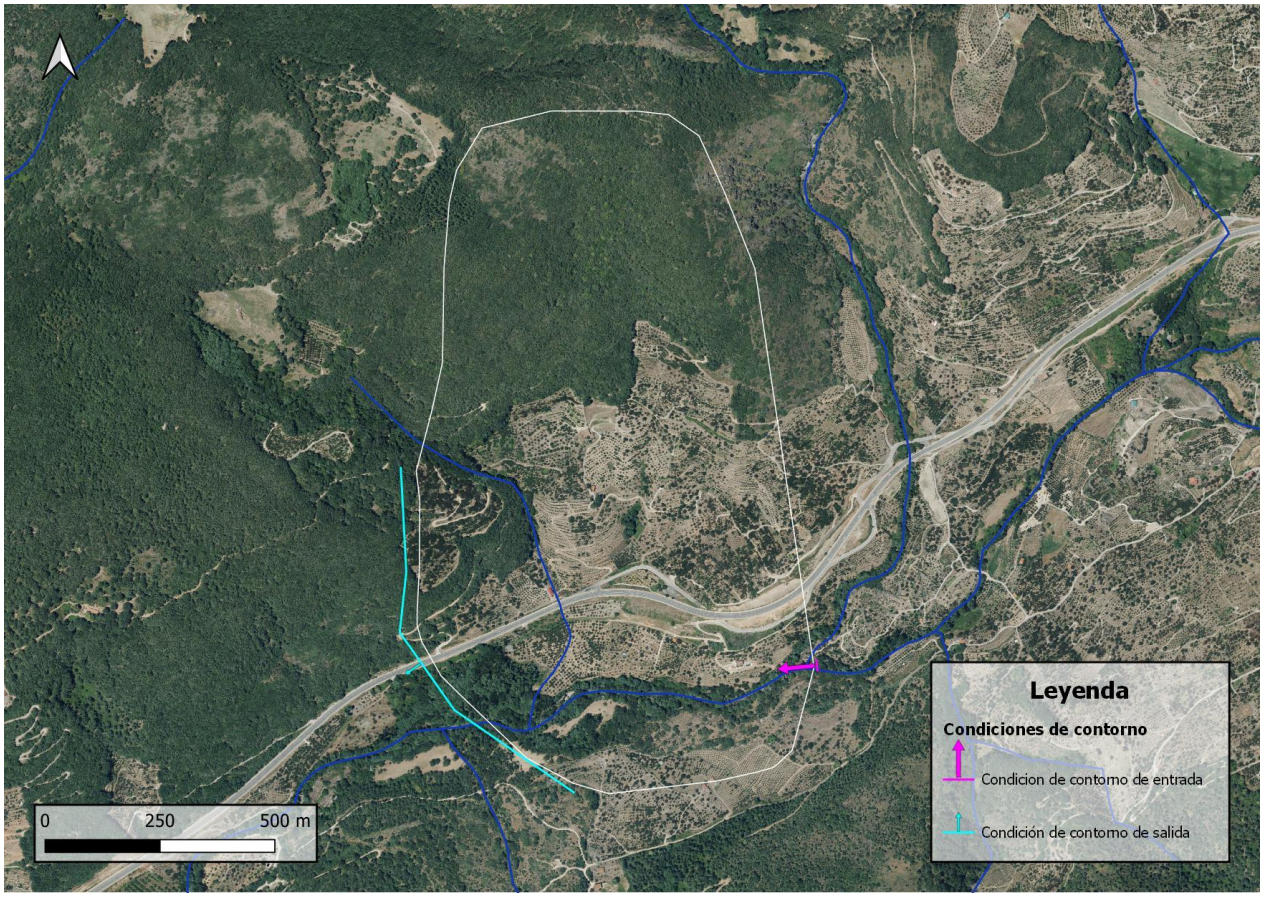


Figura 18: condiciones de contorno del modelo de cálculo hidráulico

A continuación, se describen las características de los tipos de condiciones de contorno implementadas en el modelo.

7.1.9.2.1 CONDICIONES DE CONTORNO E INTERNAS DE ENTRADA

Las condiciones de contorno de entrada al modelo se corresponden con el caudal asociado al río Jerte en el tramo de estudio para el periodo de retorno asociado a la Máxima Crecida Ordinaria (5 años), el cual tiene un valor de **109,6 m^3/s** según datos del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI).

La situación de la citada entrada queda recogida en la imagen recogida en el apartado 7.1.9.2

7.1.9.2.2 CONDICIONES DE CONTORNO E INTERNAS DE SALIDA

Se introduce como condición de salida en la zona baja del modelo la opción de calado normal o de flujo permanente, colocándose suficientemente aguas abajo de la zona de estudio para que la simulación pueda estabilizarse hacia aguas arriba y adoptar el calado que corresponda.

7.1.10 Parámetros de la simulación

7.1.10.1.1 PARÁMETROS GENERALES

Los parámetros generales de la simulación realizada se muestran en la siguiente tabla:

PARÁMETRO	VALOR
Número de procesadores	Todos los disponibles
Ecuaciones	Saint-Venant
Máximas iteraciones	30
Tolerancia de la superficie libre (m)	0,05
Tolerancia en volumen (m)	0,05
Factor θ	1,00

Tabla 6: parámetros de la simulación

7.1.10.1.2 PARÁMETROS DE LA MALLA

La malla de cálculo utilizada tiene una resolución general de celda de 10 x 10 m (celdas cuadradas, ajustadas en los contornos hasta celdas irregulares de 8 lados) y se puede observar en la siguiente imagen:

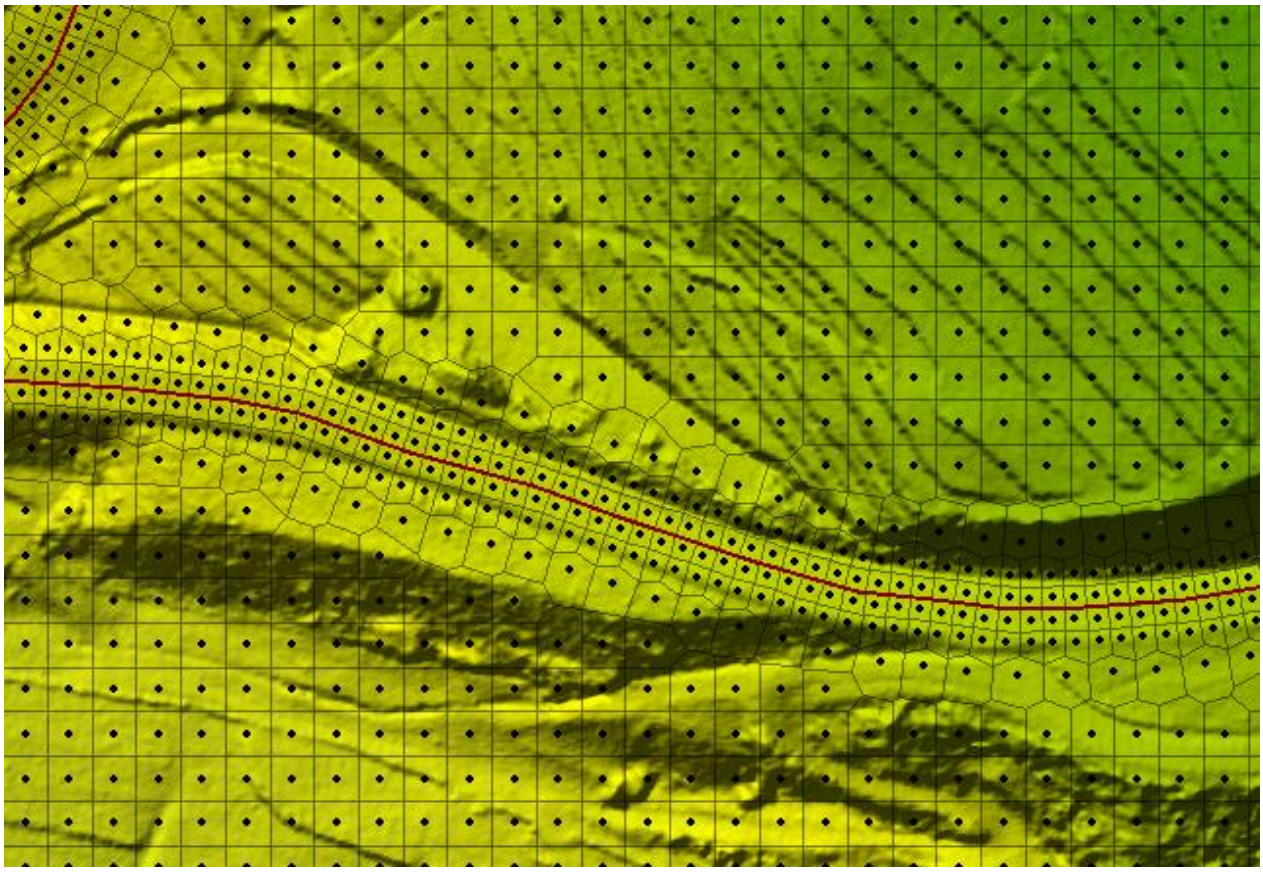


Figura 19: Malla de cálculo hidráulica

De forma complementaria, se ha llevado a cabo un refinado de la malla en las zonas correspondientes a márgenes de arroyos y gavias, terraplenes de carreteras, coronación de explanadas, etc., con objeto de obtener una mayor precisión de cálculo en las áreas de mayor interés para el estudio. En algunos casos, en estas zonas se ha utilizado un tamaño de celda menor al de la malla general (lados de celda de 3 m), con vistas a la mejora de la precisión del cálculo y orientación de las celdas de la malla de manera perpendicular al flujo.

7.1.10.2 FORMA Y DIMENSIONES DE LA BRECHA

En presas de materiales sueltos la rotura es progresiva en el tiempo, pudiendo ser parcial o total dependiendo del volumen del embalse y de la zonificación del cuerpo de presa.

La forma de la brecha es trapecial, considerando generalmente que los taludes laterales de la brecha son 1H/1V. Si bien, en base a la experiencia de roturas documentadas, se conoce que este parámetro puede variar desde 1H/1V en materiales no cohesivos hasta 0,33H/1V en materiales cohesivos.

La profundidad de la brecha se desarrolla hasta el contacto con el cauce y el ancho medio en metros, b, puede determinarse mediante las siguientes fórmulas:

- Guía Técnica para la Clasificación, 1996:

$$b = 20(VH)^{0,25}$$

  Siendo V el volumen del embalse (en hm3) y H la altura de presa sobre el cauce (en m). A efectos de aplicación de esta fórmula, se considerará que V es el volumen de agua almacenado en el embalse en el momento de la rotura.

- Froehlich, 2008:

$$b = 22,46 K_0 V_W^{0,32} H_b^{0,04}$$

  Donde K0 es un coeficiente que depende de la causa que origina la rotura de la presa:

  - 1,3 para roturas por sobrevertido
  - 1 para el resto de roturas

La Guía establece que en la aplicación de esta fórmula se utilizará K0=1 para el análisis del escenario sin avenida y K0=1,3 para el escenario límite y en el análisis de la rotura encadenada de presas de materiales sueltos situadas aguas debajo de la presa de estudio.

VW es el volumen de agua almacenado en el embalse en el momento de la rotura (en hm3) y Hb la altura de la brecha (en m), considerando que la altura de la brecha es igual a la altura de la presa sobre el cauce (Hb=H).

- Xu & Zhang, 2009:

$$b = H_b \left[0{,}787 \left(\frac{H}{15} \right)^{0{,}133} \left(\frac{V_{W*}^{1/3}}{H_W} \right)^{0{,}652} e^{B} \right]$$

Donde Hb es la altura de la brecha (en m) y H es la altura de la presa sobre el cauce (en m), considerando ambas iguales a efectos de la aplicación de esta formulación.

VW* es el volumen de agua almacenado en el embalse en el momento de la rotura (en m3), HW es la altura de la lámina de agua hasta el fondo de la brecha en el momento de inicio de la misma (en m) y B es un coeficiente que se puede estimar mediante la siguiente expresión:

$$B = B_T + B_F + B_E$$

BT es un coeficiente que depende del tipo de presa:

BT= - 0,041 para presas de núcleo impermeable.

BT= 0,026 para presas de pantalla.

BT= - 0,226 para presas homogéneas.

BC es un coeficiente que depende de la causa que origina la rotura de la presa:

BC= 0,149 para roturas por sobrevertido.

BC= -0,389 para roturas por erosión interna o sifonamiento.

BE es un coeficiente que depende de la erodibilidad:

BE= 0,291 para presas de erodibilidad alta.

BE= -0,140 para presas de erodibilidad media.

BE= - 0,391 para presas de erodibilidad baja.

Tras analizar los anchos de brecha obtenidos por las diferentes metodologías, se establece como valor de cálculo el ancho de brecha medio obtenido mediante la formulación de la Guía Técnica para la Clasificación, 1996, por ser el valor más desfavorable.

PARÁMETRO	VALOR
Modo de fallo	Sobrevertido
Pendiente	1H/1V
Altura de la balsa (m)	9,75
Volumen almacenado en el embalse (hm^3)	0,046
Ancho medio de la brecha (m)	16,41

Tabla 7: Parámetros de brecha.

7.1.10.3 TIEMPO DE ROTURA

A efectos de la clasificación, se define el tiempo de rotura de la presa como el tiempo de desarrollo de la brecha, es decir, el tiempo en horas que transcurre desde que se ha iniciado la brecha hasta que ésta llega a su sección final.

El tiempo de rotura, en horas, puede determinarse mediante las siguientes fórmulas:

- Guía Técnica para Clasificación, 1996:

$$T = 4{,}8\frac{\sqrt{V}}{H}$$

Siendo H la altura de presa sobre el cauce (en m) y V el volumen de embalse (en hm3), considerando que éste es el volumen de agua almacenado en el embalse en el momento de la rotura.

- Froehlich, 2008:

$$T = 5{,}62\frac{\sqrt{V_W}}{H_b}$$

Donde VW es el volumen de agua almacenado en el embalse en el momento de la rotura (en m) y Hb=H la altura de la brecha (en m), considerando que la altura de la brecha es igual a la altura de la presa sobre el cauce (Hb=H).

Tras analizar los tiempos de rotura obtenidos por las diferentes metodologías, se establece como valor de cálculo el ancho de brecha medio obtenido mediante la formulación de la Guía Técnica para la Clasificación, 1996, por ser el valor más desfavorable.

PARÁMETRO	VALOR
Tiempo de desarrollo de la brecha (horas)	0.11

Tabla 8: Tiempo de desarrollo de la brecha

7.1.10.4 PARÁMETROS DE TIEMPO

El tamaño de celda y el tiempo de cálculo utilizados deben ser consistentes, de tal modo que se satisfaga la condición de Courant en los términos necesarios para que el cálculo sea estable y preciso. Para el caso del presente estudio, en el que se emplean las ecuaciones completas de Saint-Venant, se debe cumplir lo siguiente:

$$C = \frac{\Delta t \cdot v}{\Delta x} \approx 1$$

Dónde:

- C: Número de Courant.

- Δt: Paso temporal de cálculo, en segundos.
- Δx: Tamaño medio de malla, en metros.
- v: velocidad de onda de avenida, en m/s.

El software HEC-RAS permite que el paso de tiempo se ajuste en cada iteración para satisfacer la condición de Courant impuesta. De este modo, se puede imponer una condición de Courant conservadora que permite un cálculo estable, pero con menor coste computacional que un cálculo con paso de tiempo fijo. La condición impuesta se corresponde con un valor mínimo del número de Courant de 0,45, y un valor máximo de 1. Los parámetros de tiempo de la simulación realizada se muestran en la siguiente tabla:

PARÁMETRO	VALOR
Instante inicial (s)	0
Tiempo máximo de simulación (horas)*	1 h
Intervalo de resultados (s)	30
Paso de cálculo (s)	Adaptativo (variable entre 0,06 s y 36 s)

Tabla 9: Parámetros de tiempo de la simulación.

7.2 Resultados del modelo hidráulico

A continuación, se analizan los resultados obtenidos para los escenarios analizados en términos de calados y velocidades. Para mayor nivel de detalle, toda la información gráfica recogida en este apartado se puede consultar en los Planos que acompañan a este documento.

7.2.1 Escenario sin avenida

7.2.1.1 MAPA DE CALADOS MÁXIMOS

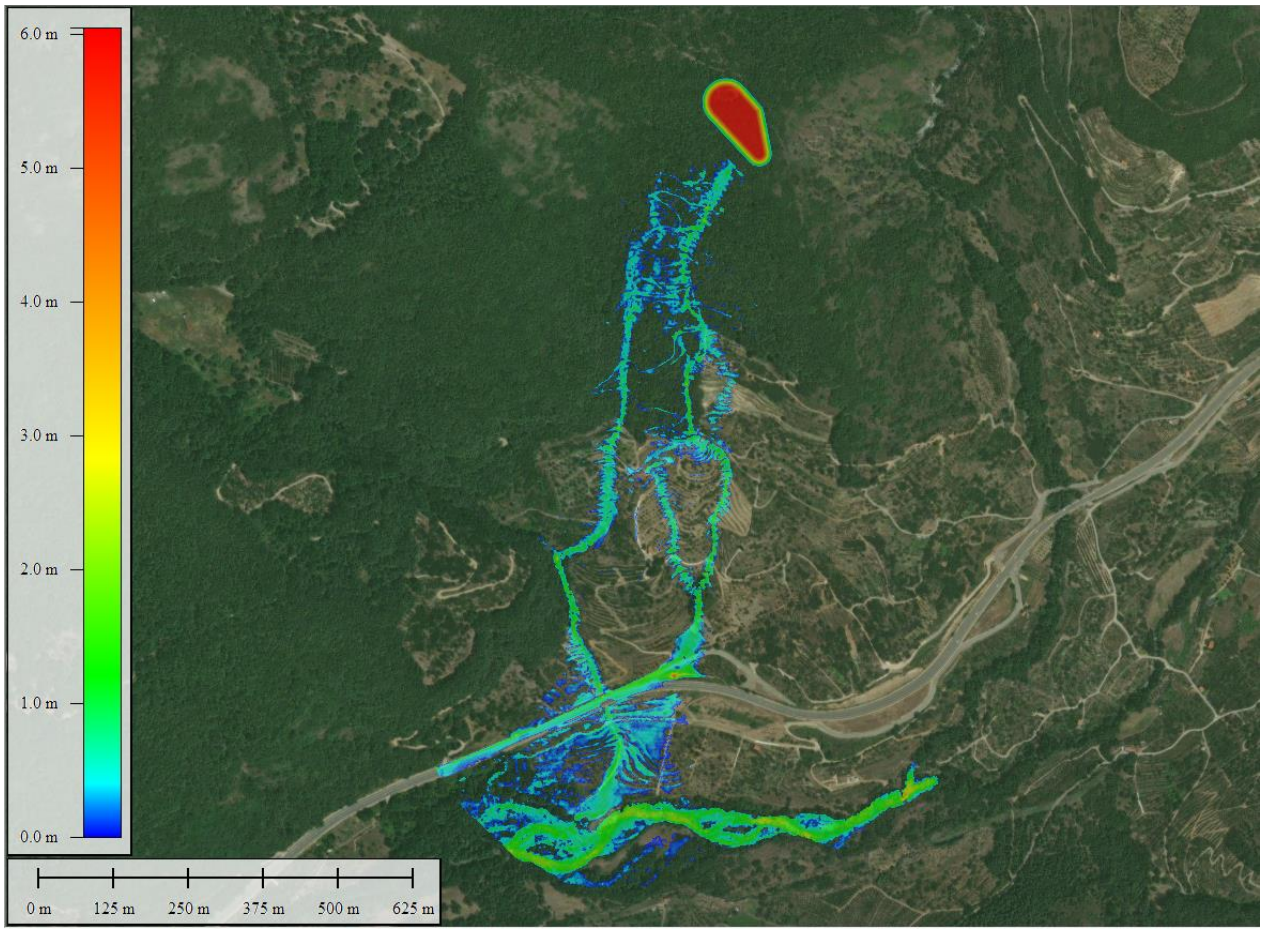


Figura 20: Calados máximos asociados al escenario sin avenida

Los calados máximos generados en el escenario limite tiene un valor máximo de 4,50 metros aguas arriba de la obra de paso nº 5. A la altura de la carretera N-110 los calados máximos alcanzan valores cercanos a 1 metro.

7.2.1.2 MAPA DE VELOCIDADES MÁXIMAS

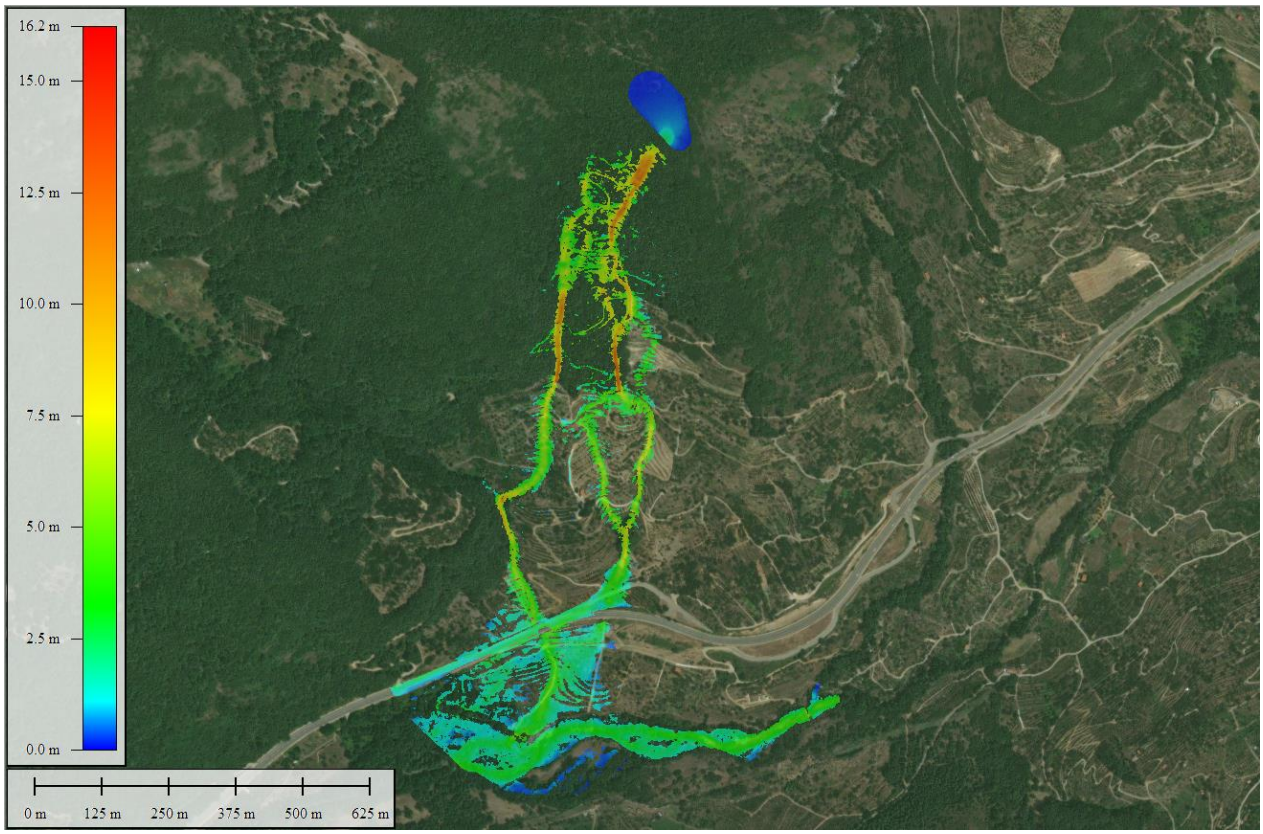


Figura 21: Velocidades máximas asociadas al escenario sin avenida

Las velocidades máximas generadas en el escenario sin avenida alcanzan valores máximos de 12,50 m/s aguas abajo de la balsa y en los primero metros de simulación debido a las grandes pendientes de la zona. A La altura de la carretera N-110 las velocidades máximas tienen valores máximos en torno a 3 m/s.

8 Clasificación de la balsa

De acuerdo al Artículo 358 del Reglamento de Dominio Público Hidráulico (RDPH) las presas se clasificarán en función de sus dimensiones y en función del riesgo potencial que pueda derivarse de su posible rotura o funcionamiento incorrecto.

8.1 Clasificación en función de las dimensiones

En función de sus dimensiones, las presas se clasifican como:

- Gran presa: presas cuya altura sea superior a 15 m o las que teniendo una altura comprendida entre 10 y 15 m tengan una capacidad de embalse superior a 1 hm3.

- Pequeña presa: aquellas que no cumplen las condiciones de gran presa.

La altura y capacidad de embalse se determinarán de acuerdo a las siguientes definiciones:

- Altura de presa: diferencia de cota entre el punto más bajo de la cimentación y el punto más alto de la estructura resistente, sin tener en cuenta los rastrillos, pantallas de impermeabilización, rellenos de grietas u otros elementos semejantes.

En diques de collado la altura se determinará de igual manera que para las presas.

- Capacidad de embalse: volumen de agua que puede almacenarse entre la cota del cauce y la cota de Nivel Máximo Normal (NMN). Siendo el NMN el máximo nivel de retención de agua que se alcanza en el embalse cuando todos los elementos mecánicos de los órganos de desagüe se encuentran cerrados.

En diques de collado la capacidad de embalse se determinará como el volumen que puede almacenarse entre la cota del terreno en el punto más bajo del collado y la cota del NMN.

Atendiendo a estas definiciones la altura de la balsa es 9,75 m.

El embalse tiene una capacidad de 46,449.55 m3, que se puede comprobar con la curva característica del embalse mostrada en la imagen siguiente.

Atendiendo a estos criterios, la balsa objeto de estudio se clasifica como **pequeña presa.**

8.2 Clasificación en función del riesgo potencial

Los criterios para la clasificación en función del riesgo potencial en caso de rotura o funcionamiento incorrecto se establecen en el Apartado 4 de la Norma Técnica de Seguridad para la Clasificación de Las Presas y para la Elaboración e Implantación de los Planes de Emergencia de Presas y Embalses (NTS1).

La determinación de la categoría en función del riesgo potencial se basa en una evaluación de los daños potenciales que podrían producirse en caso de rotura o funcionamiento incorrecto de la presa, no en una evaluación del riesgo en sí, debido a que el concepto de riesgo lleva asociado la probabilidad de que un determinado suceso se produzca además de los daños que este suceso ocasiona.

La estimación de los daños se realiza únicamente para situaciones de rotura de la presa y no para el caso de funcionamiento incorrecto de éstas.

Se examinan las posibles afecciones a:

- Núcleos de población o viviendas aisladas.
- Servicios esenciales.
- Daños materiales.
- Aspectos medioambientales, histórico-artísticos o culturales.

Es recomendable seguir las evaluaciones en el orden planteado en la lista de posibles afecciones anterior.

Se evalúan los daños potenciales para cada uno de estos grupos, correspondiendo la categoría de la presa a la categoría máxima asignada a cada uno de los aspectos individuales, sin estudiar posibles combinaciones de ellos.

8.2.1 Criterios básicos de valoración de las afecciones

El proceso general de valoración de las afecciones se realiza en dos etapas:

- Etapa 1: se analiza si se produce o no afección. Se considera que los elementos están afectados si se produce "afección grave" de los mismos, según los umbrales de calado y velocidad marcados para cada grupo analizado, de manera que si se superan estos umbrales se califica como "afección grave" y en caso contrario como "afección no grave".

- Etapa 2: Se estudian, uno a uno, todos los elementos en los que se haya determinado que se produce "afección grave", con el objetivo de establecer en qué categoría procede clasificar la presa en función del número, extensión o catalogación de los mismos.

Estos umbrales se detallan a continuación para cada uno de los cuatro grupos indicados.

8.2.1.1 AFECCIÓN A NÚCLEOS DE POBLACIÓN O VIVIENDAS AISLADAS

Se asignará la categoría A cuando se produzca "afección grave" a más de cinco viviendas y la categoría B cuando se produzca "afección grave" a un número comprendido entre una y cinco viviendas.

Se considera como "afección grave" a una vivienda aquella que represente riesgo para las vidas de sus habitantes. La asignación del calificativo de "grave" se efectuará en función del calado y la velocidad de la onda de rotura en el punto de afección, de acuerdo a los criterios recogidos en la siguiente imagen.

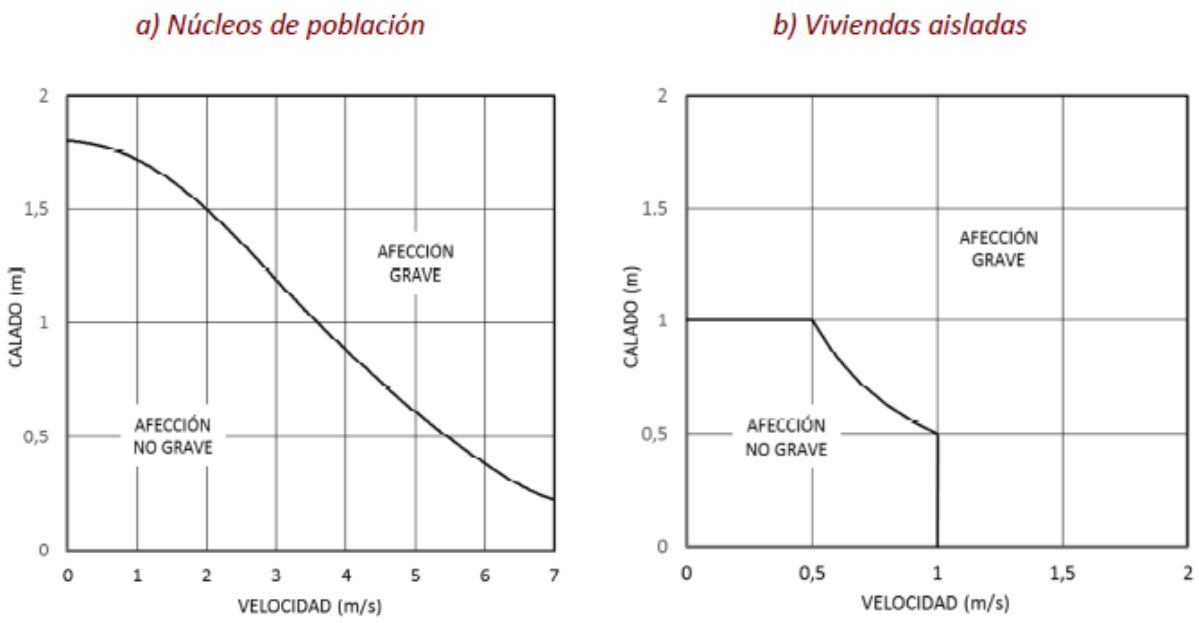


Figura 22: Evaluación de la gravedad de las afecciones en núcleos de población y en viviendas aisladas

El umbral representado en la figura b) de la imagen se corresponde al indicado en el Artículo 9.2 del RDPH, que establece: "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:

a) que el calado sea superior a 1 m

b) que la velocidad sea superior a 1 m/s

c) que el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m2/s"

El Instituto Nacional de Estadística (INE) considera núcleo de población a un conjunto de al menos 10 edificaciones que estén formando calles, plazas y otras vías urbanas.

Excepcionalmente, el número de edificaciones podrá ser inferior a 10 siempre que la población que habita las mismas supere los 50 habitantes. Se incluyen en el núcleo aquellas edificaciones que, estando aisladas, distan menos de 200 m de los límites exteriores del mencionado conjunto, si bien en la determinación de dicha distancia han de excluirse los

terrenos ocupados por instalaciones industriales o comerciales, parques, jardines, zonas deportivas, cementerios, aparcamientos y otros, así como los canales o ríos que puedan ser cruzados por puentes.

Para la evaluación de las afecciones ocasionadas a un núcleo de población se empleará la figura a) de la imagen anterior, mientras que las viviendas que no formen parte de un núcleo de población se evaluarán como viviendas aisladas y se empleará la determinación de las afecciones de la figura b) de la misma imagen.

La categoría C se asocia al calificativo incidental, que se aplicará a la presencia ocasional, y no previsible en el tiempo, de personas en la llanura de inundación, no admitiéndose la clasificación como incidental de las potenciales pérdidas de vidas humanas asociadas a la afección a residencias establecidas permanentes, áreas de acampada estables, zonas en que habitualmente se produzcan concentraciones de personas por cualquier motivo, etc.

No se produce ninguna afección a núcleos de población o viviendas aisladas.

8.2.1.2 SERVICIOS ESENCIALES

Se entienden como servicios esenciales aquéllos que son indispensables para el desarrollo de las actividades humanas y económicas de conjuntos de población mayores de 10.000 habitantes, y siempre que el servicio que brinden no pueda restablecerse de manera inmediata ni prestarse de forma alternativa. Entre los posibles servicios esenciales se incluyen, al menos, los siguientes:

- Abastecimiento y saneamiento.
- Suministro de energía.
- Sistema sanitario.
- Sistemas de comunicaciones.
- Infraestructuras de transporte.

La "afección grave" a un servicio esencial dará lugar a la clasificación en la categoría A y se efectuará en función del calado y la velocidad de la onda de rotura en el punto de afección, de acuerdo al umbral establecido en el Artículo 9.2 del RDPH, representado en la imagen siguiente.

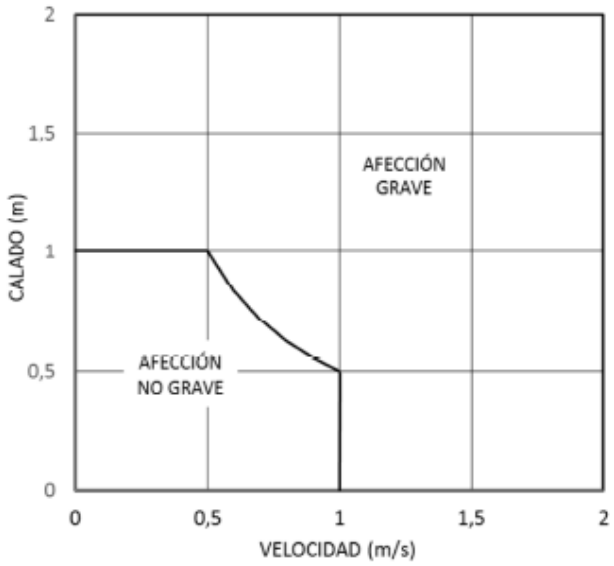


Figura 23: Evaluación de la gravedad de las afecciones del tipo servicios esenciales

No se produce ninguna afección a servicios esenciales.

8.2.1.3 DAÑOS MATERIALES

Se entienden como daños materiales aquéllos cuantificables directamente en términos económicos, sean directos, correspondientes a la destrucción de elementos, o indirectos, correspondientes a la reducción de la producción u otros.

Se evalúan en función de los siguientes grupos:

- Daños a industrias y polígonos industriales.
- Daños a propiedades rústicas.
- Daños a cultivos.

- Daños a infraestructuras.

Se considerará que se producen daños materiales si la afección al elemento se califica como "grave" en función del umbral de calado y velocidad de la onda de rotura, establecido en base al criterio del Artículo 9.2 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, representado en la siguiente imagen.

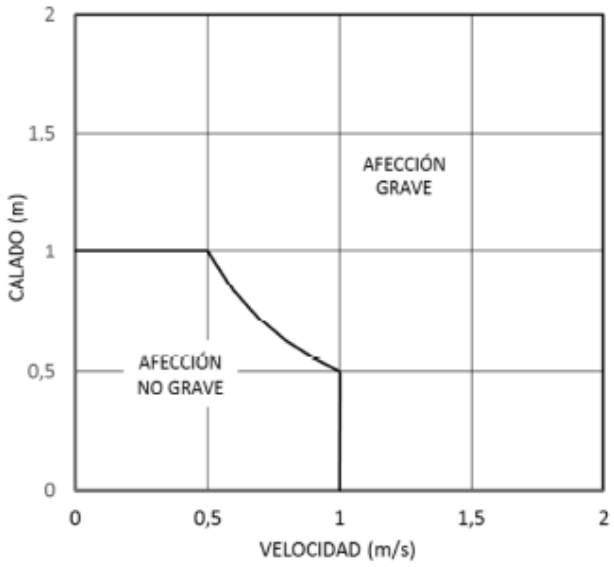


Figura 24: Evaluación de la gravedad de las afecciones del tipo daños materiales

La evaluación del alcance de los daños a este tipo de elementos se efectuará analizando el número de instalaciones industriales o propiedades rústicas dañadas, la superficie de terreno de cultivo inundada y la clase de las infraestructuras afectadas.

Tendrán la clasificación de categoría A (daños muy importantes) la afección grave a más de 50 instalaciones o propiedades, a más de 5.000 ha de regadío a más de 10.000 ha de secano, a carreteras de la Red de Carreteras del Estado, a carreteras autonómicas de primer nivel o a ferrocarriles de vía ancha o de alta velocidad.

Tendrán la clasificación de categoría B (daños importantes) la afección grave a más de 10 instalaciones o propiedades, a más de 1.000 ha de regadío, a más de 3.000 ha de secano, a carreteras autonómicas de segundo o tercer nivel o a ferrocarriles de vía estrecha.

Los daños materiales que no rebasen estos umbrales tendrán la clasificación de categoría C (daños moderados).

Para cada uno de los posibles puntos de afección, se realiza la evaluación empleándose los valores máximos de calado y velocidad obtenidos tras la modelización. De esta forma podrían englobarse en esta categoría las afecciones a los caminos rurales. Estos caminos rurales son de baja categoría por lo que la categoría asignada a la balsa por la afección a estos caminos es la categoría C.

Por otro lado, las edificaciones aisladas de uso agrarios podrían englobase en la categoría de daños materiales. Al no afectar a más de 10 instalaciones, más de 1000 ha de regadío ni más de 3000 ha de secano, se clasificaría la balsa según esta afección como categoría C.

Como las posibles afecciones anteriores no han sido consideradas como importantes, no han sido evaluadas. La única afección considerada para evaluación es el punto 6, carretera nacional N-110.

Siendo la categoría asignada según esta afección: **categoría A**. Esto es debido a que, en el punto de afección analizado, se producen calados máximos de 1 m y velocidades máximas de 3.00 m/s, categorizándose como afección grave según el criterio del Art. 9.2 del RDPH.

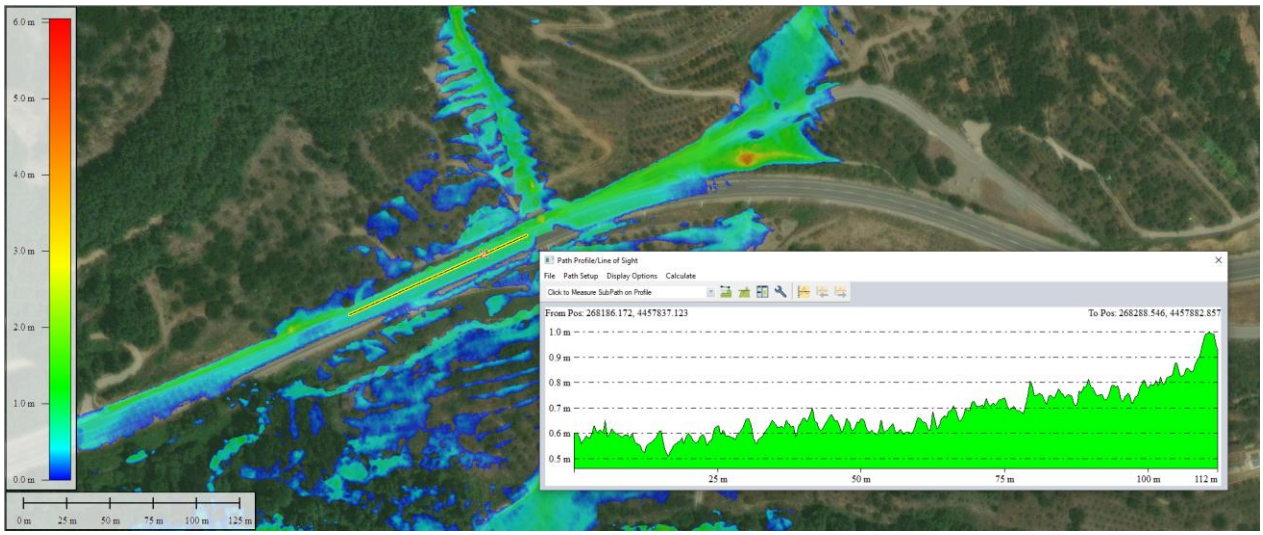


Figura 25: Perfil de calados máximos en el punto de afección 6

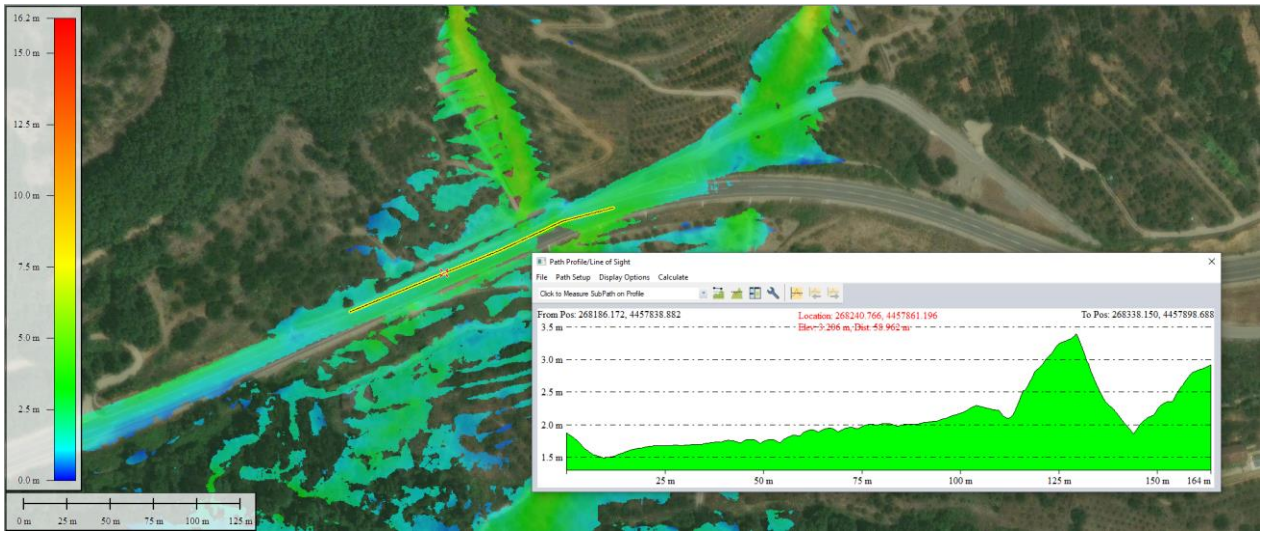


Figura 26: perfil de velocidades máximas en el punto de afección 6

La categoría asignada a la balsa según cada afección es la mostrada en la siguiente tabla resumen.

CLATEGORÍA SEGÚN CADA AFECCIÓN	
AFECCIÓN 2: N-110	Categoría A

La evaluación completa de las afecciones del tipo daños materiales se encuentra tabulada en el Apéndice 2.

8.2.1.4 ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES, HISTÓRICO-ARTÍSTICOS Y CULTURALES

Se entenderán como daños medioambientales o al patrimonio histórico-artístico o cultural, las afecciones "graves" sobre los elementos o territorios que gocen de alguna figura legal de protección a nivel estatal (Red Natura 2000, Parques Nacionales, Bienes de Interés Cultural u otros) o autonómico (Parques Nacionales, Parques Regionales u otros).

Se clasificarán como categoría A (daños muy importantes) la afección "grave" a elementos con figuras de protección a nivel estatal, y como categoría B (daños importantes) la afección "grave" a elementos catalogados a nivel autonómico.

En los territorios protegidos, la asignación del calificativo "grave" se efectúa en función del calado, la velocidad de la onda de rotura y la superficie afectada, catalogándose como "graves"

cuando se supere el umbral establecido según el criterio del Artículo 9.2 del RDPH, representado en la siguiente imagen, en una superficie superior a 1.000 ha. En el resto de elementos protegidos, la calificación como "grave" se efectuará en función del calado y la velocidad de la onda de rotura en el punto de afección, conforme al criterio representado en la misma imagen.

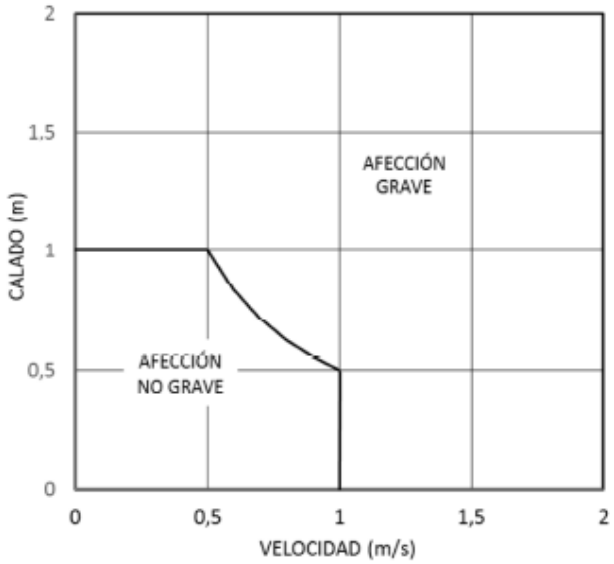


Figura 27: Evolución de la gravedad de las afecciones del tipo aspectos medioambientales, histórico-artísticas y culturales.

No se produce ninguna afección a aspectos medioambientales, histórico-artísticos o culturales.

8.2.1.5 OTRAS AFECCIONES

Existen elementos no tipificados, peor caracterizados por que las consecuencias de su rotura o funcionamiento incorrecto de lugar a consecuencias severas, como pueden ser las centrales nucleares o las plantas de producción de compuestos venenosos o especialmente dañinos para la salud de las personas o el medio ambiente, como las industrias incluidas en el Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (PRTR), cuya afección debe ser analizada.

La afección grave a alguno de os elementos relacionados en el citado registro dará lugar a la clasificación en la categoría A. A estos efectos se considerará que se produce una afección

"grave" si las condiciones hidráulicas superan los umbrales establecidos en el Artículo 9.2 del RDPH, tal y como se representa en la siguiente imagen.

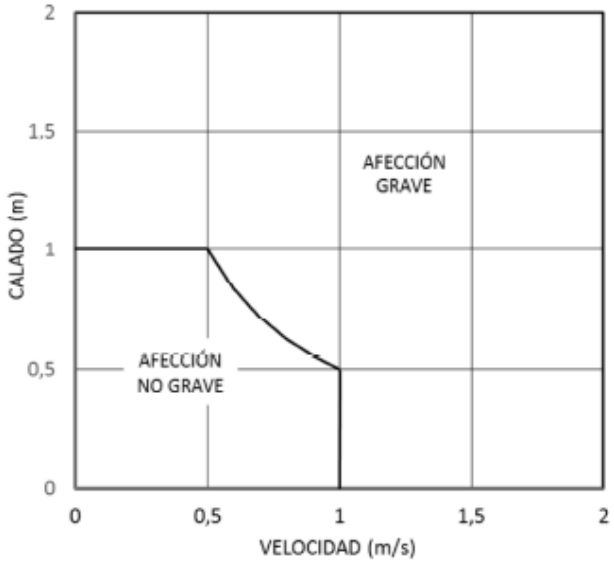


Figura 28: Evolución de la gravedad de otras afecciones relacionadas en el PRTR

No se produce ninguna afección a este tipo.

8.3 Propuesta de clasificación

En base a los criterios establecidos en el presente documento, siguiendo las recomendaciones de la Guía Técnica para la Clasificación de Presas, se propone la siguiente clasificación de la presa objeto de estudio:

- En función de sus dimensiones la balsa se clasifica como pequeña presa.
- Según la evaluación del riesgo potencial que pueda derivarse de su rotura, la balsa se clasifica dentro de la categoría A.

9 Conclusiones

Ante lo expuesto en la presente memoria y sus diferentes apéndices, se determina que el documento se considera suficiente y completo para el establecimiento de la clasificación de la balsa objeto de estudio en base a sus dimensiones y al riesgo potencial que pueda derivarse de su rotura.

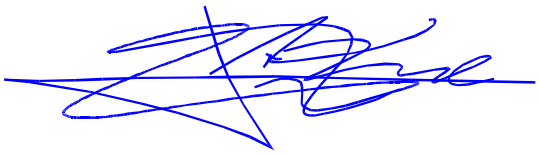
Tras analizar los resultados obtenidos en el escenario limite se concluye que la carretera nacional N-110 se ve afectada por la rotura de la balsa por velocidades superiores a 1 m/s y por lo tanto la balsa "PAPUOS" tiene una categoría A.

Por lo tanto, se somete el estudio a la aprobación del organismo competente.

Y, para que así conste, se firma la presente a:

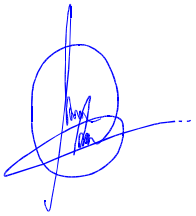
En Merida, junio de 2023

El Ingeniero Agrónomo
Técnico Superior PRL



Fdo. Antonio Luque Palma

Ingeniero Técnico Agrícola
Ingeniero Técnico O.P.



Fdo. José A. López Rastrojo

Ingeniero Montes
Ingeniero CCyP



Fdo. Antonio P. Romero Gandullo

Ingeniero Agrónomo
Ingeniero Civil



Fdo. Javier Merino Crespín

METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD

1 Introducción

Es reconocida la importancia de la tensión tangencial debida al rozamiento con el contorno en la estimación de las variables hidráulicas, así como que la incertidumbre en su parametrización es una importante fuente de error en la modelización de un tramo de río. Las pérdidas de carga por fricción en el cauce están relacionadas fundamentalmente con la composición del material del lecho, puesto que lo normal es que sobre el cauce no esté desarrollado ningún tipo de uso del suelo y, en aquellos casos en que exista, con la vegetación acuática o riparia. En cambio, en las llanuras de inundación, el territorio suele estar ocupado por usos diversos, por lo que las pérdidas de carga por fricción vendrán dadas en función de éstos.

La fricción por rozamiento se suele expresar en función de un coeficiente, de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

AUTOR	EXPRESIÓN S_F
Chèzy	$S_f = \frac{V^2}{C^2 R}$
Manning	$S_f = \frac{V^2 n^2}{R^{4/3}}$
Darcy	$S_f = \frac{f V^2}{8 R g}$

Tabla 10: Formulación de Sf según diversos autores

Siendo:

- Sf la pendiente de fricción.
- V la velocidad del flujo en la sección.
- R el radio hidráulico.
- C el coeficiente de Chèzy.
- n el número de Manning.

- f el coeficiente de resistencia de Darcy-Weisbach.

Dado que la tensión tangencial τ0 en el perímetro mojado de la sección viene dada por la siguiente expresión:

$$\tau_0 = \gamma R S_f$$

Dónde:

- ɣ es el peso específico del agua.

Las ecuaciones de la tabla incluida anteriormente y, por tanto, los respectivos coeficientes de fricción, quedan relacionados según la expresión:

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} = \sqrt{\frac{8\,g}{f}}$$

La mayoría de los modelos utiliza la fórmula de Manning para el cálculo de las pérdidas por rozamiento.

En los modelos bidimensionales, la pendiente de fricción se descompone según las ecuaciones:

$$S_{fx} = \frac{u\sqrt{u^2+v^2}\,n^2}{h^{4/3}}$$

$$S_{fy} = \frac{v\sqrt{u^2+v^2}\,n^2}{h^{4/3}}$$

Dónde:

- u y v son las componentes de la velocidad.
- h es el calado.
- n es el número de Manning en el punto de cálculo.

La validez de la fórmula de Manning ha sido, y es, objeto de gran debate en la literatura, especialmente a medida que se dispone de mayor cantidad de datos en cauces para su análisis. Como los modelos hidráulicos siguen utilizando esta fórmula para la estimación de las pérdidas de carga por fricción, la parametrización de la rugosidad sigue realizándose según los valores de n. En el caso de la parametrización de la rugosidad en el cauce, ésta viene determinada principalmente por su geometría, su pendiente y su granulometría. Para la determinación de la rugosidad en cauces existen gran cantidad de fórmulas, tanto relativas a la relación de la velocidad con los coeficientes de rugosidad, como a la formulación de las pérdidas de carga por fricción. En este apéndice se presentan algunas de las formulaciones más conocidas, así como recomendaciones para asignar la rugosidad a los distintos tramos del cauce en que se divide la zona de estudio. En el caso de la parametrización de la rugosidad en la llanura de inundación, el valor de n viene condicionado, fundamentalmente, por los usos del suelo, por lo que se necesitará disponer de información sobre los mismos y su evolución en la zona de estudio.

El objetivo es caracterizar el valor de la rugosidad en una serie de polígonos definidos en la zona de estudio. Por un lado, se tendrán los polígonos de usos del suelo en la zona inundable, y por otro lado los polígonos correspondientes a distintos tramos a lo largo del cauce. Los polígonos de usos del suelo se obtendrán a partir de la información más reciente y más detallada disponible, siendo la del Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España (SIOSE) y el CORINE LAND COVER 2000-2006 las bases a utilizar a falta de otra información de mayor detalle. Además, será necesaria la información de cambios de uso del suelo en los casos en los que la modelización hidráulica así lo requiera. Los polígonos del cauce se corresponderán con lo definido en el análisis histórico y geomorfológico. Los distintos tramos a lo largo del cauce se identificarán en función de las características geométricas de las secciones transversales, la pendiente, y la composición del lecho y las márgenes, en términos del tamaño de los sedimentos y del tipo de vegetación.

La caracterización de la rugosidad requiere, por tanto, el conocimiento de la vegetación presente en la llanura de inundación y en el cauce. En la llanura de inundación, a partir de los

polígonos de usos del suelo, se pueden identificar los polígonos con vegetación y asignarles un valor de rugosidad en función del tipo y de la densidad de la misma, la cual se podrá determinar mediante observaciones realizadas en visitas a campo y mediante la información cartográfica disponible. En el cauce, la vegetación tiene una influencia considerable en las pérdidas de carga de fricción. Generalmente, en el cauce se identifican zonas de vegetación continua cuya contribución a la rugosidad total se puede estimar a partir de tablas o en función de las características de la misma (densidad, rigidez de los tallos, etc.). Para poder tener en cuenta las pérdidas de carga debidas a la vegetación del cauce será necesario diferenciar en el cauce los polígonos correspondientes a la misma.

Es importante tener en cuenta el sistema de unidades de medida del coeficiente de rugosidad de Manning. El factor de conversión es el siguiente:

$$n\,(E) = 1{,}49\; n\,(SI)$$

Dónde:

- n (E) es el número de Manning en el sistema anglosajón de unidades de medida.
- n (SI) es el número de Manning en las unidades del Sistema Internacional (s/m1/3).

2 Rugosidad en la llanura de inundación

Como ya se ha comentado, la rugosidad en la llanura de inundación depende fundamentalmente de los usos del suelo presentes en la misma. En la literatura se puede encontrar un amplio repertorio de estimaciones de los coeficientes de rugosidad en función de la actividad desarrollada sobre la zona inundable. Estas estimaciones están referidas normalmente al número de Manning y, por lo general, toman valores que pueden variar dentro de unos rangos.

La información relativa a los usos del suelo debe ser representada cartográficamente de tal forma que se puedan asignar los valores del coeficiente de rugosidad a los polígonos que definen los usos. Es importante tener en cuenta la fecha para la cual se definen los usos del suelo, ya que las variaciones en los mismos pueden afectar a la rugosidad. La ortofoto suministrada con el modelo digital del terreno (MDT) del LIDAR permite identificar y definir los usos del suelo en el momento en que fue tomada.

Con información de partida sobre los usos del suelo se recomienda la utilización del Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE) llevado a cabo por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Se trata de una capa de información en formato SIG que ofrece una delimitación muy exacta de los polígonos de ocupación del suelo a escala 1:25.000. Las posibles ocupaciones del suelo vienen dadas por una clasificación de usos simples (cuando éstos sean únicos en el polígono) y compuestos (cuando éstos se encuentren formados por dos o más usos simples y/o compuestos a su vez) que pueden llevar atributos asociados. En función del tipo de combinación, el uso compuesto será asociación o mosaico. La asociación es la combinación de usos que se encuentran entremezclados sin distribución geométrica ordenada. El mosaico es la combinación de usos cuya distribución geométrica y separación entre ellos es claramente perceptible.

En el caso de no disponer del SIOSE podría utilizarse la información proporcionada por el proyecto europeo CORINE LAND COVER cuya última versión se basa en información del año

2006 (CLC2006). Esta cartografía está realizada a escala 1:100.000 y agrupa los usos del suelo en cuatro grandes grupos, que corresponden a:

- Zonas artificiales.
- Zonas agrícolas.
- Bosques y áreas seminaturales.
- Zonas húmedas y superficies de agua.

A pesar de su escala, los polígonos definidos en el CLC suelen encajar bastante bien, en líneas generales, con los usos del suelo que se identifican en la ortofoto, aunque en ocasiones pueden darse discrepancias debidas a posibles cambios con el tiempo, a errores en la delimitación o a errores en la definición del CLC. En estos casos, será necesario delimitar nuevos polígonos, o modificar los ya existentes, de tal forma que los usos del suelo de la ortofoto queden bien reflejados.

Del análisis comparativo entre el SIOSE y el CLC se desprende que la información recogida por el SIOSE tiene una mejor resolución, un mayor detalle y está más actualizada. Sin embargo, la clasificación de usos del suelo del CLC2000 es más detallada a la hora de definir las zonas agrícolas, bosques y áreas seminaturales.

Las ediciones del CLC de los años 2000 y 2006 (CLC2000 y CLC2006) incluyen información sobre polígonos de cambio de uso del suelo con respecto a la edición anterior. Es aconsejable examinar si en la zona de estudio se han producido cambios con el objeto de poder tenerlos en cuenta, en caso necesario, en la modelización hidráulica.

Asimismo, se recomienda el estudio en detalle de las fotografías existentes sobre las avenidas históricas documentadas que vayan a ser utilizadas en la fase de calibración del modelo hidráulico, con objeto de identificar las posibles diferencias en los usos del suelo respecto a la situación actual.

El modelo digital de superficies (MDS) del LIDAR puede servir también como fuente de información a la hora de definir los usos del suelo ya que sobre él se pueden distinguir las

edificaciones, las vías de comunicación, los elementos singulares, etc. En este sentido, la comparación del MDS con una planimetría facilita la identificación de posibles cambios de uso del suelo.

A continuación, se presenta la tabla de coeficientes de rugosidad de Manning desarrollada en la Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. En ésta se ha llevado a cabo la asignación de un coeficiente orientativo a los usos del suelo del SIOSE y del CLC2000 (se ha realizado este último ya que su clasificación de usos tiene mayor detalle que la versión más actualizada del 2006). Es importante tener en cuenta que pueden darse variaciones de los valores asignados en torno a un 5-10%. Estas variaciones principalmente se deberán a la densidad de la vegetación y de las edificaciones, de manera que en zonas con bajas densidades puede ser necesario reducir los valores asignados de forma orientativa. Es posible estimar la densidad de la vegetación y de las edificaciones a partir de:

- La ortofoto y el MDS del LIDAR (para la estimación de la densidad de la vegetación).
- La ortofoto, el MDS de LIDAR y la planimetría disponible (para la estimación de la densidad de edificaciones).

Valores del coeficiente de rugosidad de Manning asignados a los usos del suelos del SIOSE y CLC2000.

Clasificación de usos del suelo del SIOSE			n	Clasificación de usos del suelo del CORINE (2000)			
Artificial Compuesto	Urbano mixto	Casco	0,1	Tejido urbano continuo		Tejido urbano	Zonas artificiales
Cobertura artificial	Edificación						
	Otras construcciones						
Artificial compuesto	Urbano mixto	Ensanche		Estructura urbana abierta	Tejido urbano discontinuo (Urbanizaciones)		
		Discontinuo	0,09	Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas			
	Industrial	Polígono industrial ordenado	0,1	Zonas industriales	Zonas industriales y comerciales (granjas agrícolas)	Zonas industriales comerciales y de transporte	
		Polígono industrial sin ordenar					
		Industria aislada					
	Primario	Piscifactoría					

Valores del coeficiente de rugosidad de Manning asignados a los usos del suelos del SIOSE y CLC2000.								
Clasificación de usos del suelo del SIOSE				**n**	**Clasificación de usos del suelo del CORINE (2000)**			
	Infraestructuras	Energía	Eólica					
			Solar					
			Nuclear					
			Eléctrica					
			Térmica					
			Hidroeléctrica					
			Gaseoducto / oleoducto					
		Telecomunicaciones						
		Suministro de agua	Depuradoras y potabilizadoras					
			Desalinizadoras					
	Terciario	Comercial y oficinas			Grandes superficies de equipamientos y servicios			
		Complejo hotelero						
		Parque recreativo						
	Equipamiento / dotacional	Administrativo institucional						
		Sanitario						
		Cementerio						
		Educación						
		Penitenciario						
		Religioso						
		Cultural						
	Infraestructuras	Residuos	Plantas de tratamiento					
Cobertura artificial	Vial, aparcamiento o zona peatonal sin vegetación			0,1	Autopistas. Autovías y terrenos asociados	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	Zonas industriales comerciales y de transporte	Zonas artificiales
Artificial compuesto	Infraestructura	Transporte	Red viaria					
			Red ferroviaria		Complejos ferroviarios			
			Portuario		Zonas portuarias			
			Aeroportuario		Aeropuertos			
Cobertura artificial	Zonas de extracción o vertido			0,4	Zonas de extracción minera		Zonas de extracción minera,	

Valores del coeficiente de rugosidad de Manning asignados a los usos del suelos del SIOSE y CLC2000.								
Clasificación de usos del suelo del SIOSE				**n**	**Clasificación de usos del suelo del CORINE (2000)**			
Artificial compuesto	Primario	Minero extractivo					vertidos y de construcción	
	Infraestructuras	Residuos	Vertederos y escombreras		Escombreras y vertederos			
Cobertura artificial	Suelo no edificado				Zonas en construcción			
Cobertura artificial	Zona verde artificial y arbolado urbano				Zonas verdes urbanas			
Artificial compuesto	Primario	Forestal		0,09			Zonas verdes artificiales, no agrícolas	
	Terciario	Camping						
	Equipamiento / dotacional	Parque Urbano						
		Deportivo			Resto de instalaciones deportivas y recreativas	Instalaciones deportivas y recreativas		
		Campo de golf		0,035	Campos de golf			
Cultivos	Cultivos herbáceos	Cultivos herbáceos distintos de arroz		0,04	Tierras de labor en secano (tierras abandonadas / barbechos)		Tierras de labor	Zonas agrícolas
					Cultivos herbáceos en regadío	Terrenos regados permanentemente		
					Otras zonas de irrigación			
		Arroz			Arrozales			
	Cultivos leñosos	viñedo		0,05	Viñedos en secano	Viñedos en secano	Cultivos permanentes	
					Viñedos en regadío			
Cultivos	Cultivos leñosos	Frutales	Frutales cítricos	0,06	Frutales en secano		Cultivos permanentes	Zonas agrícolas
					Cítricos	Frutales en Regadío	Frutales y plantaciones de bayas (Plantaciones de lúpulo)	
			Frutales no cítricos		Frutales tropicales			
		Otros cultivos leñosos			Otros frutales ne regadío			
		Olivar			Olivares en secano	Olivares		

Valores del coeficiente de rugosidad de Manning asignados a los usos del suelos del SIOSE y CLC2000.								
Clasificación de usos del suelo del SIOSE			**n**		**Clasificación de usos del suelo del CORINE (2000)**			
					Olivares en regadío			
	Prados		0,035		Prados y praderas (pastos en tierras abandonadas, prados arbolados)		Praderas	
Asentamiento agrícola residencial			0,035-0,05	0,04	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes en secano	Cultivos anuales asociados a cultivos permanentes	Zonas agrícolas heterogéneas	
					Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes en regadío			
Artificial compuesto	Primario	Agrícola / ganadero	0,035-0,05	0,035	Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en secano	Mosaico de cultivos en secano	Mosaico de cultivos (Mosaico de cultivos con casas dispersas)	Zonas agrícolas heterogéneas
				0,04	Mosaico de cultivos permanentes en secano			
					Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes en secano			
				0,035	Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en regadío	Mosaico de cultivos en regadío		
				0,04	Mosaico de cultivos permanentes en regadío			
Artificial compuesto	Primario	Agrícola / ganadero	0,035-0,05	0,04	Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes en regadío	Mosaico de cultivos en regadío	Mosaico de cultivos (Mosaico de cultivos con casas dispersas)	Zonas agrícolas heterogéneas
Huertas familiares					Mosaico de cultivos mixtos en secano y regadío			Zonas agrícolas

Valores del coeficiente de rugosidad de Manning asignados a los usos del suelos del SIOSE y CLC2000.								
Clasificación de usos del suelo del SIOSE			**n**		**Clasificación de usos del suelo del CORINE (2000)**			
				0,05	Mosaico de cultivos agrícolas en secano con espacios significativos de vegetación natural y seminatural	Terrenos principalmente agrícolas con importantes espacios de vegetación natural		
					Mosaico de cultivos agrícolas en regadío con espacios significativos de vegetación natural y seminatural			
					Mosaico de prados o praderas con espacios significativos de vegetación natural y seminatural			
Dehesa			0,06		Pastizales, prados o praderas con arbolado adehesado	Sistemas agro-forestales		
					Cultivos agrícolas con arbolado adehesado			
Arbolado forestal	Frondosas	Frondosas caducifolias	0,07		Bosque mixto		Bosques	Bosques y áreas seminaturales
					Perennifolias	Bosques de frondosas		
					Caducifolias y marcescentes			
		Frondosas perennifolias			Otras frondosas de plantación			
					Mezclas de frondosas			
					Laurisilva macaronésica			
					Bosques de ribera			
	Coníferas				Bosques de coníferas de hojas aciculares	Bosques de coníferas		
					Bosques de coníferas de hojas de tipo cupresáceo			
Pastizal			0,035		Pastizales supraforestales templado – oceánicos, pirenaicos y orocantábricos	Pastizales supraforestales	Matorrales y/o asociaciones de vegetación herbácea	
					Pastizales supraforestales mediterráneos			
					Otros pastizales templado oceánicos	Otros pastizales		
					Otros pastizales mediterráneos			
Matorral			0,055–0,07	0,06	Landas y matorrales en climas húmedos. Vegetación mesófila	Landas y matorrales mesófilos		
Matorral			0,055–0,07	0,06	Fayal – brezal macaronésico	Landas y matorrales mesófilos	Matorrales y/o asociaciones de vegetación herbácea	Bosques y áreas seminaturales
				0,065	Grandes formaciones de			

Valores del coeficiente de rugosidad de Manning asignados a los usos del suelos del SIOSE y CLC2000.									
Clasificación de usos del suelo del SIOSE				**n**		**Clasificación de usos del suelo del CORINE (2000)**			
						matorral denso o medianamente denso	Matorrales esclerófilos mediterráneos	Vegetación esclerófila	
					0,055	Matorrales sub-arbustivos o arbustivos muy poco densos			
					0,06	Matorrales xerófilos macaronésicos			
					0,07	Matorral boscoso de frondosas		Matorral boscoso de transición (claras de bosques / zonas empantanadas fijas o en transición	
						Matorral boscoso de coníferas			
						Matorral boscoso de bosque mixto			
Terrenos sin vegetación	Playas, dunas y arenales			0,025		Playas y dunas		Playas, dunas y arenales	Espacios abiertos con escasa o sin vegetación
	Ramblas			0,035		Ramblas con poca o sin vegetación			
	Roquedos	Acantilados marinos		0,025		Rocas desnudas con poca o sin vegetación		Roquedo	
		Afloramientos rocosos y roquedos		0,025	0,025-0,035	Afloramientos rocosos y canchales			
		Canchales		0,035					
		Coladas lávicas cuaternarias		0,03		Coladas lávicas cuaternarias			
	Suelo desnudo					Xeroestepa subdesértica		Espacios con vegetación escasa	
	Zonas quemadas					Cárcavas y/o zonas en proceso de erosión			
	Glaciares y nieves permanentes					Espacios orófilos altitudinales con vegetación escasa			
Coberturas húmedas	Humedales continentales	Zonas pantanosas		0,04		Humedales y zonas pantanosas (zonas pantanosas sin árboles y de transición, en ocasiones con una turbera de más de 30 cm de espesor)			Zonas húmedas continentales
		Turberas							
	Humedales marinos	Marismas				Marismas			Zonas húmedas litorales
		Salinas marinas				Zonas llanas intermareales			
	Humedales continentales	Salinas continentales				Salinas			
Artificial compuesto	Infraestructuras	Suministro de agua	Conducciones y canales	0,05		Canales artificiales		Cursos de aguas	Aguas continentales
		Cursos de agua		0,04		Ríos y cauces naturales			

Valores del coeficiente de rugosidad de Manning asignados a los usos del suelos del SIOSE y CLC2000.								
Clasificación de usos del suelo del SIOSE				n	Clasificación de usos del suelo del CORINE (2000)			
Coberturas de agua	Aguas continentales	Láminas de agua	Lagos y lagunas	0,025	Lagos y lagunas	Láminas de agua		
			Embalses		Embalses			
Cobertura artificial	Lámina de agua artificial							
Coberturas de agua	Aguas marinas	Lagunas costeras			Lagunas costeras		Aguas Marinas	
		Estuarios		0,03	Estuarios			
		Mares y océanos		0,025	Mares y océanos			

Tabla 11: Valores del coeficiente de rugosidad de Manning asignados a los usos del suelo del SIOSE y CLC2000

En caso contrario, se podrán realizar salidas de campo para mejorar la estimación de la densidad de la vegetación.

El valor del coeficiente de rugosidad de Manning en el caso de los usos compuestos de tipo mosaico (regular e irregular) y de las asociaciones del SIOSE, se obtendrá como media de los números de Manning correspondientes a los usos simples que los integran ponderados según los porcentajes de superficie en los que están presentes.

Por lo general, se aconseja realizar la modelización hidráulica en base a la información más reciente sobre usos del suelo en el tramo de estudio, a menos que se tenga información suficiente como para plantear un escenario diferente. Por otra parte, durante el proceso de calibración del modelo hidráulico, puede ser de interés simular una avenida ocurrida en el pasado cuando el escenario de usos del suelo era diferente. En la medida de lo posible, se procederá a la modelización hidráulica de los caudales de la avenida bajo dicho escenario.

La capa de polígonos de usos del suelo con sus correspondientes valores del coeficiente de rugosidad de Manning se puede introducir como una capa adicional de información en algunos modelos, de tal forma que los valores de la rugosidad se incorporen automáticamente al modelo. En esta capa habrá que incluir también los polígonos correspondientes al cauce.

3 Rugosidad del cauce

Los valores de los coeficientes de fricción en el cauce vienen dados por la resistencia al flujo ejercida por los sedimentos que conforman el lecho y las márgenes del río y por la vegetación. Existe una gran variedad de métodos para estimar coeficientes de fricción que han sido obtenidos a partir de experimentos con modelos reducidos o prototipos que simulan distintas configuraciones del cauce. Como se ha visto anteriormente, el uso de la fórmula de Manning, que relaciona la velocidad del flujo con el coeficiente de fricción o rugosidad, está muy generalizado en la modelización hidráulica. La rugosidad en el cauce no puede estimarse sólo con la información sobre usos del suelo, ya que en su valor también influye, por ejemplo, la granulometría del lecho, la vegetación, etc. De esta forma, es necesario estimarlo y, siempre que sea posible, calibrarlo en base a datos reales de flujo de caudales.

Entre los procedimientos a aplicar se encuentra el método de Cowan. El Soil Conservation Service (SCS) propone el método de Cowan (Cowan, 1956) para la estimación de la rugosidad en cauces. Este método se basa en la estimación de un valor inicial de la rugosidad y su posterior modificación, según unos valores correctores, para obtener un valor final de la rugosidad. El US Geological Survey (USGS) modifica el método de Cowan y lo publica en una guía para la selección de la rugosidad del cauce como método de Cowan modificado (Arcement y Schneider, 1990). Este método expresa el coeficiente de rugosidad como:

$$n = (n0 + n1 + n2 + n3 + n4)\, n5$$

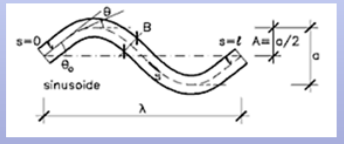
ESTUDIOS DE PARÁMETROS BÁSICOS:

Hidráulica → RUGOSIDAD

$$Q = V * S \qquad V = \frac{I_0^{1/2} . R_h^{2/3}}{n}$$

*n = (n0+ n1+ n2+ n3+ n4) * n5*

n0: valor base para cauces rectos y uniformes.
n1: valor adicional por la irregularidad en la sección recta.
n2: valor adicional por variaciones en el cauce.
n3: valor adicional por obstrucciones.
n4: valor adicional por vegetación.
n5: factor multiplicador por sinuosidad.



IMPRESCINDIBLE → justificación del valor adoptado, utilizando sobretodo documentación gráfica (ortofotos, coberturas de rugosidad, reportaje fotográfico etc.) → SIG

Tipo de cauce y descripción	Valor de *n*		
	Mínimo	Normal	Máximo
A. Conductos cerrados que fluyen parcialmente llenos			
A1) Metal			
a) Latón liso	0.009	**0.010**	0.013
b) Acero			
Estriado y soldado	0.010	0.012	0.014
Ribeteado y en espiral	0.013	0.016	0.017
c) Hierro fundido			
Recubierto	0.010	0.013	0.014
No recubierto	0.011	0.014	0.016
d) Hierro forjado			
Negro	0.012	0.014	0.015
Galvanizado	0.013	0.016	0.017
e) Metal corrugado			
Subdrenaje	0.017	0.019	0.021
Drenaje de aguas lluvias	0.021	**0.024**	0.030
A2) No metal			
a) Lucita	0.008	0.009	0.010
b) Vidrio	0.009	**0.010**	0.013
c) Cemento			
Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
Mortero	0.011	0.013	0.015
d) Concreto			
Alcantarilla, recta y libre de basuras.	0.010	0.011	0.013
Alcantarilla con curvas, conexiones y algo de basuras.	0.011	**0.013**	0.014
Bien terminado.	0.011	0.012	0.014
Alcantarillado de aguas residuales, con pozos de inspección, entradas, etc., recto.	0.013	0.015	0.017
Sin pulir, formaleta y encofrado metálico.	0.012	0.013	0.014
Sin pulir, formaleta y encofrado en madera lisa.	0.012	**0.014**	0.016
Sin pulir, formaleta o encofrado en madera rugosa.	0.015	0.017	0.020
e) Madera			
Machihembrada	0.010	0.012	
Laminada, tratada	0.015	0.017	
f) Arcilla			
Canaleta común de baldosas.	0.011	**0.013**	0.017
Alcantarilla vitrificada.	0.011	0.014	0.017
Alcantarilla vitrificada con pozos de inspección, entradas, etc.	0.013	0.015	0.017
Subdrenaje vitrificado con juntas abiertas.	0.014	0.016	0.018

g) Mampostería en ladrillo			
Barnizada o lacada	0.011	0.013	0.015
Revestida con mortero de cemento	0.012	0.015	0.017
h) Alcantarillados sanitarios recubiertos con limos y babas de aguas residuales, con curvas y conexiones.	0.012	0.013	0.016
i) Alcantarillado con batea pavimentada, fondo liso.	0.016	0.019	0.020
j) Mampostería de piedra, cementada.	0.018	0.025	0.030
B) Canales revestidos o desarmables			
B1) Metal			
a) Superficie lisa de acero			
Sin pintar	0.011	**0.012**	0.014
Pintada	0.012	0.013	0.017
b) Corrugado	0.021	0.025	0.030
B2) No metal			
a) Cemento			
Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
Mortero	0.011	0.013	0.015
b) Madera			
Cepillada, sin tratar.	0.010	0.012	0.014
Cepillada, creosotada	0.011	0.012	0.015
Sin cepillar	0.011	0.013	0.015
Láminas con listones.	0.012	0.015	0.018
Forrada con papel impermeabilizante	0.010	0.014	0.017
c) Concreto			
Terminado con llana metálica (palustre)	0.011	**0.013**	0.015
Terminado con llana de madera	0.013	0.015	0.016
Pulido, con gravas en el fondo	0.015	0.017	0.020
Sin pulir.	0.014	0.017	0.020
Lanzado, sección buena	0.016	0.019	0.023
Lanzado, sección ondulada	0.018	0.022	0.025
Sobre roca bien excavada	0.017	0.020	
Sobre roca irregularmente excavada	0.022	0.027	
d) Fondo de concreto terminado con llana de madera y con lados de:			
Piedra labrada, en mortero.	0.015	0.017	0.020
Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.017	0.020	0.024
Mampostería de piedra cementada, recubierta	0.016	0.020	0.024
Mampostería de piedra cementada	0.020	0.025	0.030
Piedra suelta o riprap	0.029	0.030	0.035
e) Fondo de gravas con lados de:			
Concreto encofrado	0.017	0.020	0.025
Piedra sin seleccionar, sobre mortero.	0.020	0.023	0.026
Piedra suelta o riprap	0.023	0.033	0.036

f) Ladrillo			
Barnizado o lacado	0.011	**0.013**	0.015
En mortero de cemento	0.012	**0.015**	0.018
g) Mampostería			
Piedra partida cementada	0.017	0.025	0.030
Piedra suelta o riprap	0.023	0.032	0.035
h) Bloques de piedra labrados	0.013	0.015	0.017
i) Asfalto			
Liso	0.013	0.013	
Rugoso	0.016	0.016	
j) Revestimiento vegetal	0.030	...	0.500
C. Excavado o dragado			
a) En tierra, recto y uniforme			
Limpio, recientemente terminado	0.016	0.018	0.020
Limpio, después de exposición a la intemperie.	0.018	**0.022**	0.025
Con gravas, sección uniforme, limpio.	0.022	0.025	0.030
Con pastos cortos, algunas malezas.	0.022	0.027	0.033
b) En tierra, serpenteante y lento			
Sin vegetación.	0.023	0.025	0.030
Pastos, algunas malezas.	0.025	0.030	0.033
Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos.	0.030	0.035	0.040
Fondo en tierra con lados en piedra.	0.028	0.030	0.035
Fondo pedregoso y bancas con maleza.	0.025	0.035	0.040
Fondo en cantos rodados y lados limpios.	0.030	0.040	0.050
c) Excavado con pala o dragado			
Si vegetación.	0.025	0.028	0.033
Matorrales ligeros en las bancas.	0.035	0.050	0.060
d) Cortes en roca			
Lisos y uniformes.	0.025	0.035	0.040
Afilados e irregulares.	0.035	0.040	0.050
e) Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar			
Malezas densas, tan altas como la profundidad del flujo.	0.050	0.080	0.120
Fondo limpio, matorrales en los lados.	0.040	0.050	0.080
Igual, nivel máximo del flujo.	0.045	0.070	0.110
Matorrales densos, nivel alto	0.080	0.100	0.140

D. Cauces naturales menores (ancho superior a nivel de crecida menor que 30 m)			
D1) Cauces en planicie			
1) Limpio, recto, nivel lleno, sin fallas o pozos profundos	0.025	**0.030**	0.033
2) Igual que arriba pero más piedras y pastos	0.030	0.035	0.040
3) Limpio, curvado, algunos pozos y bancos	0.033	0.040	0.045
4) Igual que arriba pero algunos pastos y piedras	0.035	0.045	0.050
5) Igual que arriba, niveles más bajos, pendiente y secciones más inefectivas	0.040	0.048	0.055
6) Igual que 4, pero más piedras	0.045	0.050	0.060
7) Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
8) Tramos con muchos pastos, pozos profundos o recorridos de la crecida con mucha madera o arbustos bajos	0.075	0.100	0.150
D2) Cauces de montaña, sin vegetación en el canal, laderas con pendientes usualmente pronunciadas, árboles y arbustos a lo largo de las laderas y sumergidos para niveles altos			
1) Fondo: grava, canto rodado y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2) Fondo: canto rodado y algunas rocas	0.040	0.050	0.070
E) Cauces con planicie crecida			
1) Pastos, sin arbustos			
· Pastos cortos	0.025	0.030	0.035
· Pastos altos	0.030	0.035	0.050
2) Áreas cultivadas			
· Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
· Cultivos maduros alineados	0.025	0.035	0.045
· Campo de cultivos maduros	0.030	0.040	0.050
3) Arbustos			
· Arbustos escasos, muchos pastos	0.035	0.050	0.070
· Pequeños arbustos y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
· Pequeños arbustos y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
· Arbustos medianos a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
· Arbustos medianos a densos, en verano	0.070	0.100	0.160

4) Arboles			
· Sauces densos, en verano, y rectos	0.110	0.150	0.200
· Tierra clara con ramas, sin brotes	0.030	0.040	0.050
· Igual que arriba pero con gran crecimiento de brotes	0.050	0.060	0.080
· Grupos grandes de madera, algunos árboles caídos, poco crecimiento inferior y nivel de la inundación por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
· Igual que arriba, pero con el nivel de inundación alcanzando las ramas	0.100	0.120	0.160
F) Cursos de agua importantes (ancho superior a nivel de inundación mayor que 30 m). Los valores de *n* son menores que los de los cursos menores de descripción similar, ya que las bancas ofrecen menor resistencia efectiva.			
1) Sección regular sin rocas y arbustos	0.025	-	0.060
2) Sección irregular y áspera	0.035	-	0.100

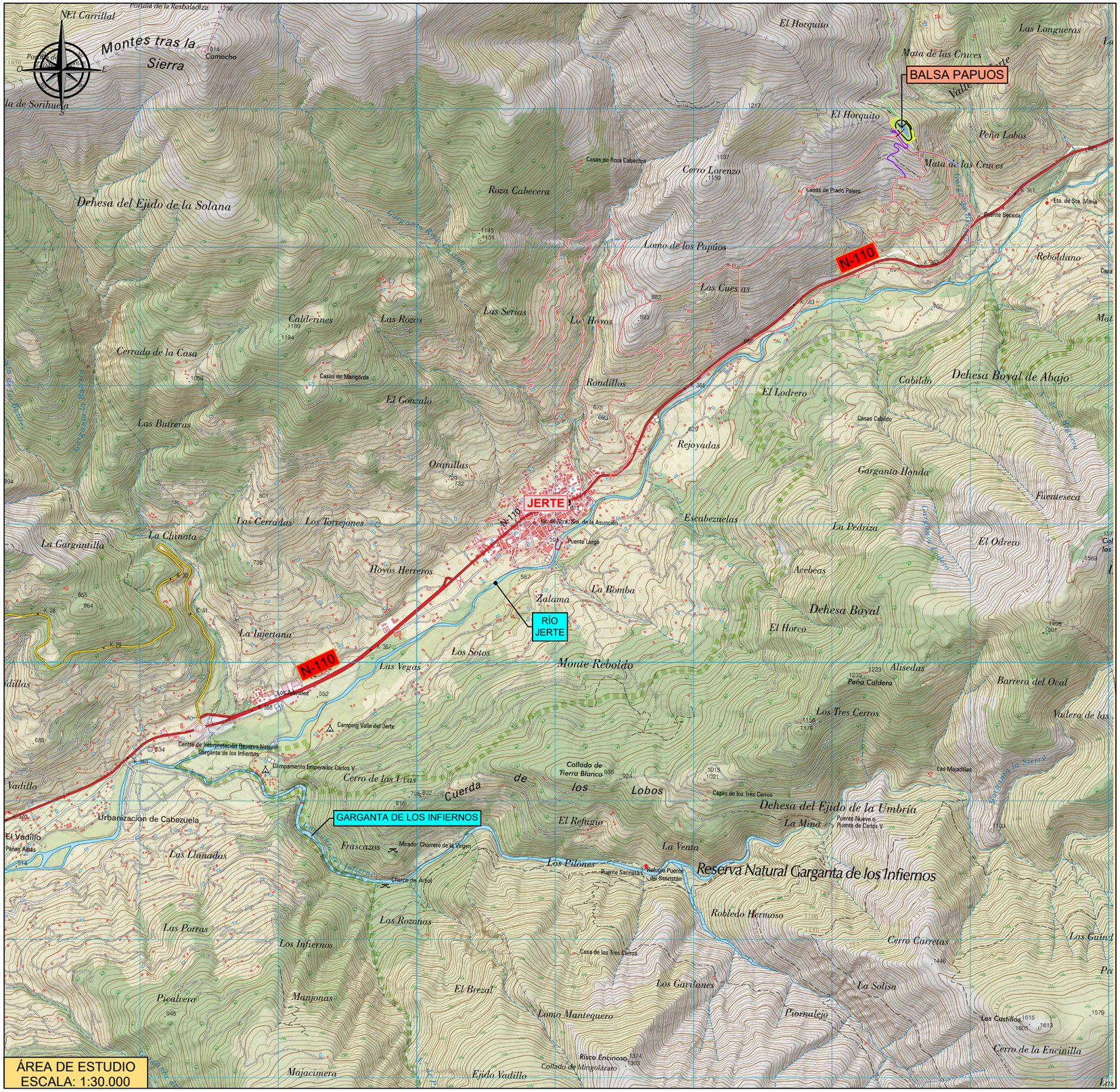
Efecto	Factor	Condición	Valor	Comentario
Irregularidad en la sección recta	n_1	Suave Pequeña Moderada Fuerte	0 0.001 - 0.005 0.006 - 0.010 0.011 - 0.020	Canal muy liso Bancas algo erodadas Lecho y bancas rugosas Bancas muy irregulares
Variaciones en el cauce	n_2	Gradual Alternado ocasionalmente Alternando frecuentemente	0 0.001 - 0.005 0.010 - 0.015	Cambios graduales Cambios ocasionales de secciones pequeñas a grandes Cambios frecuentes en la forma de la sección recta
Obstrucciones	n_3	Despreciables Pocas Algunas Muchas	0 – 0.004 0.005 - 0.015 0.020 - 0.030 0.040 - 0.060	Obstrucción menor que el 5% de la sección recta Obstrucción entre el 5% y el 15% de la sección recta Obstrucción entre el 15% y el 50% de la sección Obstrucción mayor que el 50%
Vegetación	n_4	Poca Mucha Bastante Excesiva	0.002 - 0.010 0.010 - 0.025 0.025 - 0.050 0.050 - 0.100	Profundidad del flujo mayor que 2 veces la altura de la vegetación Profundidad del flujo mayor que la altura de vegetación Profundidad del flujo menor que la altura de vegetación Profundidad del flujo menor que 0.5 la altura de la vegetación
Sinuosidad	n_5	Pequeña Media Fuerte	1.00 1.15 1.30	Sinuosidad < 1.2 1.2 < sinuosidad < 1.5 Sinuosidad > 1.5

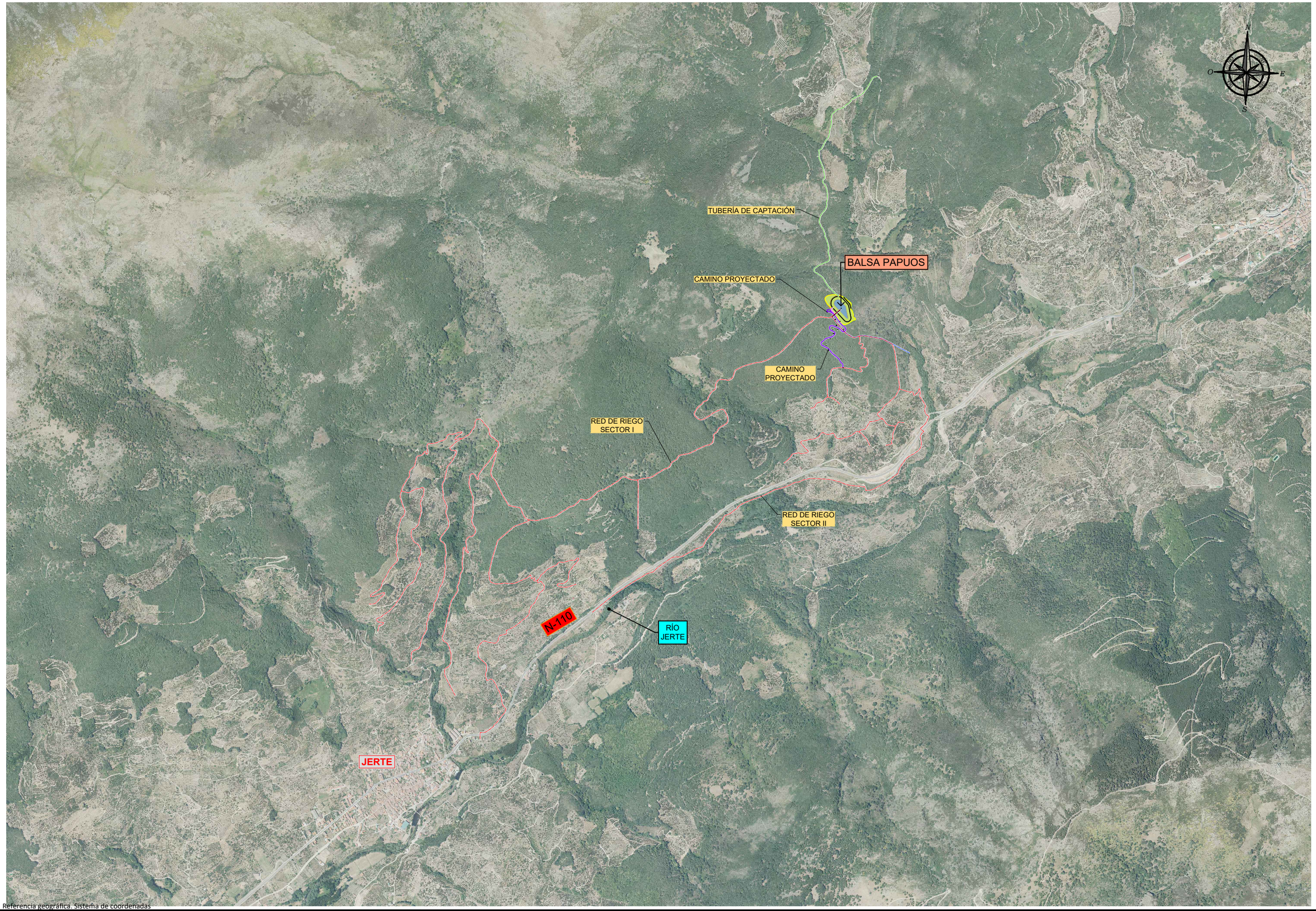
ANÁLISIS DE AFECCIONES

1 Daños materiales ocasionados por la rotura

IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA AFECCIÓN POTENCIAL									RESULTADOS DEL MODELO HIDRÁULICO						CLASIFICACIÓN DEL DAÑO	
Nº	Denominación	Tipo de elemento afectado	Distancia a la presa (km)	Cauce	Margen	Coordenadas UTM		Cota (msnm)	Caudal máximo (m^3/s)	Cota máxima de agua (msnm)	Tiempo de llegada onda (h:mm)	Tiempo valores máximos (h:mm)	Calado máximo (m)	Velocidad máxima (m/s)	Grado de afección	Daños potenciales
						X	Y									
6	N-110	Carretera Nacional	0.875	-	-	268275.167	4457873.094	703,2	76.60	704,2	0:05	0:06	1,00	3,00	Grave	Muy importantes

PLANOS


BALSA PAPUOS
RÍO JERTE
GARGANTA DE LOS INFIERNOS
JERTE
N-110
Montes tras la Sierra
Dehesa del Ejido de la Solana
Roza Cabecera
Lomo de los Papúos
Las Cuevas
Las Serias
Los Hoyos
Calderines
Las Rozas
Cerrado de la Casa
El Gonzalo
Las Butreras
Rondillos
El Lodrero
Cabildo
Dehesa Boyal de Abajo
Rejoyadas
Granillas
Gargantа Honda
Fuenteseca
Escabezuelas
La Pedriza
El Odrero
Las Cerradas
Los Torrejones
La Chinata
La Gargantilla
Hoyos Herreros
Acebeas
Zalama
La Bomba
Dehesa Boyal
El Horco
La Injertiana
Los Sotos
Las Vegas
Monte Reboldo
Alisedas
Barrera del Ocal
Los Tres Cerros
Vadera de las
Collado de Tierra Blanca
Cuerda de los Lobos
Dehesa del Ejido de la Umbría
El Refugio
La Mina
La Venta
Reserva Natural Garganta de los Infiernos
Robledo Hermoso
Cerro Carretas
Las Guind
Los Pilones
Frascazos
Los Llanadas
Urbanizacion de Cabezuela
Vadillo
Las Porras
Los Infiernos
Las Rozonas
Picalvero
Manjonas
El Brezal
Los Gavilanes
La Solisa
Lomo Manteguero
Piornalejo
Majacimera
Ejido Vadillo
Risco Encinoso
Collado de Mingolázaro
Cerro de la Encinilla
Los Castillos
Peña Lobos
Mata de las Cruces
El Horquito
Las Longueras
Cerro Lorenzo
Reboldano
Peña Caldera
Casas de Roza Cabecha
Casas de Prado Palero
Casas de Mangorda
Casas Cabildo
Casas de los Tres Cerros
Ctra. de Jerte
Puente Becedá
Ermita de Sra. María
Ctra. de Barrado
Ctra. de Cabezuela
Ctra. de Infiernos
Ctra. de Majadillas
Ctra. de Tornavacas
Ctra. de Valle la Sierra
Ctra. de Valle Jerte
Ctra. de Valle Jerte
Ctra. de Valle Jerte



Referencia geográfica. Sistema de coordenadas

Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN · seiasa

JUNTA DE EXTREMADURA
Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Población y Territorio
UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural

PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL RIESGO POTENCIAL DE ROTURA DE LA BALSA PAPUOS UBICADA EN EL T.M. DE JERTE (CACERES)

Escala: 0 200 400
Escala 1:20.000
FORMATO ORIGINAL UNE A-3

Fecha: JUNIO 2023

Autores del Proyecto:
Tragsatec
Antonio Luque Palma — Ingeniero Agrónomo
José A. López Rasero — Ingeniero Técnico Agrícola. Nº Colegiado 5.081 — Ingeniero Técnico de O.P. Nº Colegiado 23.787
Antonio P. Romero Gandullo — Ingeniero de Montes. Nº Colegiado 4.521 — Ingeniero de CCP. Nº Colegiado 28.112
Javier Merino Crespín — Ingeniero Agrónomo. Nº Colegiado 2.382 — Ingeniero Civil. Nº Colegiado 19.615

LOCALIZACIÓN DE LA BALSA Y RED HIDROGRÁFICA

Nº 2

Hoja nº: 1 DE 1

BALSA PAPUOS

RÍO JERTE

N-110

N-110

N
O
E
S

MDT
1,078 m
1,050 m
1,000 m
950 m
900 m
850 m
800 m
750 m
700 m
669 m

LEYENDA	
	CONTORNO DE LA SIMULACIÓN
	FUTURA BALSA

Referencia geográfica: Sistema de coordenadas

Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN

seiasa

JUNTA DE EXTREMADURA
Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Población y Territorio
UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural

PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL RIESGO POTENCIAL DE ROTURA DE LA BALSA PAPUOS UBICADA EN EL T.M. DE JERTE (CACERES)

Escala: 0 50 100 150
Escala 1:7.500
FORMATO ORIGINAL UNE A-3

Fecha: JUNIO 2023

Autores del Proyecto:
Tragsatec
Antonio Luque Palma, Ingeniero Agrónomo
José A. López Rasero, Ingeniero Técnico Agrícola. Nº Colegiado 5.081, Ingeniero Técnico de O.P. Nº Colegiado 23.787
Antonio P. Romero Gandullo, Ingeniero de Montes. Nº Colegiado 4.521, Ingeniero de CCP. Nº Colegiado 28.112
Javier Merino Crespín, Ingeniero Agrónomo. Nº Colegiado 2.382, Ingeniero Civil. Nº Colegiado 19.615

MODELO DIGITAL DEL TERRENO

Nº 3

Hoja nº: 1 DE 1

BALSA PAPUOS

RÍO JERTE

N-110

N-110

N
O
E
S

LEYENDA	
	CONTORNO DE LA SIMULACIÓN
	FUTURA BALSA

Referencia geográfica: Sistema de coordenadas

RUGOSIDAD
- Red viaria o ferroviaria n: 0.1
- Frutal no cítrico n: 0.06
- Combinación de cultivos con vegetación n: 0.05
- Bosque de frondosas n: 0.07
- Matorral n: 0.065
- Combinación de vegetación n: 0.06
- Roquedo n: 0.03

Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN

seiasa

JUNTA DE EXTREMADURA
Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Población y Territorio
UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural

PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL RIESGO POTENCIAL DE ROTURA DE LA BALSA PAPUOS UBICADA EN EL T.M. DE JERTE (CACERES)

Escala: 0 50 100 150
Escala 1:7.500
FORMATO ORIGINAL UNE A-3

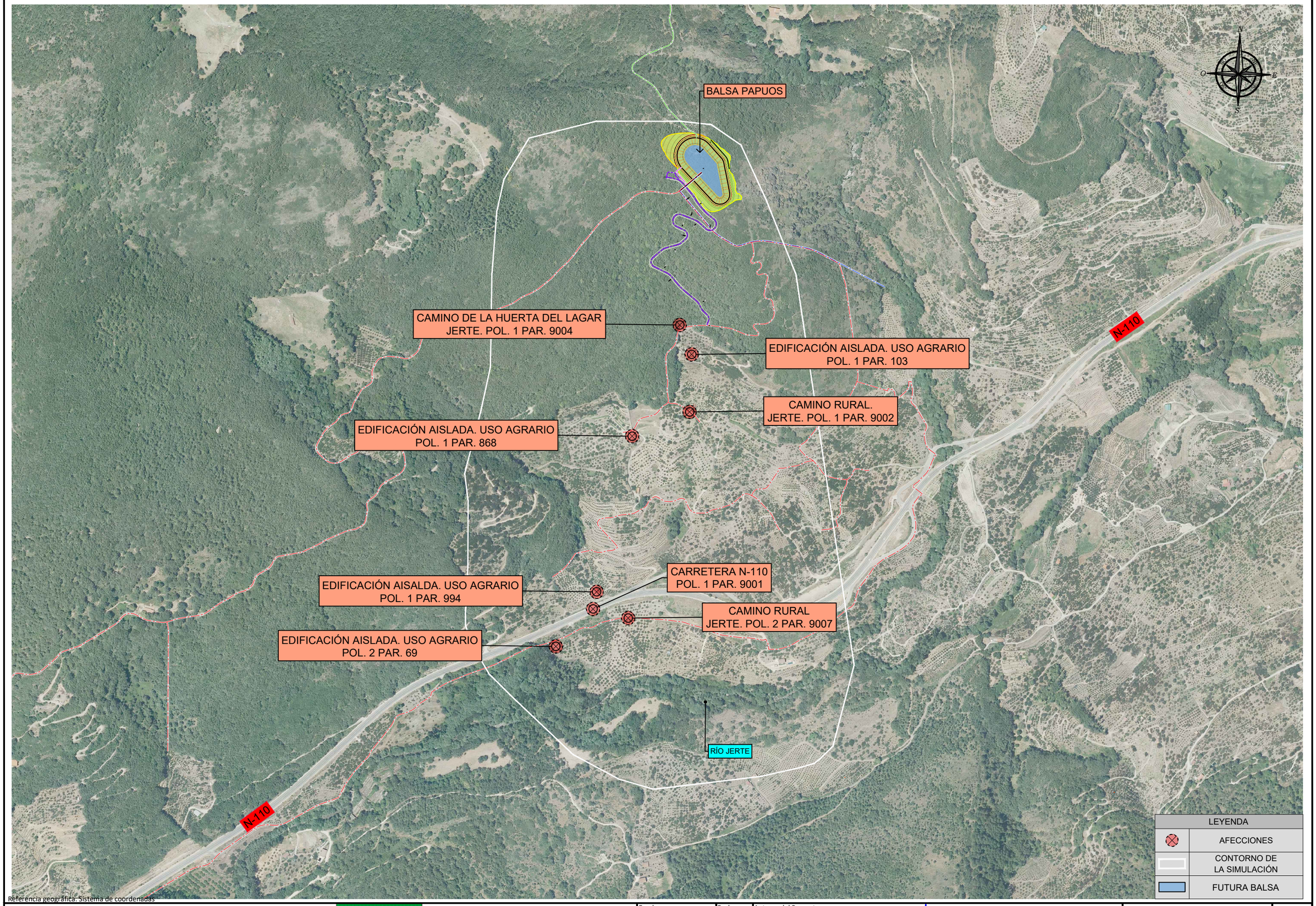
Fecha: JUNIO 2023

Autores del Proyecto:
Tragsatec
Antonio Luque Palma, Ingeniero Agrónomo
José A. López Rasero, Ingeniero Técnico Agrícola. Colegiado 5.081, Ingeniero Técnico de O.P. Nº Colegiado 23.787
Antonio P. Romero Gandullo, Ingeniero de Montes. Nº Colegiado 4.521, Ingeniero de CCP. Nº Colegiado 28.112
Javier Merino Crespín, Ingeniero Agrónomo. Nº Colegiado 2.382, Ingeniero Civil. Nº Colegiado 19.615

RUGOSIDAD

Nº 4

Hoja nº: 1 DE 1



Referencia geográfica: Sistema de coordenadas

Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN · seiasa · JUNTA DE EXTREMADURA · Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Población y Territorio · UNIÓN EUROPEA · Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural

PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL RIESGO POTENCIAL DE ROTURA DE LA BALSA PAPUOS UBICADA EN EL T.M. DE JERTE (CACERES)

Escala: 0 50 100 150
Escala 1:7.500
FORMATO ORIGINAL UNE A-3

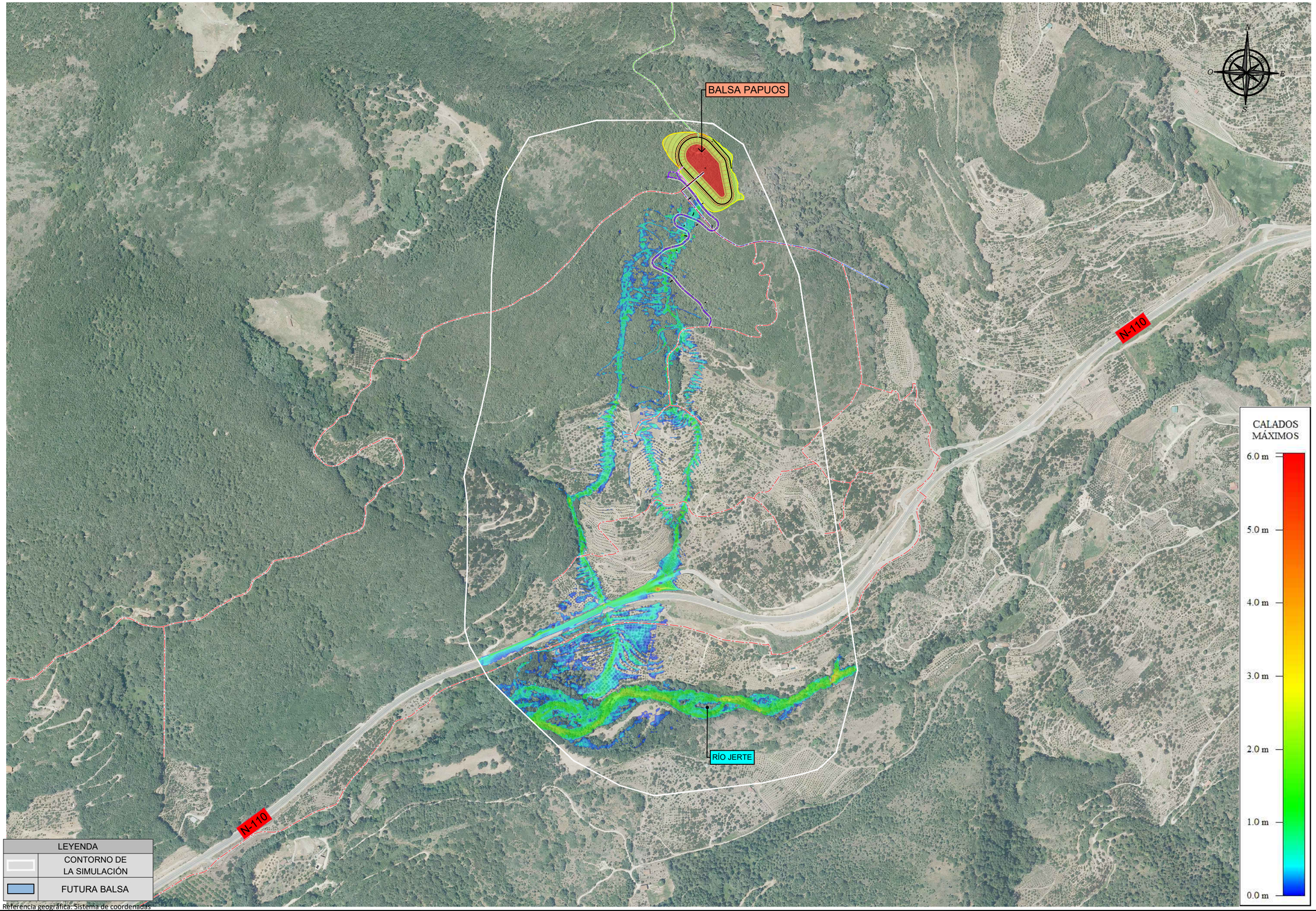
Fecha: JUNIO 2023

Autores del Proyecto:
Tragsatec
Antonio Luque Palma — Ingeniero Agrónomo
José A. López Rasero — Ingeniero Técnico Agrícola Nº Colegiado 5.081 — Ingeniero Técnico de O.P. Nº Colegiado 23.787
Antonio P. Romero Gandullo — Ingeniero de Montes. Nº Colegiado 4.521 — Ingeniero de CCP. Nº Colegiado 28.112
Javier Merino Crespín — Ingeniero Agrónomo. Nº Colegiado 2.382 — Ingeniero Civil. Nº Colegiado 19.615

IDENTIFICACIÓN DE AFECCIONES

Nº 5

Hoja nº: 1 DE 1



Referencia geográfica: Sistema de coordenadas

Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN · seiasa

JUNTA DE EXTREMADURA
Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Población y Territorio
UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural

PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL RIESGO POTENCIAL DE ROTURA DE LA BALSA PAPUOS UBICADA EN EL T.M. DE JERTE (CACERES)

Escala: 0 50 100 150 — *Escala 1:7.500*
FORMATO ORIGINAL UNE A-3

Fecha: JUNIO 2023

Autores del Proyecto:
Tragsatec
Antonio Linde Palma — Ingeniero Agrónomo
José A. López Rasero — Ingeniero Técnico Agrícola. Nº Colegiado 5.081 — Ingeniero Técnico de O.P. Nº Colegiado 23.787
Antonio P. Romero Gandullo — Ingeniero de Montes. Nº Colegiado 4.521 — Ingeniero de CCP. Nº Colegiado 28.112
Javier Merino Crespín — Ingeniero Agrónomo. Nº Colegiado 2.382 — Ingeniero Civil. Nº Colegiado 19.615

ESCENARIO SIN AVENIDA
MAPA DE CALADOS MÁXIMOS

Nº 6.1

Hoja nº: 1 DE 1

BALSA PAPUOS

RÍO JERTE

N-110

N-110

N
O
E
S

VELOCIDADES MÁXIMAS

16.2 m/s
15.0 m/s
12.5 m/s
10.0 m/s
7.5 m/s
5.0 m/s
2.5 m/s
0.0 m/s

LEYENDA	
	CONTORNO DE LA SIMULACIÓN
	FUTURA BALSA

Referencia geográfica: Sistema de coordenadas

Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN

seiasa

JUNTA DE EXTREMADURA
Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Población y Territorio
UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural

PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL RIESGO POTENCIAL DE ROTURA DE LA BALSA PAPUOS UBICADA EN EL T.M. DE JERTE (CACERES)

Escala:
0 50 100 150
Escala 1:7.500
FORMATO ORIGINAL UNE A-3

Fecha:
JUNIO 2023

Autores del Proyecto:
Tragsatec
Antonio Luque Palma, Ingeniero Agrónomo
José A. López Rascón, Ingeniero Técnico Agrícola. Nº Colegiado 5.081, Ingeniero Técnico de O.P. Nº Colegiado 23.787
Antonio P. Romero Gandullo, Ingeniero de Montes. Nº Colegiado 4.521, Ingeniero de CCP. Nº Colegiado 28.112
Javier Merino Crespín, Ingeniero Agrónomo. Nº Colegiado 2.382, Ingeniero Civil. Nº Colegiado 19.615

ESCENARIO SIN AVENIDA
MAPA DE VELOCIDADES MÁXIMAS

Nº 6.2

Hoja nº: 1 DE 1

Apéndice 1: Propuestas de Clasificación

PROYECTO DE CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL RIESGO POTENCIAL DE ROTURA DE LA BALSA "INFIERNO" UBICADA EN EL T.M. DE JERTE (CÁCERES)

Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

Índice

1 Introducción 5

2 Objetivo del proyecto 6

3 Legislación 7

4 Caracterización de la zona 9

4.1 Ámbito geográfico 9

4.2 Ámbito orográfico 11

4.3 Ámbito hidrográfico 12

4.3.1 Demarcación hidrográfica 12

4.3.2 Red hidrográfica 13

4.3.3 Sistema Nacional de Cartografías de Zonas Inundables (SNCZI) 14

4.4 Condicionantes hidráulicos 15

4.4.1 Infraestructuras de regulación 15

4.4.2 Infraestructuras de drenaje 15

5 Características de la balsa y el embalse 16

5.1 Identificación de la balsa y el embalse 16

5.2 Situación de la balsa 16

5.3 Características de la balsa 16

5.4 Características del embalse 17

6 Características de la zona aguas abajo de la balsa afectada por la onda de rotura 18

6.1 Cartografía empleada 18

6.2 Tipología de la zona 20

6.2.1 Posibles afecciones en caso de rotura 20

6.3 Presas existentes aguas abajo 21

7 Metodología y datos básicos del análisis hidráulico 22

7.1 Descripción y definición del modelo hidráulico bidimensional de HEC-RAS 22

7.1.1 Introducción 22

7.1.2 Contorno de la simulación 25

7.1.3 Límite aguas abajo del estudio 26

7.1.4 Escenarios de rotura 27

7.1.5 Modelización del terreno 29

7.1.6 Modelización del embalse 29

7.1.7 Modelización de la rugosidad 30

7.1.8 Condiciones del modelo 31

7.1.9 Parámetros de la simulación 33

7.2 Resultados del modelo hidráulico 39

7.2.1 Escenario sin avenida 40

7.2.2 Escenario límite 42

8 Clasificación de la balsa 44

8.1 Clasificación en función de las dimensiones 44

8.2 Clasificación en función del riesgo potencial 45

8.2.1 Criterios básicos de valoración de las afecciones 46

8.3 Propuesta de clasificación 54

9 Conclusiones 55

Metodología para el cálculo de la rugosidad

1 Introducción 56

2 Rugosidad en la llanura de inundación 57

3 Rugosidad del cauce 60

Análisis de afecciones

1 Daños materiales ocasionados por la rotura 61

Planos

1 Introducción

El presente documento se redacta con objeto de establecer la clasificación de la Balsa INFIERNO, situada en el término municipal de Jerte, en la provincia de Cáceres, en función de sus dimensiones y del riesgo potencial derivado de su rotura.

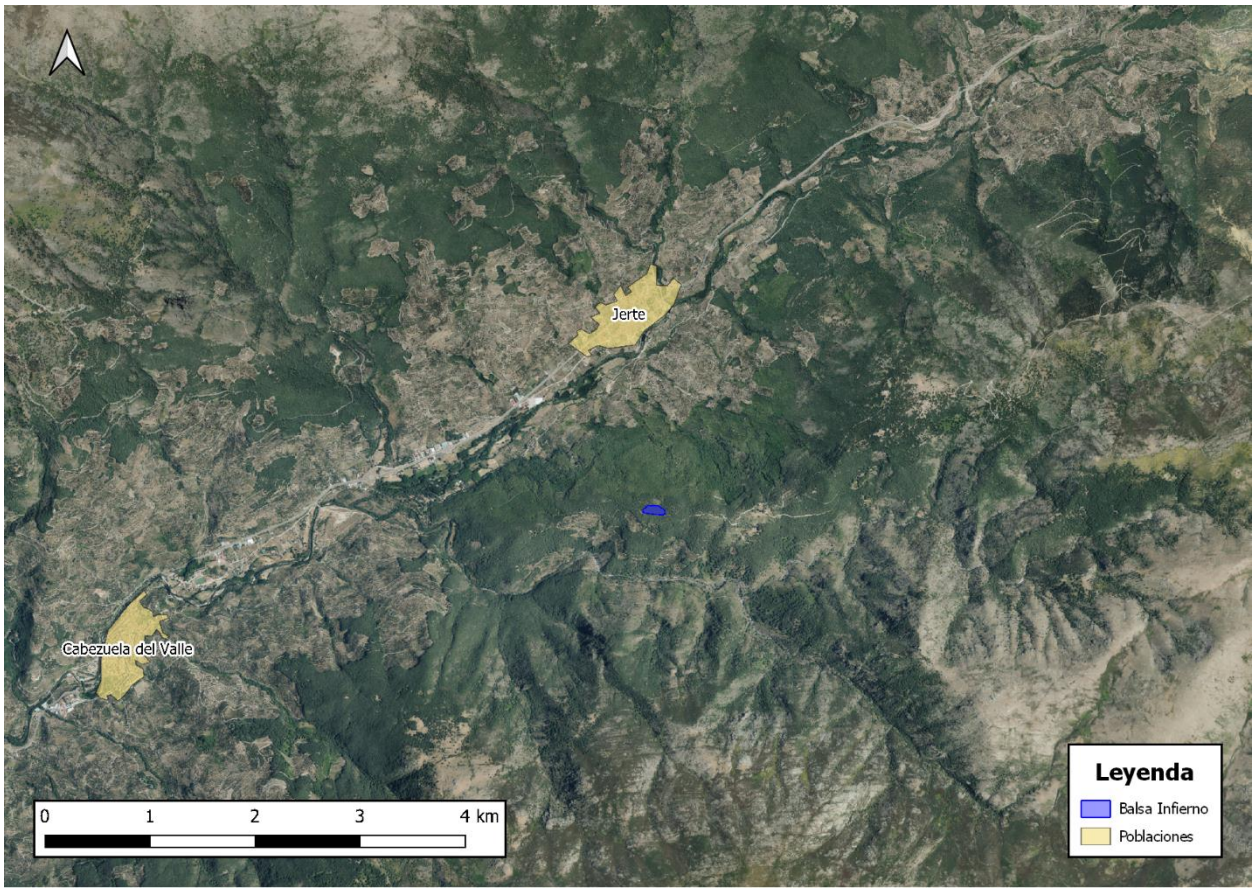


Figura 1: Localización de la balsa de estudio.

2 Objetivo del proyecto

El objeto del presente estudio es la justificación de la propuesta de clasificación, en función de las dimensiones y del riesgo potencial ante rotura, de la balsa "INFIERNO", situada en el término municipal de Jerte (Cáceres)

La presente balsa tiene una altura de 12 m, por lo que se establece la necesidad de clasificarla en función de su riesgo potencial según el Artículo 367.1 del Reglamento de Dominio Público Hidráulico:

Artículo 367. Obligaciones del titular.

1. *Los titulares de presas y balsas de altura superior a 5 metros o de capacidad de embalse mayor de 100.000 m3, de titularidad privada o pública, existentes, en construcción o que se vayan a construir, estarán obligados a solicitar su clasificación y registro. La resolución de clasificación deberá dictarse en el plazo máximo de un año.*

3 Legislación

A continuación, se enumera la normativa vigente adoptada como marco de referencia en el desarrollo del presente Estudio.

- Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.
- Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.
- Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, el Reglamento de Planificación Hidrológica, aprobado por el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, y otros reglamentos en materia de gestión de riesgos de inundación, caudales ecológicos, reservas hidrológicas y vertidos de aguas residuales.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.
- Plan Hidrológico Nacional (Ley 10/2001, de 5 de julio) posteriormente modificado por la Ley 11/2005, de 22 de junio.
- Instrucción de Planificación Hidrológica aprobada mediante ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre.
- Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica.
- Real Decreto 1159/2021, de 28 de diciembre, por el que se modifica el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica.
- Ley 9/2010 de 30 de julio de aguas de Andalucía y el artículo 32 de la Ley 7/2002, de 17 de diciembre, de Ordenación Urbanística de Andalucía.

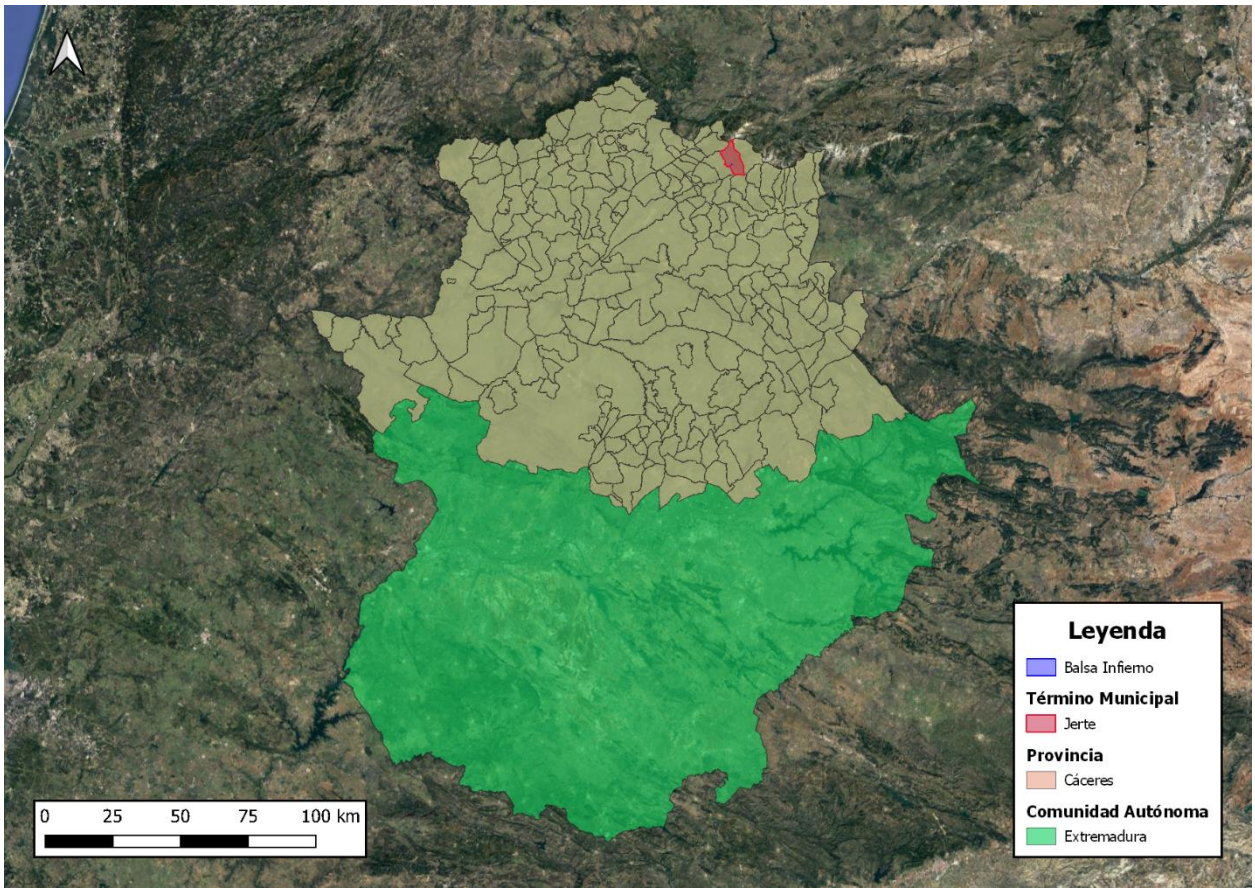
- Orden del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente de 12 de marzo de 1996 por el que se aprueba el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses.
- "Guía Técnica para la Clasificación de Presas en función del riesgo potencial" de la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas del Ministerio de Medio Ambiente, publicada en el año 1996.
- Real Decreto 264/2021, de 13 de abril, por el que se aprueban las normas técnicas de seguridad para las presas y sus embalses.
- "Guía Técnica para la Clasificación de Presas en función del riesgo potencial" de la Dirección General del Agua del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, publicada en noviembre de 2021 y actualizada en junio de 2023.
- Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, por el que se aprueba la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro. 3º ciclo 2022-2027.

4 Caracterización de la zona

A lo largo del presente apartado se describen las características fundamentales de la zona en la que se realiza el proyecto incidiendo en la localización de la misma, los elementos orográficos e hidrográficos y los condicionantes hidráulicos existentes en el entorno.

4.1 Ámbito geográfico

La zona de estudio se sitúa en el Término Municipal de Jerte, al sur del núcleo urbano.



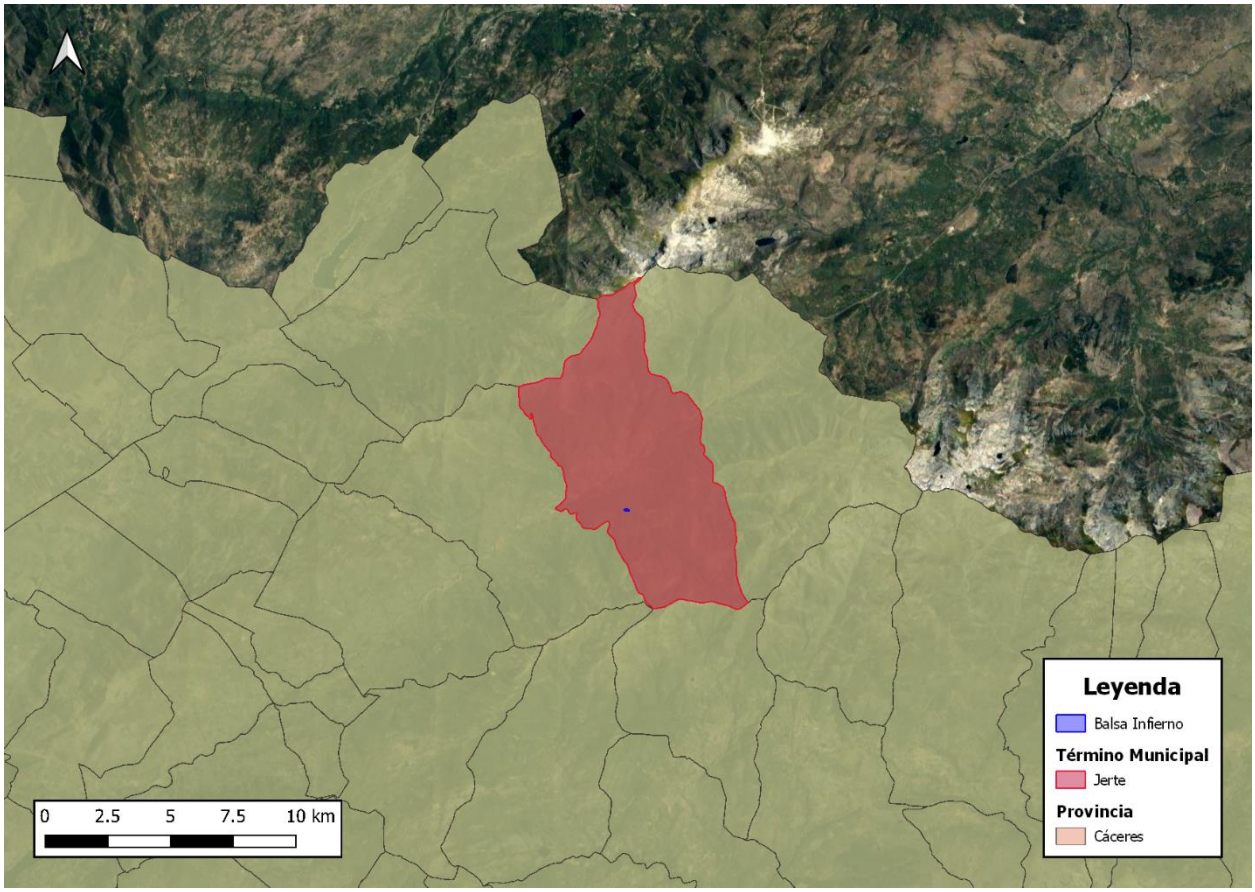


Figura 2: Localización del área de estudio en la provincia de Cáceres y el término municipal de Jerte.

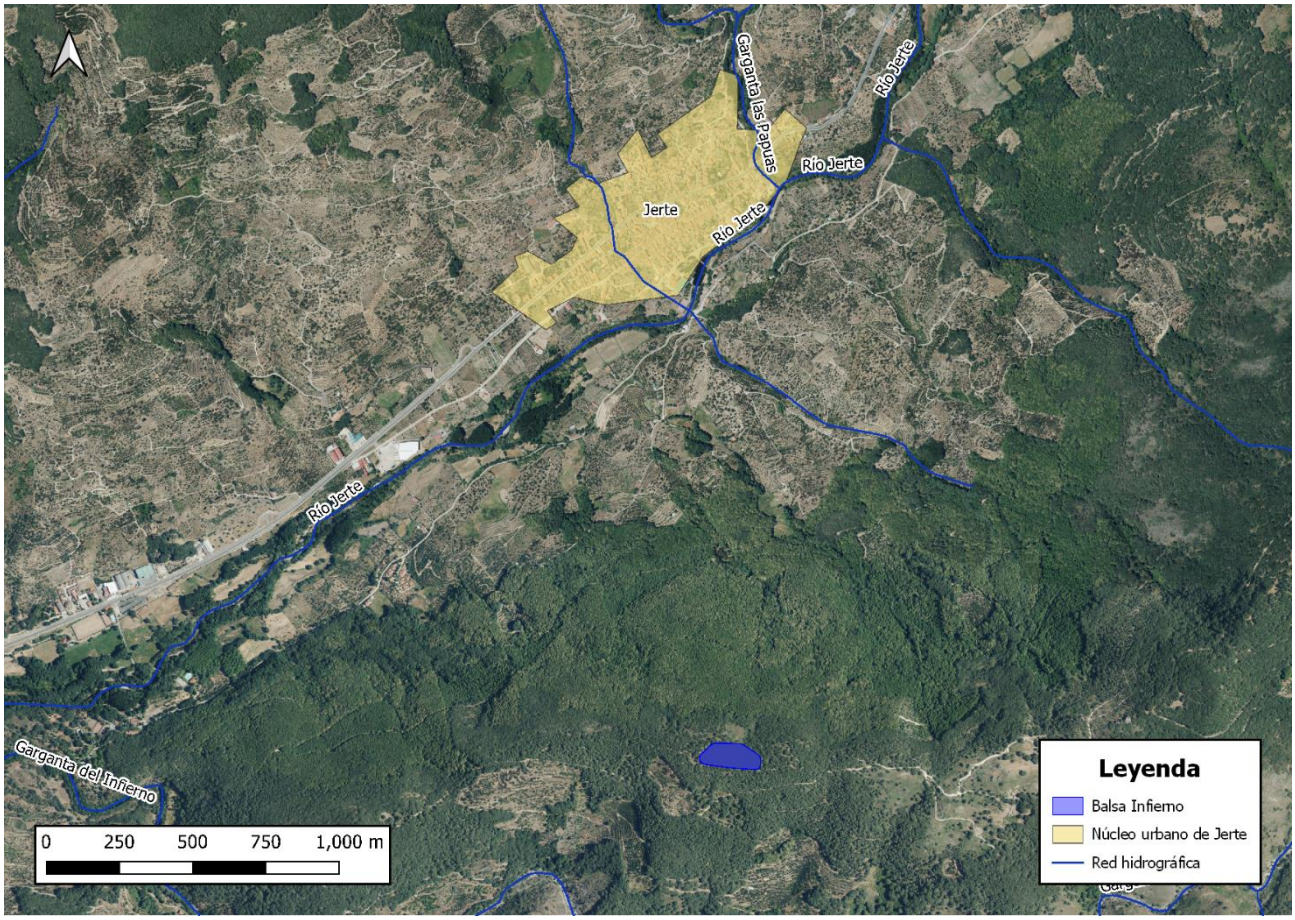


Figura 3: Localización de detalle del área de estudio.

4.2 Ámbito orográfico

La balsa se encuentra ubicada en el entorno del Collado de Las Losas, perteneciente a la Reserva natural Garganta de los Infiernos. La balsa está situada en la zona más elevada del entorno, con una cota ligeramente inferior a los 920 msnm. Las cotas disminuyen rápidamente en dirección al Río Jerte, cuyo valle se encuentra entorno a la cota 575 msnm. Las pendientes entre la balsa y el río Jerte superan el 30%.

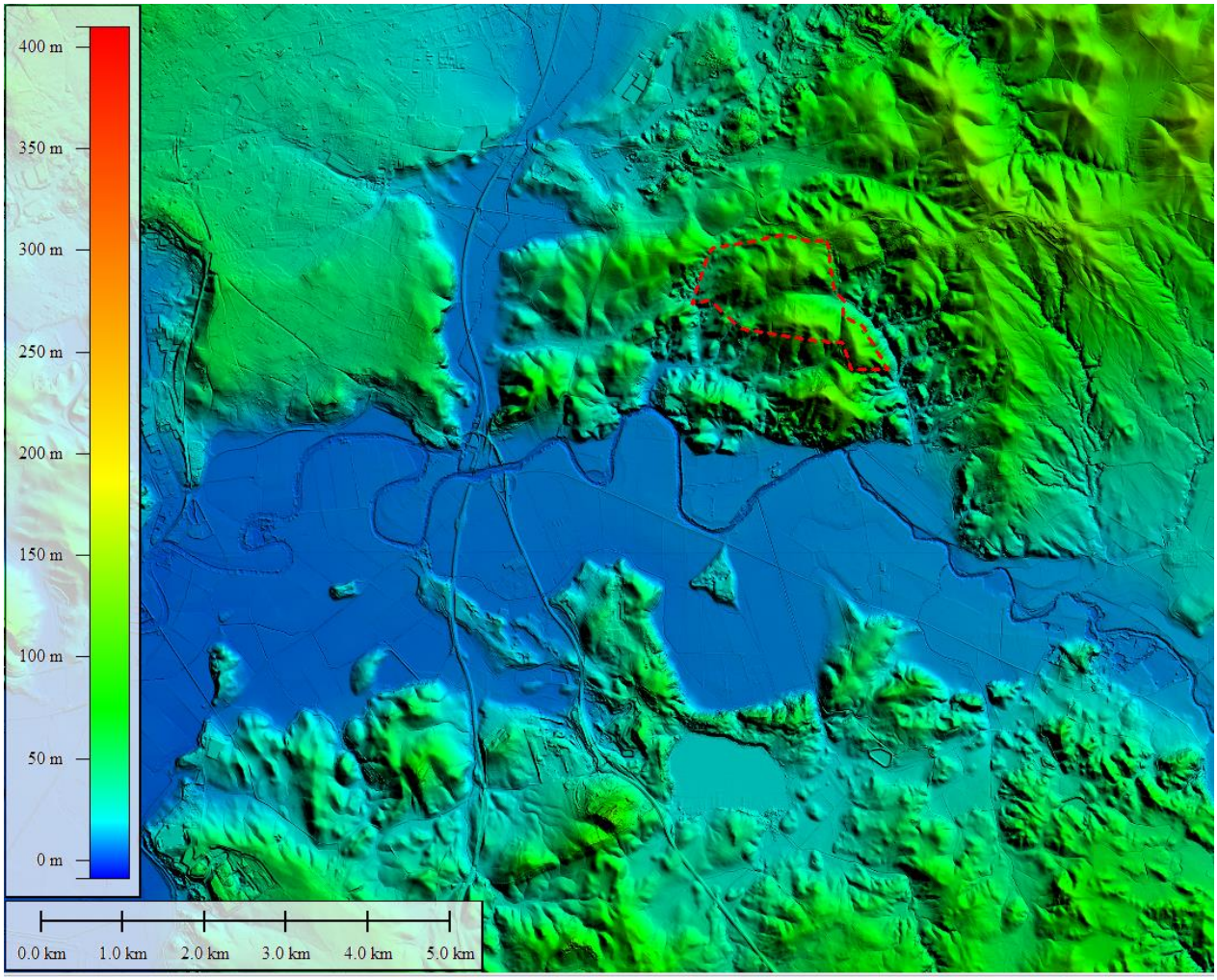


Figura 4: Ámbito orográfico de la zona de estudio (Fuente: MDT05 del Centro Nacional de Información Geográfica).

4.3 Ámbito hidrográfico

4.3.1 Demarcación hidrográfica

La zona de estudio se encuentra ubicada dentro de la Demarcación Hidrográfica del Tajo.



Figura 5: Localización del área de estudio respecto a la Demarcación Hidrográfica del Tajo.

4.3.2 Red hidrográfica

Con el objeto de definir hidrográficamente el ámbito de estudio, se ha consultado la red hidrográfica disponible en formato shapefile en la Infraestructura de Datos Espaciales de la Demarcaciones Hidrográfica del Tajo. En las inmediaciones de la balsa se ha identificado el Río Jerte.

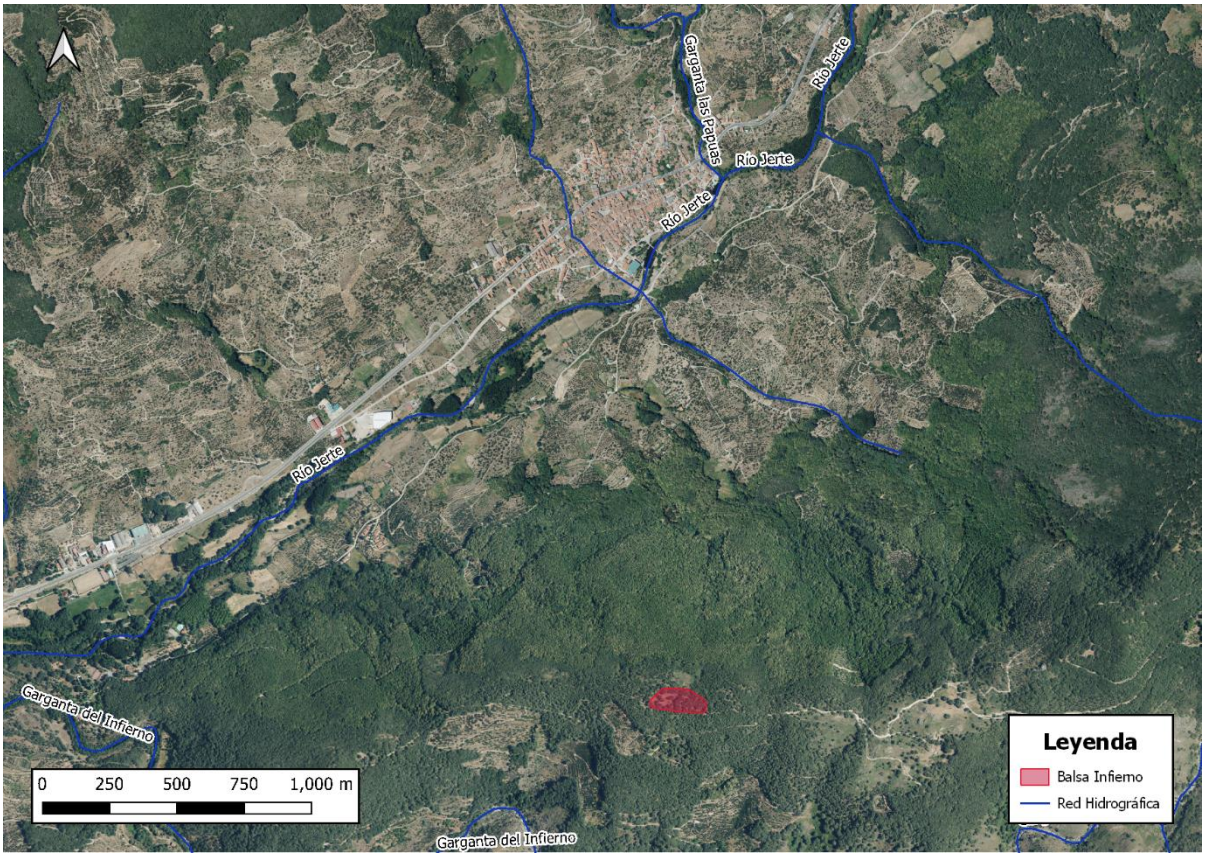


Figura 6: Red hidrográfica en la zona según datos de Confederación Hidrográfica del Tajo.

4.3.3 Sistema Nacional de Cartografías de Zonas Inundables (SNCZI)

El MAPAMA, siguiendo los principios de la Directiva 2007/60 sobre evaluación y gestión de riesgos de inundación, ha desarrollado el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) como instrumento de apoyo a la gestión del espacio fluvial, la prevención de riesgos, la planificación territorial y la transparencia administrativa.

El sistema tiene como base una cartografía que permite visualizar los estudios de zonas inundables elaborados por el Ministerio y las Comunidades Autónomas (https://sig.mapama.gob.es/snczi/).

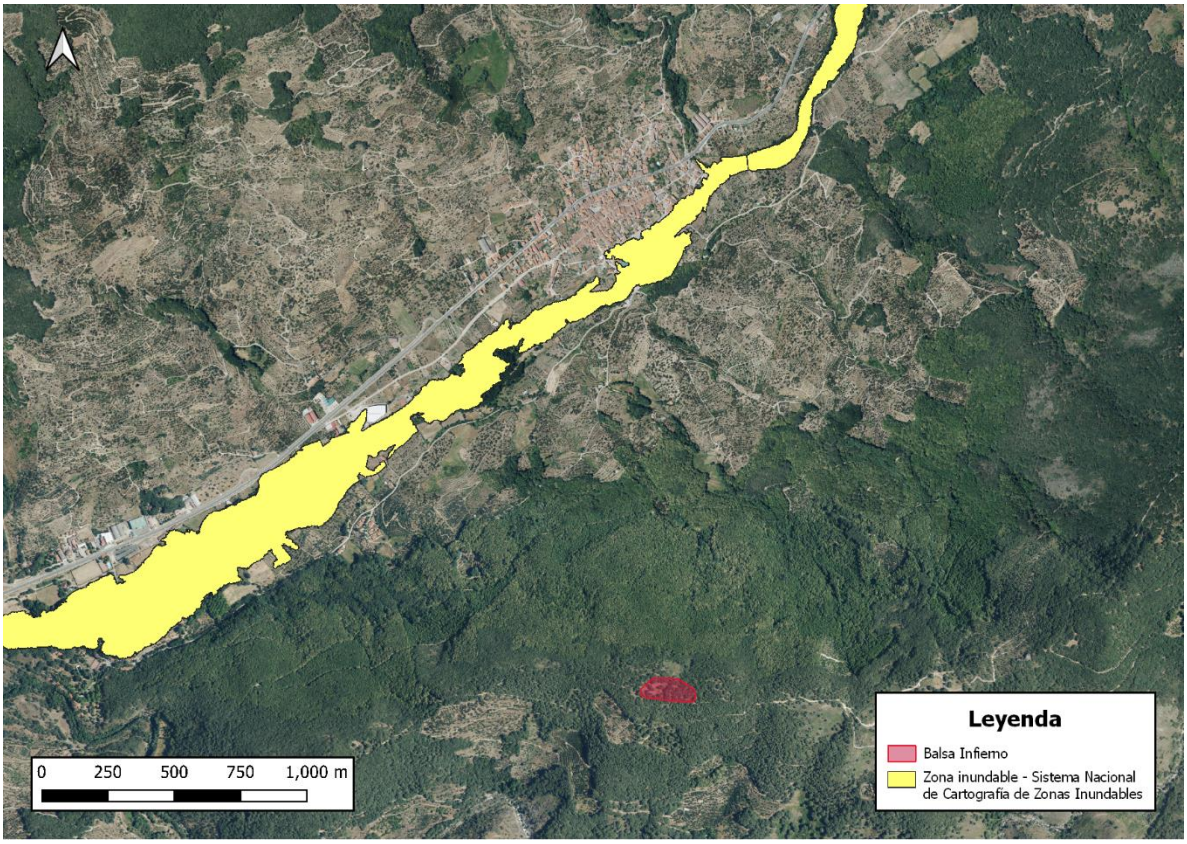


Figura 7: SNCZI en el entorno de estudio.

Como se puede extraer de la imagen anterior, el Río Jerte se encuentra recogido en la cartografía de zonas inundables y se tendrá en cuenta para la modelización hidráulica de la rotura de la balsa.

4.4 Condicionantes hidráulicos

4.4.1 Infraestructuras de regulación

No existen infraestructuras de regulación en la zona de estudio.

4.4.2 Infraestructuras de drenaje

No existen infraestructuras de drenaje en la zona de estudio.

5 Características de la balsa y el embalse

5.1 Identificación de la balsa y el embalse

- Denominación de la balsa: Infierno.
- Titular: Comunidad de Regantes del Jerte.
- Datos del titular:
  - NIF: G10291268,
  - Dirección: C/ Real, 2, 10612 Jerte, Cáceres
- Representante: Ramón Arias Salgado, presidente de la Comunidad de Regantes
- Datos del representante:
  - NIF: 03841643-E

5.2 Situación de la balsa

- Cauce y demarcación hidrográfica: Garganta de los tres cerros, afluente de la Garganta del Infierno, Demarcación hidrográfica del Tajo.
- Provincia y Comunidad Autónoma: Cáceres, Extremadura.
- Coordenadas de centro de balsa UTM ETRS89: huso 30

  X: 266.116

  Y: 4.454.207

5.3 Características de la balsa

Tipología de la balsa y aliviadero: materiales sueltos. Aliviadero de sección circular

- Tipología de la balsa y del aliviadero: Materiales sueltos impermeabilizada con geomembrana PEAD 1,5 mm. Aliviadero de sección circular Ø 600 mm al sur de la balsa.

- Características de la balsa:

PARÁMETRO	VALOR
Cota de solera	910,75 msnm
Cota de vertedero (Fondo)	910,75 msnm
Cota de coronación	918,75 msnm
Ancho de coronación	4 m
Altura de balsa	12 m
Perímetro de coronación exterior	524,45 m
Perímetro de coronación interior	499,31 m
Cota NMN	917,45 msnm

Tabla 1: Características de la balsa

- Órganos de desagüe: El desagüe de la balsa se realiza desde una arqueta de fondo con una tubería de acero DN 610 mm, recubierta con una tubería de hormigón de 800 mm a modo de camisa hasta la salida del dique, que conecta con la arqueta de válvulas compartida con la conducción para riego, desde la cual se evacúa el agua, con tubería de PE100 Ø 630 mm -PN16, al punto de vertido.

5.4 Características del embalse

PARÁMETRO	VALOR
Volumen de embalse a cota NMN (m^3)	60.214,18
Superficie de embalse a cota NMN (m^2)	12.688,64
Volumen de embalse a cota de coronación (m^3)	62.375,44
Superficie de embalse a cota de coronación (m^2)	12.891,25

Tabla 2: Características del embalse

6 Características de la zona aguas abajo de la balsa afectada por la onda de rotura

6.1 Cartografía empleada

Las fuentes de datos empleada para la obtención de la cartografía del presente estudio son:

- Modelo digital disponible en el Centro de Descarga del Centro Nacional de Información Geográfica del Instituto Geográfico Nacional del Ministerio de Fomento del Gobierno de España.
  https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/locale?request_locale=en



  A escala de cuenca (escala hidrológica), se ha utilizado el modelo digital del terreno disponible con un paso de malla de 5 m, con la misma distribución de hojas que el MTN50. El formato de archivo es ASCII matriz ESRI (asc). El sistema geodésico de referencia es ETRS89 (en Canarias REGCAN95, compatible con ETRS89) 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 50 cm/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. El modelo digital del terreno con paso de malla de 5x5 m en la zona de estudio se muestra en la siguiente imagen:

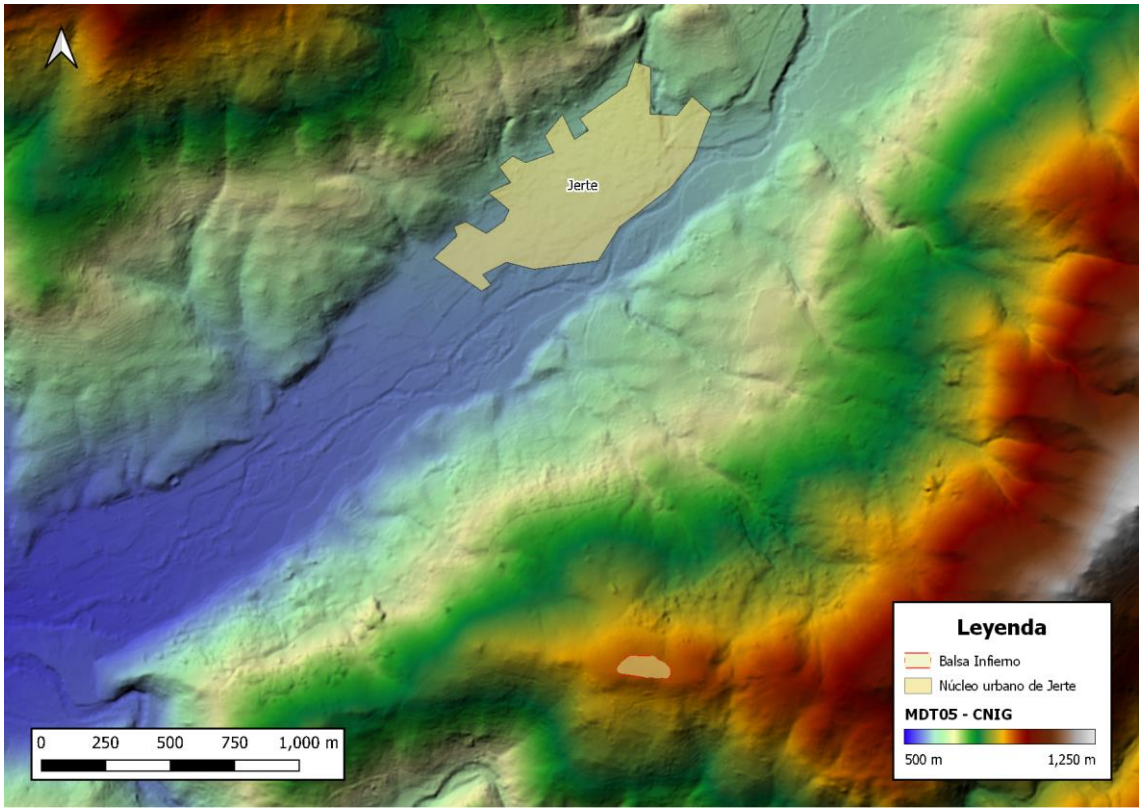


Figura 8: Modelo Digital del Terreno en la zona de estudio para la escala hidrológica (Fuente: MDT05 del Centro Nacional de Información Geográfica).

A escala de la zona concreta de estudio (escala hidráulica), se han utilizado los ficheros LiDAR, que son ficheros digitales con información altimétrica de la nube de puntos LiDAR, distribuidos en ficheros de 2x2 km de extensión. El formato de descarga es un archivo LAZ (formato de compresión de ficheros LAS). Las nubes de puntos han sido capturadas mediante vuelos con sensor LiDAR con una densidad de 0,5 puntos/m2, y posteriormente clasificadas de manera automática y coloreadas mediante RGB obtenido a partir de ortofotos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) con tamaño de pixel de 25 ó 50 cm. El sistema geodésico de referencia es ETRS89 en la Península, Islas Baleares, Ceuta y Melilla, y REGCAN95 en las Islas Canarias (ambos sistemas compatibles con WGS84), y proyección UTM en el huso correspondiente a cada fichero. Se representan alturas ortométricas. El modelo digital del terreno obtenido de los ficheros LiDAR en la zona de estudio se muestra en la siguiente imagen:

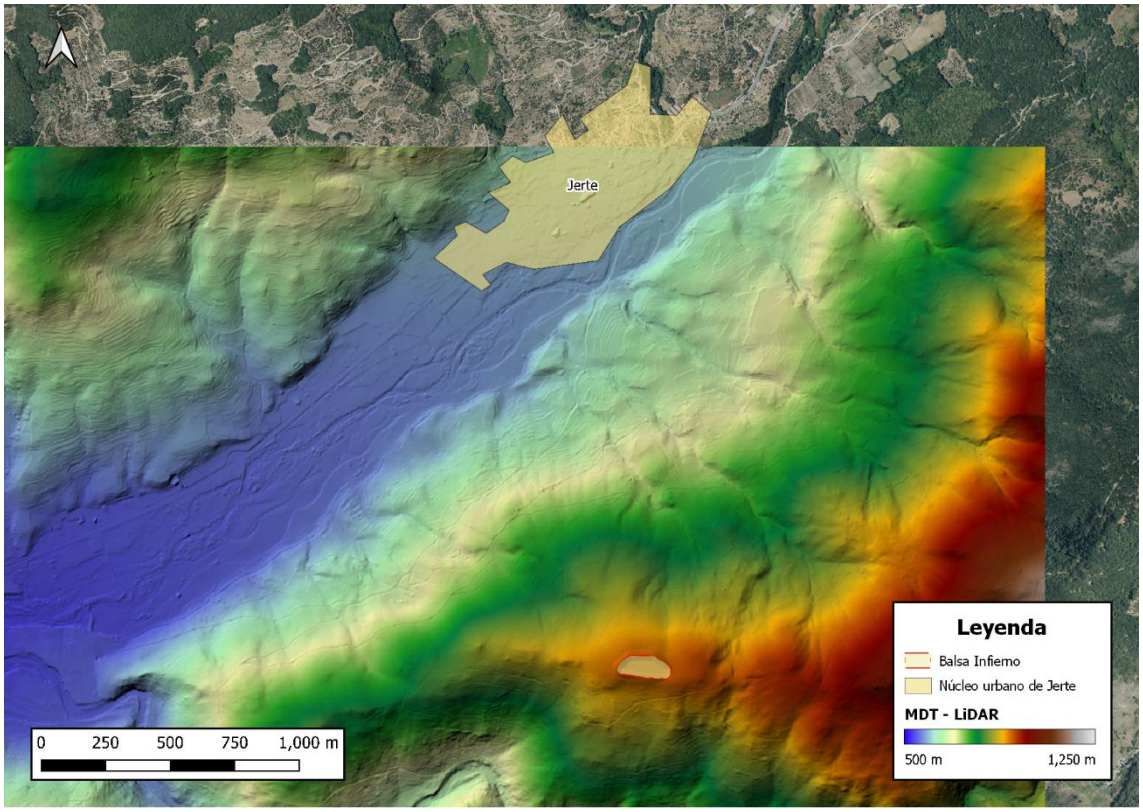


Figura 9: Modelo Digital del Terreno en la zona de estudio para la escala hidráulica (Fuente: ficheros LiDAR del Centro Nacional de Información Geográfica).

- Modelado topográfico de la balsa con tamaño de celda de 50 centímetros.

6.2 Tipología de la zona

La balsa Infierno se encuentra ubicada en un entorno rural, alejada de núcleos de población. En las proximidades se encuentran edificaciones aisladas destinadas a usos agrarios y caminos rurales que dan acceso a estas edificaciones.

6.2.1 Posibles afecciones en caso de rotura

En el entorno aguas abajo de la balsa hasta la desembocadura en el río Jerte solo existe una posible afección en caso de rotura de la balsa.

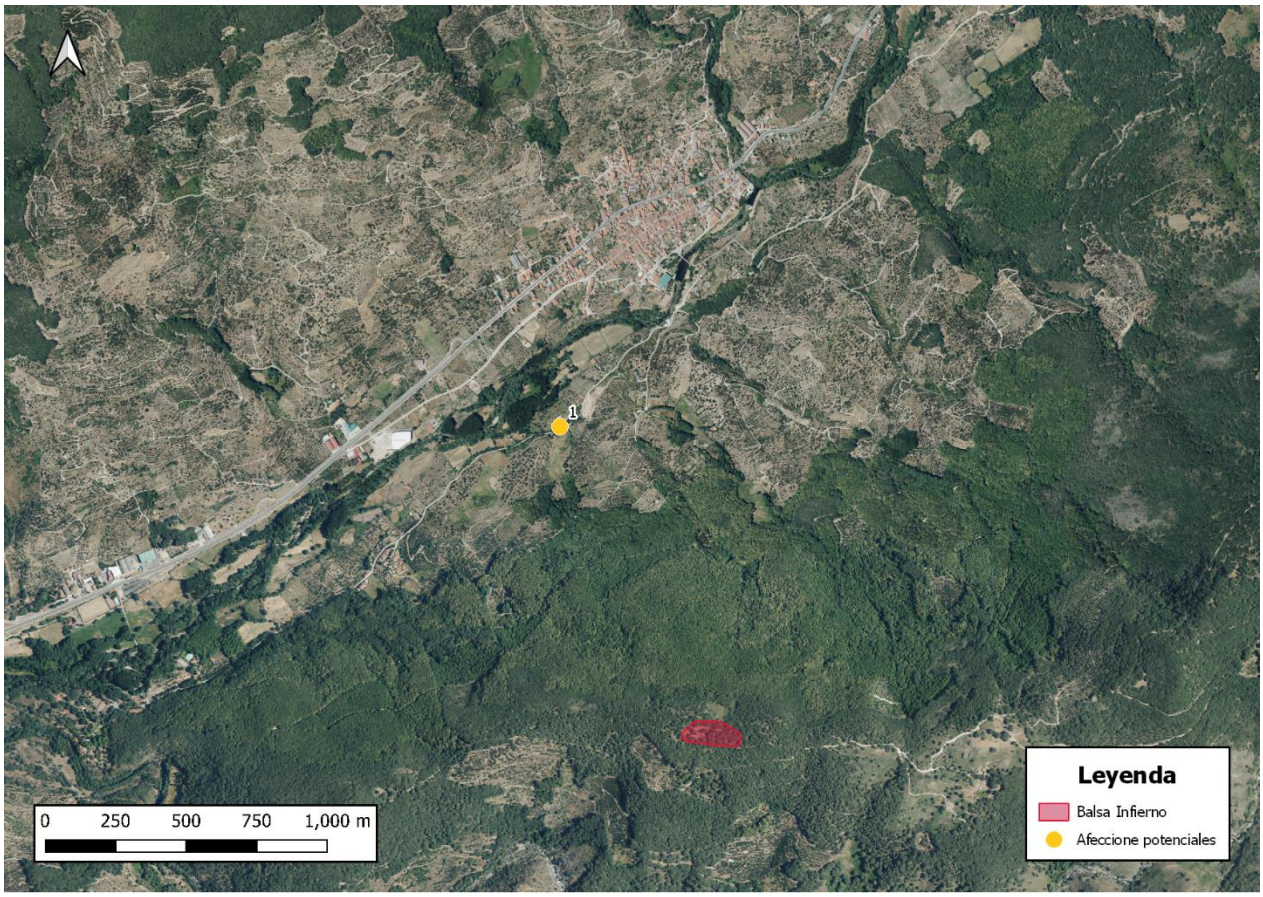


Figura 10: Situación de las posibles afecciones aguas abajo de la balsa

PUNTO	POSIBLE AFECCIÓN	PARCELA CATASTRAL	TÉRMINO MUNICIPAL
Punto 1	Hotel Rural	10110A00300463	Jerte

Tabla 3: Identificación de las posibles afecciones

6.3 Presas existentes aguas abajo

No existe ninguna presa aguas abajo de la balsa de estudio.

7 Metodología y datos básicos del análisis hidráulico

Los cálculos hidráulicos se han realizado mediante HEC-RAS 2D (versión 6.3.1), del inglés Hydrologic Engineering Center - River Analysis System. Este modelo matemático es una versión actualizada del modelo HEC-2, "Water Surface Profiles", desarrollado en el "Hydrologic Engineering Center" del "U.S. Army Corps of Engineers". Se ha desarrollado un modelo bidimensional de toda la zona de cálculo, utilizando como datos de entrada los hidrogramas de caudales anteriormente expuestos.

Se han realizado las siguientes simulaciones hidráulicas correspondientes a los escenarios de rotura:

- Escenario sin avenida – Balsa a nivel NMN
- Escenario con avenida – Balsa a coronación

A lo largo del presente apartado se detallan los diferentes aspectos de los modelos desarrollados (escenarios de rotura, parámetros, tipos de modelización realizados, condiciones, etc.), para finalmente analizar los resultados obtenidos.

7.1 Descripción y definición del modelo hidráulico bidimensional de HEC-RAS

7.1.1 Introducción

Las capacidades en las que se basa el flujo bidimensional en HEC-RAS han sido desarrolladas para permitir trabajar de manera combinada en modelizaciones 1D/2D. El algoritmo de modelización de flujo 2D presenta las siguientes características:

- Puede efectuar simulaciones 1D, 2D y combinaciones de ambas. HEC-RAS puede realizar simulaciones unidimensionales, bidimensionales y combinar ambas posibilidades. Poder efectuar modelizaciones combinadas en el mismo modelo en régimen no permanente facilita el trabajo en ríos de cierta longitud usando la

modelización 1D y modelizar en 2D las zonas que requieran una mayor precisión en la computación hidrodinámica.

- Resolución en 2D por ecuaciones completas de Saint Venant o por onda difusiva. El programa resuelve en 2D indistintamente a través de las ecuaciones completas de Saint Venant o mediante las de onda difusiva. En general las ecuaciones de la onda difusiva computan más rápidamente y presentan mayor estabilidad. Las ecuaciones completas de Saint Venant pueden aplicarse a una gama más amplia de situaciones, requiriendo un mayor esfuerzo computacional.
- Solución de algoritmo implícito de volúmenes finitos. Para la solución de las ecuaciones de flujo 2D no permanente el programa usa un algoritmo implícito de volúmenes finitos que permite mayores intervalos computacionales que los métodos explícitos, y ofrece mayor estabilidad respecto de otros más tradicionales como, por ejemplo, el de elementos finitos, consiguiendo que la determinación de mojado o secado de un elemento 2D sea muy fiable. De este modo, las zonas de flujo 2D pueden iniciarse completamente secas y resolver una situación de crecida, ya sea mediante régimen subcrítico, supercrítico o mixto.
- Resolución sincronizada 1D y 2D del algoritmo. En la computación paso a paso la resolución de los algoritmos 1D y 2D se encuentran íntimamente conectados, con la opción de iteración de transferencia de flujo 1D a 2D en un mismo paso computacional, de manera que siempre existe una sincronización y correlación directa entre elementos 1D y 2D en cada paso de cálculo.
- Mallas estructuradas y no estructuradas. El software está diseñado para resolver tanto mallas estructuradas como no estructuradas, ya que su tratamiento es idéntico, pero la eficiencia es mayor si las celdas son ortogonales entre sí. Las celdas pueden ser triangulares, cuadradas, rectangulares o poligonales hasta un máximo de 8 lados. Estas mallas están perimetralmente delimitadas por un polígono en cuyo interior se distribuyen celdas de diferente tamaño y forma.
- Clasificación de características hidráulicas detalladas para celdas y sus aristas. Las celdas no tienen por qué conformar una superficie plana, ni sus aristas ni bordes tiene por qué ser líneas rectas con una sola cota o elevación. Al contrario, cada celda y

aristas se amoldan al terreno que yace bajo ella. A este tipo de modelos se les suele referir en la literatura como "modelos de subentramado de alta resolución". El término subentramado significa que se usa una información detallada subyacente o de "fondo" del terreno para establecer mediante un pre-proceso unas tablas de propiedades geométricas e hidráulicas que caractericen las celdas y sus aristas basándose en el terreno. El pre-proceso de la zona 2D genera una relación elevación-volumen en cada celda basada en los datos de detalle del MDE. Por consiguiente, una celda puede estar parcialmente mojada según sea el volumen de agua para una elevación de superficie de agua determinada basado en la parrilla o entramado de 0,5 m. Complementariamente, cada arista de celda funciona como una sección transversal y se clasifica según sus propias características hidráulicas (rugosidad, área, perímetro mojado, etc.). El flujo a través de una arista (y en consecuencia entre dos celdas) se basa en estos datos de detalles. Esto permite modelizar con celdas de gran tamaño sin perder demasiada información de detalle sobre el terreno subyacente y que rige el movimiento del flujo. Adicionalmente, la ubicación de aristas a lo largo de la parte superior de elementos de control de terreno (carreteras, terraplenes, muros, etc.) mejoran considerablemente los cálculos hidráulicos usando pocas celdas.

Cada arista es una sección transversal de detalle del terreno subyacente. Este proceso permite al flujo moverse entre celdas a partir de los datos del terreno según se representan por las aristas y el volumen que queda contenido en cada celda. Por consiguiente, un pequeño canal que atraviesa una celda sigue representándose por la relación elevación-volumen de la misma y las características hidráulicas de las aristas. Así, el agua puede fluir a través de celdas de gran tamaño, pero seguir siendo representada con sus características habituales de canal. En la siguiente imagen se muestra un ejemplo en el que aparecen canales de menos de 30 m de ancho en una malla con 150 m de lado:

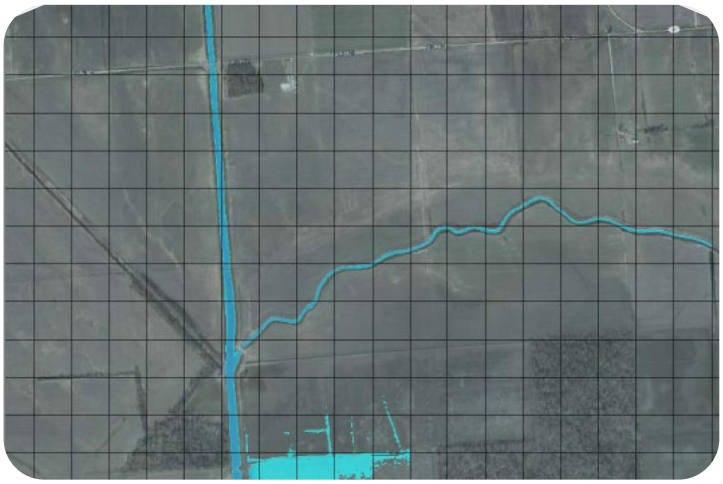


Figura 11: Ejemplo de Flujo en canales pequeños circulando por celdas de gran tamaño.

7.1.2 Contorno de la simulación

En la siguiente imagen se muestra el contorno elegido para llevar a cabo la simulación hidráulica. Para su definición se ha adoptado una distancia suficiente entre las zonas por las que entra y sale el flujo de agua de forma que el modelo pueda estabilizarse adecuadamente en la zona de mayor interés para el análisis.

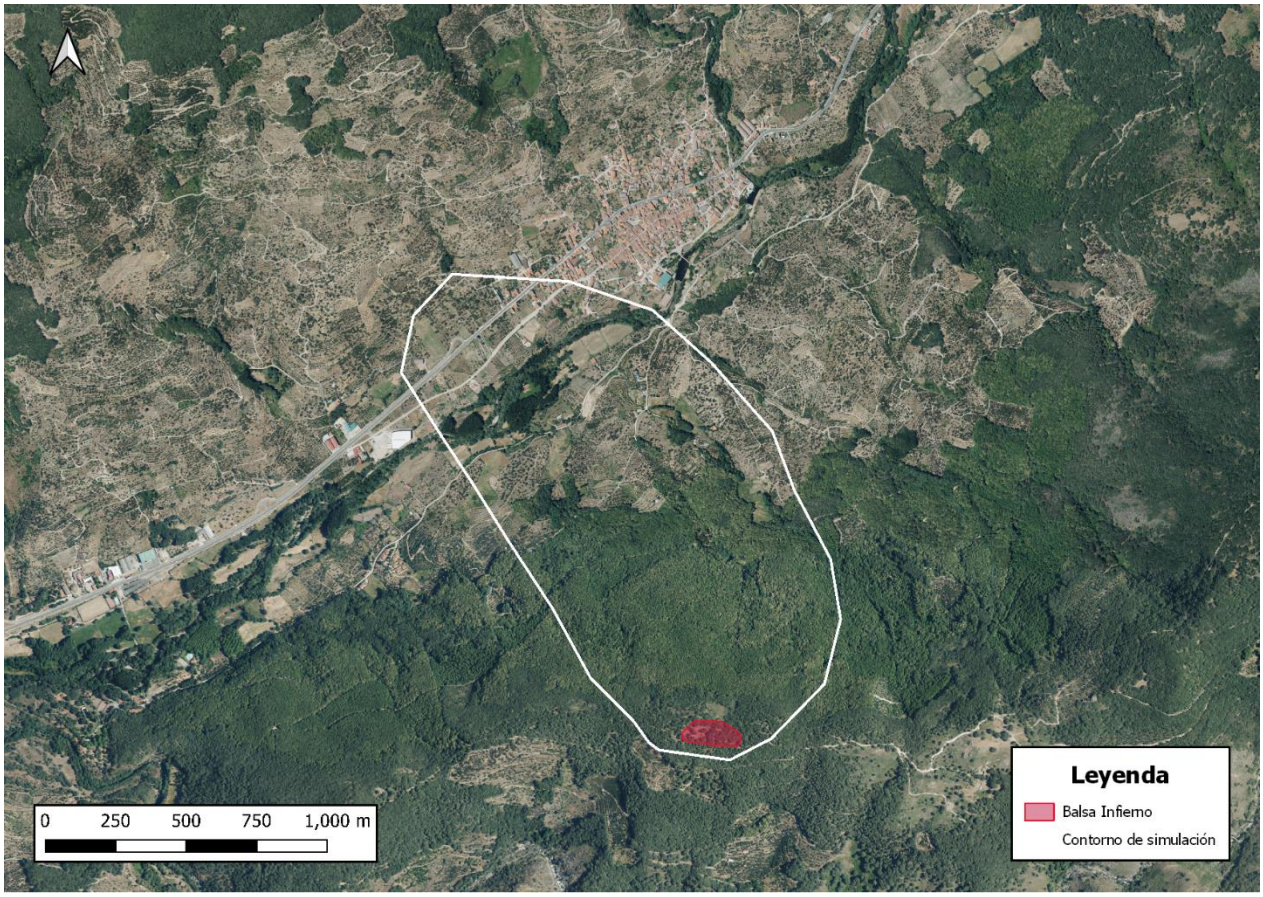


Figura 12: Contorno de la simulación hidráulica

7.1.3 Límite aguas abajo del estudio

El límite de estudio se ha establecido en la confluencia con el río Jerte. Esto es debido a que la cuenca aportante del río Jerte tiene una superficie de 5070 Ha, la cual genera un caudal mucho más significativo que el caudal generado por la rotura de la balsa.

Se ha realizado una comprobación de la delimitación de la cuenca del río jerte en la zona de estudio mediante la herramienta CARTODES (https://cartodes.com/), la cual se representa en la siguiente imagen.



Figura 13: Delimitación de la cuenca del río jerte en la zona de estudio en CARTODES

7.1.4 Escenarios de rotura

La metodología para establecer la clasificación de la balsa se basa en el análisis de los efectos producidos aguas abajo de la balsa en dos escenarios extremos:

1. Escenario sin avenida: rotura de la presa en ausencia de avenida y con el embalse situado en su NMN. Siendo el NMN el máximo nivel de retención de agua que se alcanza en el embalse cuando todos los elementos mecánicos de los órganos de desagüe se encuentran cerrados.

2. Escenario límite: embalse en su NMN y desagüe de un hidrograma que pueda llenarlo hasta la coronación de la presa, manteniendo ésta todos sus elementos de desagüe abiertos, produciéndose a continuación la rotura de la presa.

En el caso de la Balsa Infierno, esta no intercepta ningún cauce, por lo que la situación de avenida no afecta más que en las pluviales que puedan recibirse en el área de la balsa. Por lo

tanto, en el escenario límite, se modelizará la rotura de la balsa en la situación de llenado hasta coronación.

El talud seleccionado para la ubicación de la brecha es el que provoca el resultado más desfavorable, no presentándose afecciones en los análisis ubicando la rotura en los taludes de la vertiente sur y oeste.

Según la metodología general, el proceso de clasificación de la balsa sigue el siguiente esquema de análisis de los escenarios estudiados.

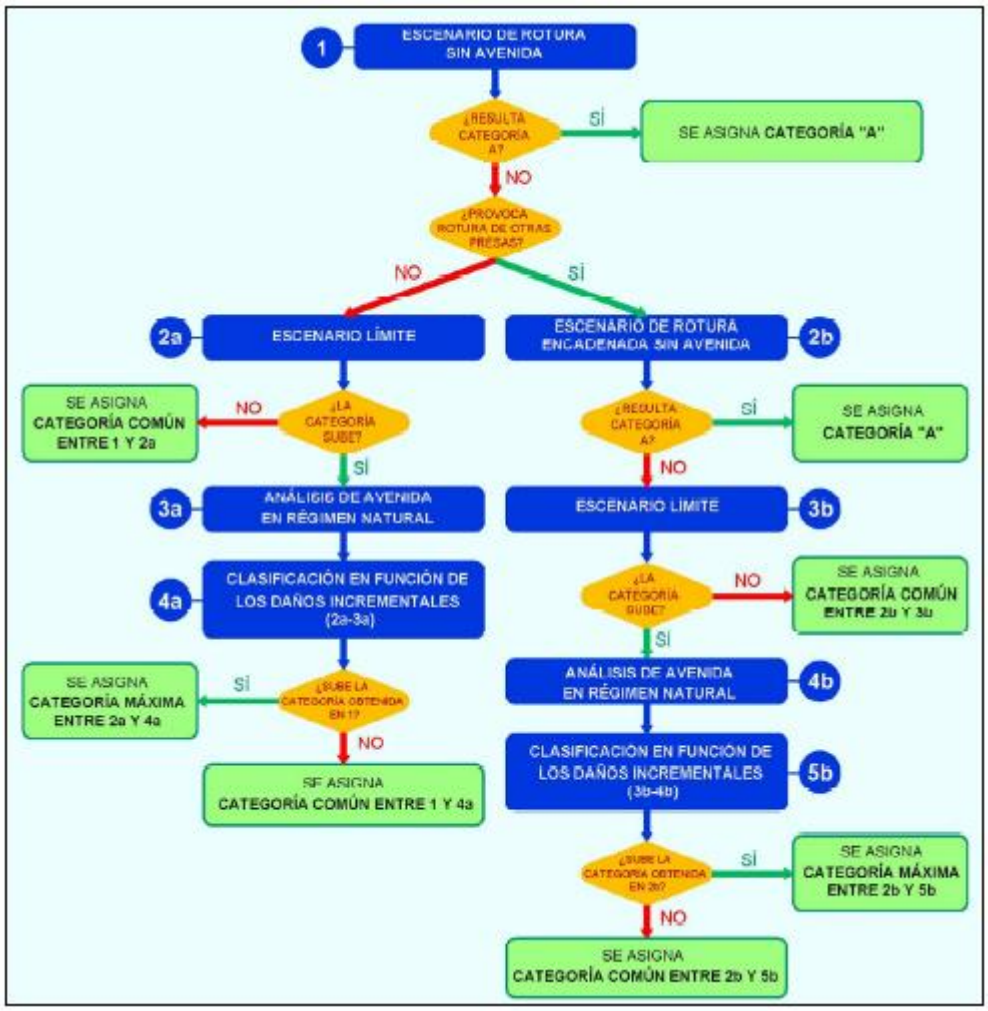


Figura 14: Proceso de clasificación.

La clasificación final de la balsa corresponderá a la mayor entre la asignada en el escenario sin avenida y en el escenario límite.

7.1.5 Modelización del terreno

Para la modelización del terreno se ha tomado el Modelo Digital del Terreno (MDT) del vuelo Lidar, proporcionado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Dicho modelo, obtenido a partir de una nube de puntos con densidad de 0,5 puntos por metro cuadrado.

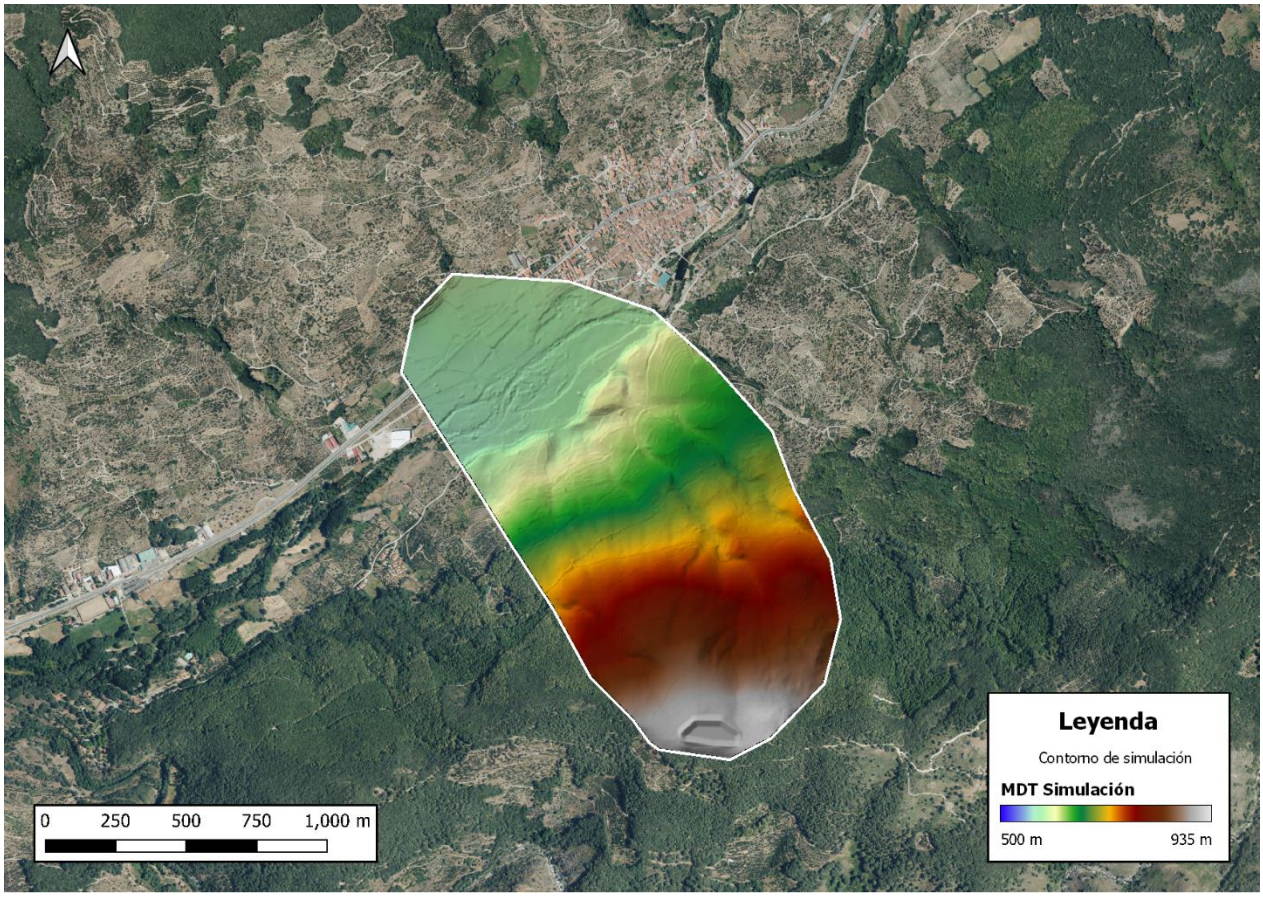


Figura 15: Modelo Digital del Terreno en la zona de estudio

7.1.6 Modelización del embalse

El vaso del embalse creado por la balsa se introduce en la malla de cálculo del modelo hidráulico para poder simular el vaciado del mismo como consecuencia de la rotura de la balsa. Esta modelización del vaso del embalse se realiza a partir de la modelización realizada en el diseño de la balsa.

7.1.7 Modelización de la rugosidad

Las pérdidas por rozamiento se calculan a través de la ecuación de Manning. Al tratarse de un modelo bidimensional, el propio modelo tiene en cuenta factores como la sinuosidad y la irregularidad en las secciones. La determinación de la rugosidad del terreno se ha realizado en base a los usos del suelo recogidos en el Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España (SIOSE- 2013) llevado a cabo por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). De esta forma, se ha obtenido la cobertura de usos del suelo dentro del dominio de cálculo.

Los valores de los coeficientes de rugosidad de Manning aplicados se han obtenido de la tabla expuesta en la Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. En el Apéndice Nº2 se detalla el procedimiento seguido para su obtención. Asimismo, se han revisado dichos valores en base a la ortofoto de máxima actualidad del PNOA editada por el Instituto Geográfico Nacional y disponible en el centro de descargas del Centro Nacional de Información Geográfica con vistas a identificar cambios del uso del suelo posteriores a la fecha de publicación del SIOSE que se traduzcan en una variación de la rugosidad.

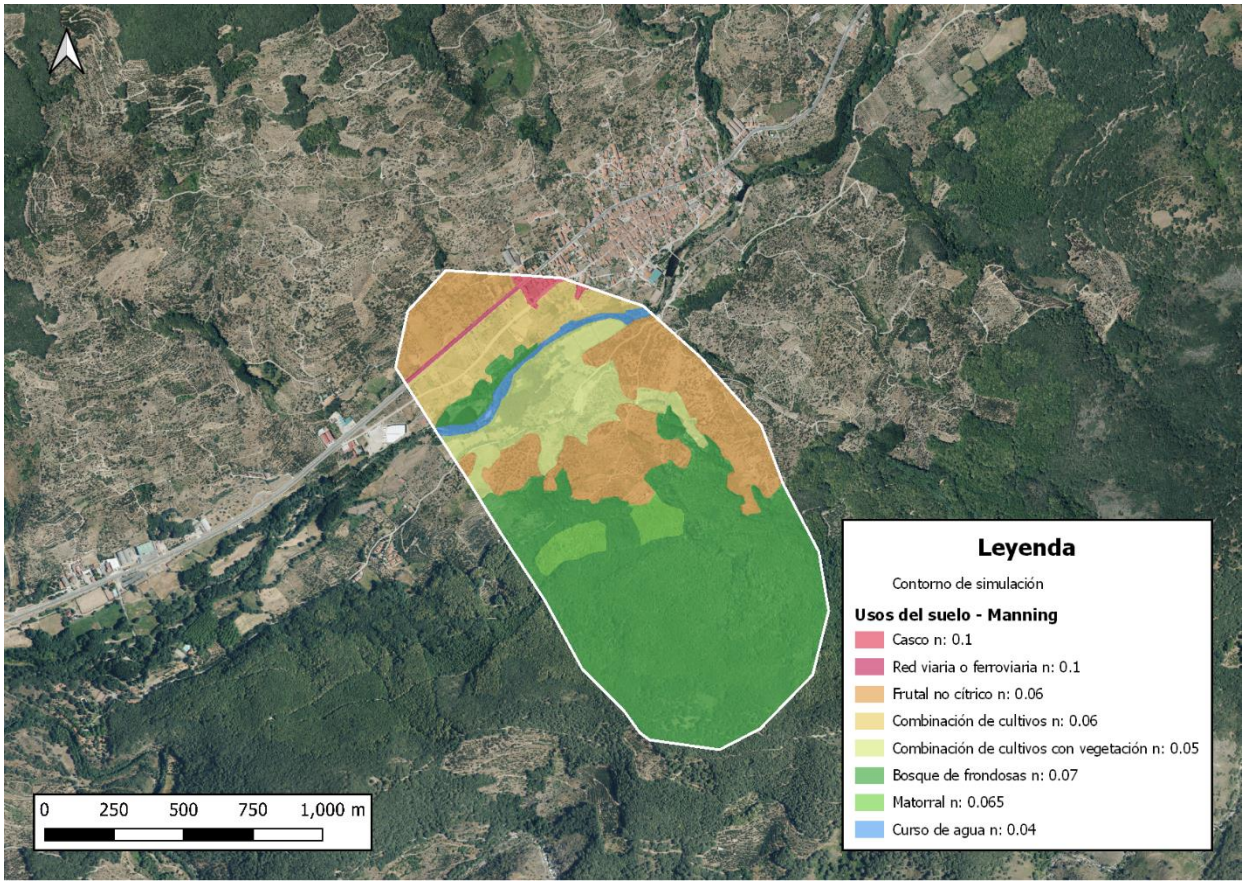


Figura 16: Mapa de usos de suelo en la zona de estudio

7.1.8 Condiciones del modelo

Las condiciones de un modelo se corresponden con los valores iniciales en el dominio y en los contornos del mismo. A tal efecto, se distingue entre condiciones iniciales, como es el calado inicial en el dominio de cálculo, y condiciones de contorno e internas, como es la zona de entrada del flujo (y los valores del mismo en función del tiempo) y la zona de salida del flujo del modelo.

7.1.8.1 CONDICIONES INICIALES

Se ha introducido como condición inicial un calado nulo en todo el dominio de cálculo.

En el caso del escenario sin avenida, como situación inicial el embalse se encuentra lleno a NMN y, en el caso del escenario límite, a cota de coronación.

7.1.8.2 CONDICIONES DE CONTORNO E INTERNAS

La definición de las condiciones de contorno del modelo pasa por el establecimiento de las zonas de entrada de flujo al dominio de cálculo (y el correspondiente valor del mismo) y las zonas de salida del flujo. En la siguiente imagen se muestran dichas zonas para el caso de estudio:

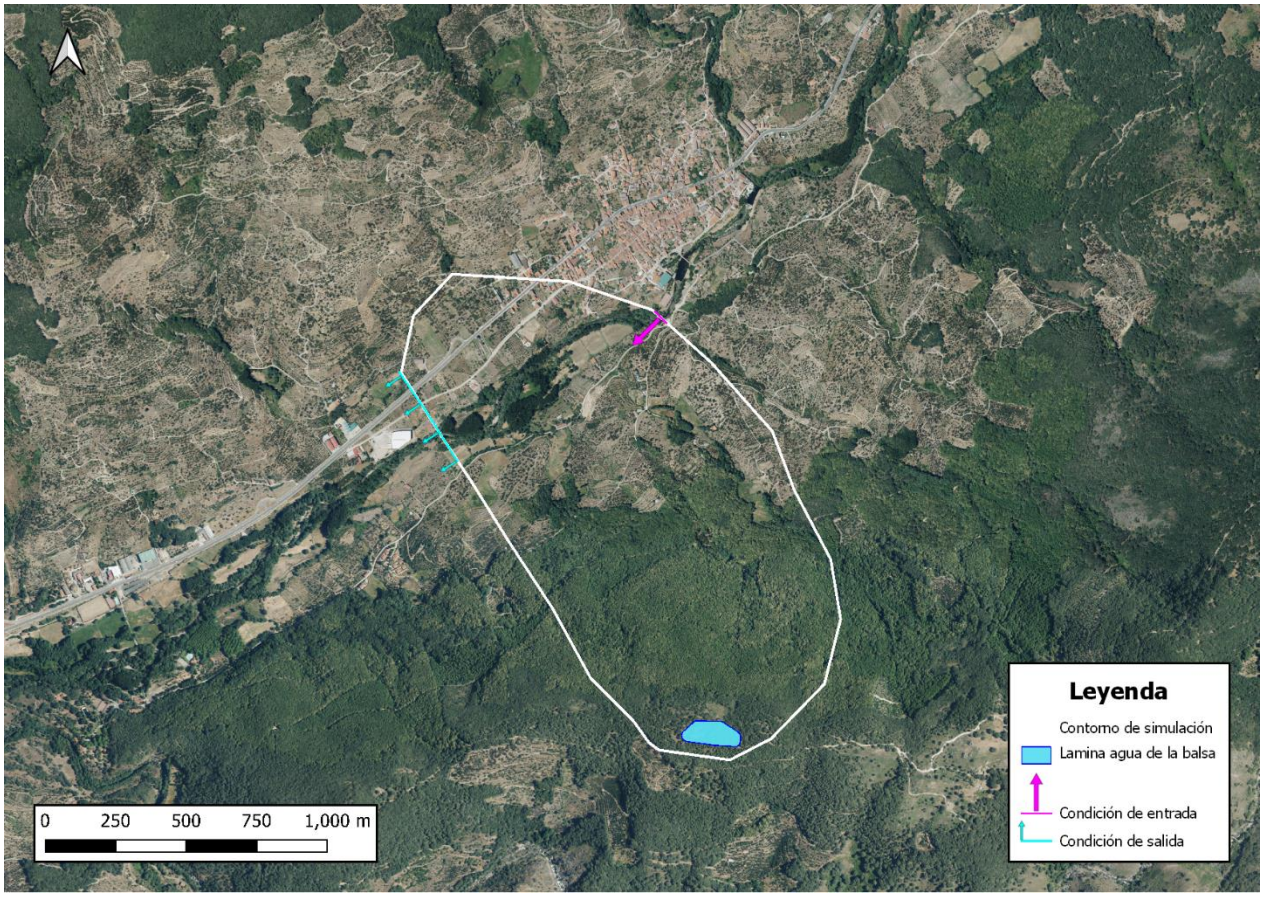


Figura 17: condiciones de contorno del modelo de cálculo hidráulico

A continuación, se describen las características de los tipos de condiciones de contorno implementadas en el modelo.

7.1.8.2.1 CONDICIONES DE CONTORNO E INTERNAS DE ENTRADA

Las condiciones de contorno de entrada al modelo se corresponden con caudal asociado al río Jerte en el tramo de estudio para el periodo de retorno asociado a la Máxima Crecida

Ordinaria (5 años), el cual tiene un valor de $\mathbf{275}\ \boldsymbol{m^3/s}$ según datos de Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNZCI).

La situación de la citada entrada queda recogida en la imagen recogida en el apartado 7.1.8.2

7.1.8.2.2 CONDICIONES DE CONTORNO E INTERNAS DE SALIDA

Se introduce como condición de salida en la zona baja del modelo la opción de calado normal o de flujo permanente, colocándose suficientemente aguas abajo de la zona de estudio para que la simulación pueda estabilizarse hacia aguas arriba y adoptar el calado que corresponda.

7.1.9 Parámetros de la simulación

7.1.9.1.1 PARÁMETROS GENERALES

Los parámetros generales de la simulación realizada se muestran en la siguiente tabla:

PARÁMETRO	VALOR
Número de procesadores	Todos los disponibles
Ecuaciones	SWE-ELM (original/faster)
Máximas iteraciones	30
Tolerancia de la superficie libre (m)	0,01
Tolerancia en volumen (m)	0,01
Factor θ	1,00

Tabla 4: parámetros de la simulación

7.1.9.1.2 PARÁMETROS DE LA MALLA

La malla de cálculo utilizada tiene una resolución general de celda de 5 x 5 m (celdas cuadradas, ajustadas en los contornos hasta celdas irregulares de 8 lados) y se puede observar en la siguiente imagen:

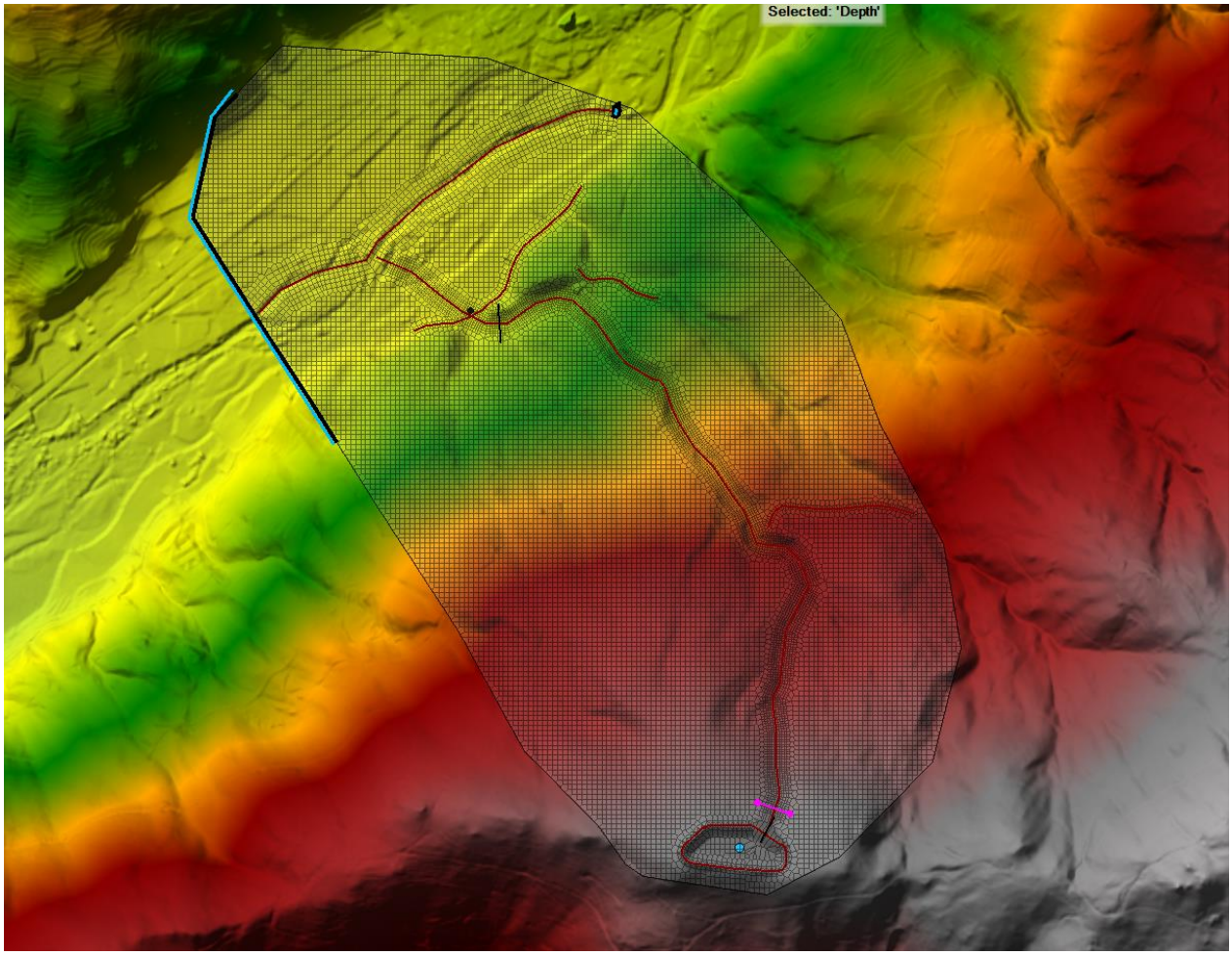


Figura 18: Malla de cálculo hidráulica

De forma complementaria, se ha llevado a cabo un refinado de la malla en las zonas correspondientes a márgenes de arroyos y gavias, terraplenes de carreteras, coronación de explanadas, etc., con objeto de obtener una mayor precisión de cálculo en las áreas de mayor interés para el estudio. En algunos casos, en estas zonas se ha utilizado un tamaño de celda menor al de la malla general (lados de celda entre 3 y 5 m), con vistas a la mejora de la precisión del cálculo y orientación de las celdas de la malla de manera perpendicular al flujo.

7.1.9.2 FORMA Y DIMENSIONES DE LA BRECHA

En presas de materiales sueltos la rotura es progresiva en el tiempo, pudiendo ser parcial o total dependiendo del volumen del embalse y de la zonificación del cuerpo de presa.

La forma de la brecha es trapecial, considerando generalmente que los taludes laterales de la brecha son 1H/1V. Si bien, en base a la experiencia de roturas documentadas, se conoce que este parámetro puede variar desde 1H/1V en materiales no cohesivos hasta 0,33H/1V en materiales cohesivos.

La profundidad de la brecha se desarrolla hasta el contacto con el cauce y el ancho medio en metros, b, puede determinarse mediante las siguientes fórmulas:

- Guía Técnica para la Clasificación, 1996:

$$b = 20(VH)^{0,25}$$

  Siendo V el volumen del embalse (en hm3) y H la altura de presa sobre el cauce (en m). A efectos de aplicación de esta fórmula, se considerará que V es el volumen de agua almacenado en el embalse en el momento de la rotura.

- Froehlich, 2008:

$$b = 22,46 K_0 V_W^{0,32} H_b^{0,04}$$

  Donde K0 es un coeficiente que depende de la causa que origina la rotura de la presa:

  - 1,3 para roturas por sobrevertido
  - 1 para el resto de roturas

La Guía establece que en la aplicación de esta fórmula se utilizará K0=1 para el análisis del escenario sin avenida y K0=1,3 para el escenario límite y en el análisis de la rotura encadenada de presas de materiales sueltos situadas aguas debajo de la presa de estudio.

VW es el volumen de agua almacenado en el embalse en el momento de la rotura (en hm3) y Hb la altura de la brecha (en m), considerando que la altura de la brecha es igual a la altura de la presa sobre el cauce (Hb=H).

- Xu & Zhang, 2009:

$$b = H_b \left[0{,}787 \left(\frac{H}{15} \right)^{0{,}133} \left(\frac{V_{W*}^{1/3}}{H_W} \right)^{0{,}652} e^{B} \right]$$

Donde Hb es la altura de la brecha (en m) y H es la altura de la presa sobre el cauce (en m), considerando ambas iguales a efectos de la aplicación de esta formulación.

VW* es el volumen de agua almacenado en el embalse en el momento de la rotura (en m3), HW es la altura de la lámina de agua hasta el fondo de la brecha en el momento de inicio de la misma (en m) y B es un coeficiente que se puede estimar mediante la siguiente expresión:

$$B = B_T + B_F + B_E$$

BT es un coeficiente que depende del tipo de presa:

BT= - 0,041 para presas de núcleo impermeable.

BT= 0,026 para presas de pantalla.

BT= - 0,226 para presas homogéneas.

BC es un coeficiente que depende de la causa que origina la rotura de la presa:

BC= 0,149 para roturas por sobrevertido.

BC= -0,389 para roturas por erosión interna o sifonamiento.

BE es un coeficiente que depende de la erodibilidad:

BE= 0,291 para presas de erodibilidad alta.

BE= -0,140 para presas de erodibilidad media.

BE= - 0,391 para presas de erodibilidad baja.

Tras analizar los anchos de brecha obtenidos por las diferentes metodologías, se establece como valor de cálculo el ancho de brecha medio obtenido mediante la formulación Xu & Zhang, 2009, por ser el valor más desfavorable.

PARÁMETRO	VALOR
Modo de fallo	Sobrevertido
Pendiente	1H/1V
Altura de la balsa (m)	8
Volumen almacenado en el embalse (hm^3)	0,0623
Coeficiente B	0,214
Ancho medio de la brecha (m)	20,37

Tabla 5: Parámetros de brecha.

7.1.9.3 TIEMPO DE ROTURA

A efectos de la clasificación, se define el tiempo de rotura de la presa como el tiempo de desarrollo de la brecha, es decir, el tiempo en horas que transcurre desde que se ha iniciado la brecha hasta que ésta llega a su sección final.

El tiempo de rotura, en horas, puede determinarse mediante las siguientes fórmulas:

- Guía Técnica para Clasificación, 1996:

$$T = 4{,}8\frac{\sqrt{V}}{H}$$

Siendo H la altura de presa sobre el cauce (en m) y V el volumen de embalse (en hm3), considerando que éste es el volumen de agua almacenado en el embalse en el momento de la rotura.

- Froehlich, 2008:

$$T = 5{,}62\frac{\sqrt{V_W}}{H_b}$$

Donde VW es el volumen de agua almacenado en el embalse en el momento de la rotura (en m) y Hb=H la altura de la brecha (en m), considerando que la altura de la brecha es igual a la altura de la presa sobre el cauce (Hb=H).

Tras analizar los tiempos de rotura obtenidos por las diferentes metodologías, se establece como valor de cálculo el ancho de brecha medio obtenido mediante la formulación de la Guía Técnica para la Clasificación, 1996, por ser el valor más desfavorable.

PARÁMETRO	VALOR
Tiempo de desarrollo de la brecha (horas)	0,15

Tabla 6: Tiempo de desarrollo de la brecha

7.1.9.4 PARÁMETROS DE TIEMPO

El tamaño de celda y el tiempo de cálculo utilizados deben ser consistentes, de tal modo que se satisfaga la condición de Courant en los términos necesarios para que el cálculo sea estable y preciso. Para el caso del presente estudio, en el que se emplean las ecuaciones completas de Saint-Venant, se debe cumplir lo siguiente:

$$C = \frac{\Delta t \cdot v}{\Delta x} \approx 1$$

Dónde:

- C: Número de Courant.
- Δt: Paso temporal de cálculo, en segundos.
- Δx: Tamaño medio de malla, en metros.
- v: velocidad de onda de avenida, en m/s.

El software HEC-RAS permite que el paso de tiempo se ajuste en cada iteración para satisfacer la condición de Courant impuesta. De este modo, se puede imponer una condición de Courant

conservadora que permite un cálculo estable, pero con menor coste computacional que un cálculo con paso de tiempo fijo. La condición impuesta se corresponde con un valor mínimo del número de Courant de 0,45, y un valor máximo de 1. Los parámetros de tiempo de la simulación realizada se muestran en la siguiente tabla:

PARÁMETRO	VALOR
Instante inicial (s)	0
Tiempo máximo de simulación (horas)	2
Intervalo de resultados (s)	2
Paso de cálculo (s)	Adaptativo (variable entre 0,06 s y 32 s)

Tabla 7: Parámetros de tiempo de la simulación.

7.2 Resultados del modelo hidráulico

A continuación, se analizan los resultados obtenidos para los periodos de retorno analizados (T = 5, 100 y 500 años) en términos de calados y velocidades. Para mayor nivel de detalle, toda la información gráfica recogida en este apartado se puede consultar en los Planos que acompañan a este documento.

7.2.1 Escenario sin avenida

7.2.1.1 MAPA DE CALADOS MÁXIMOS

Los calados provocados por la rotura no superan los 2 metros debido a la gran pendiente del terreno. El valor medio se sitúa en torno a 1 metros.

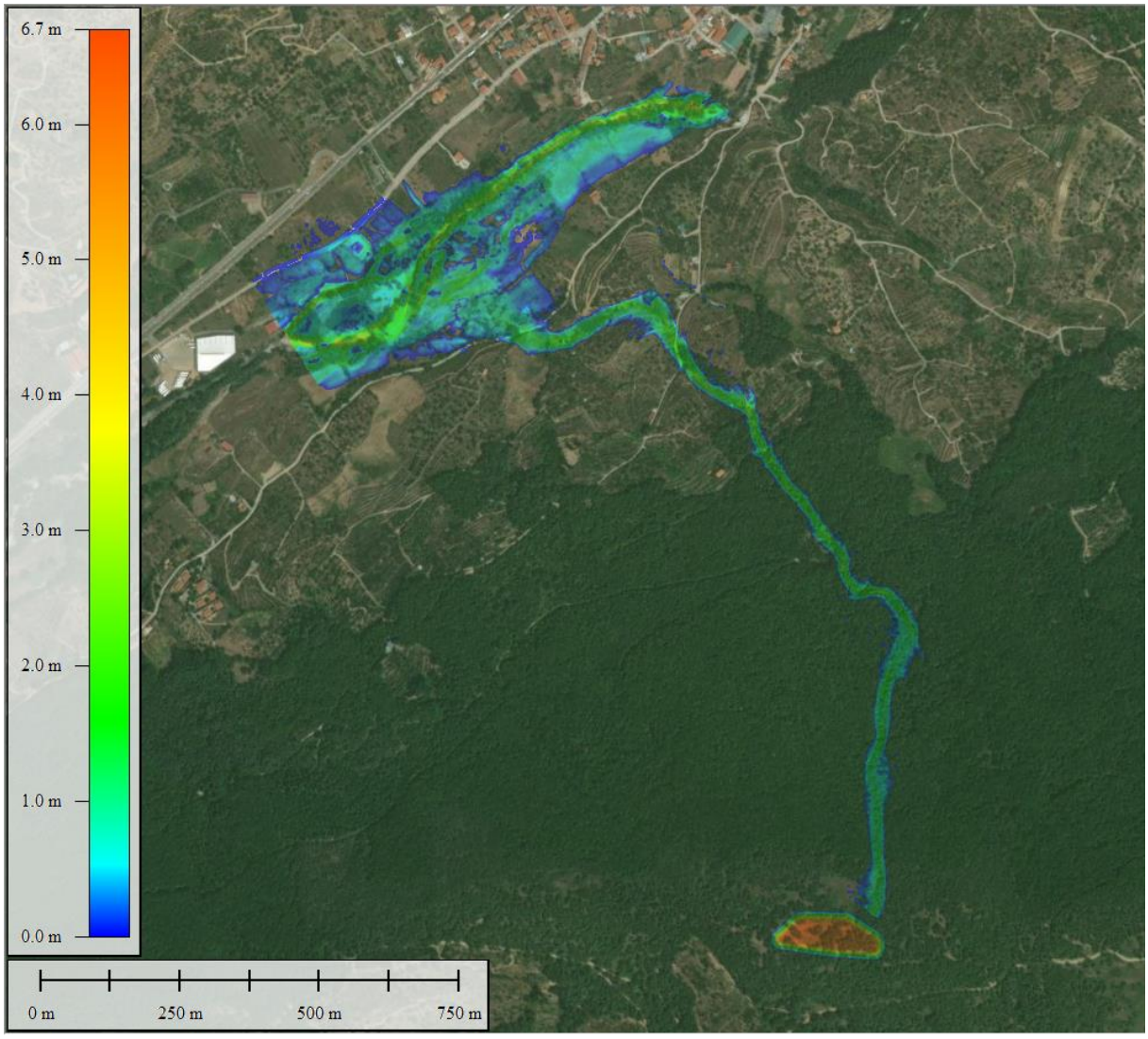


Figura 19: Mapa de calados máximos para el escenario sin avenida.

7.2.1.2 MAPA DE VELOCIDADES MÁXIMAS

Las velocidades son elevadas debido a la alta pendiente del terreno, cercana al 30%. Se alcanzan valores máximos superiores a los 10 m/s. El valor medio se sitúa en torno a 7,5 m/s.

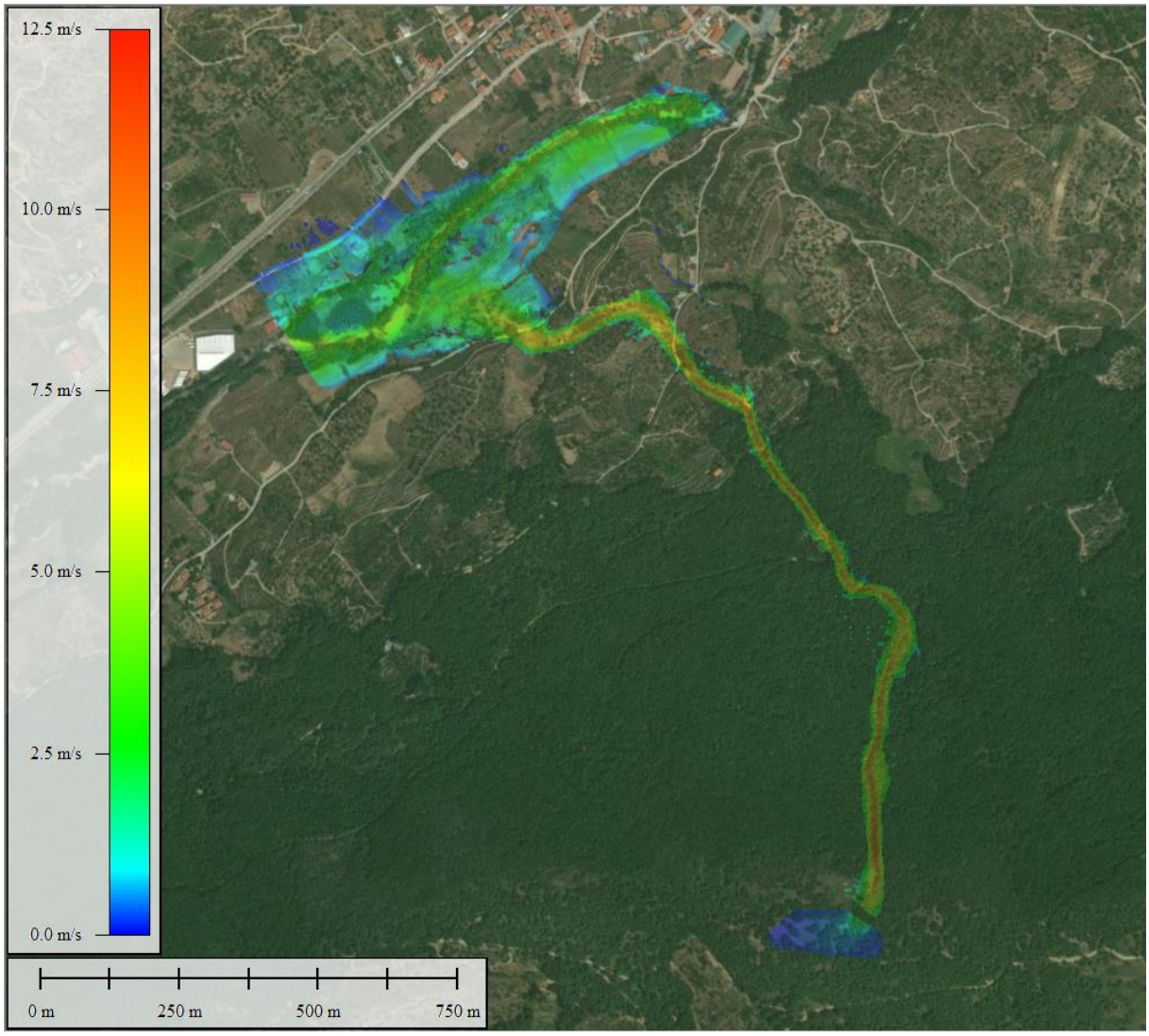


Figura 20: Mapa de velocidades máximas para el escenario sin avenida.

7.2.2 Escenario límite

7.2.2.1 MAPA DE CALADOS MÁXIMOS

Los calados provocados por la rotura aumentan ligeramente para este escenario, sin superan los 2 metros debido a la gran pendiente del terreno. El valor medio se sitúa en torno a 1,5 metros.

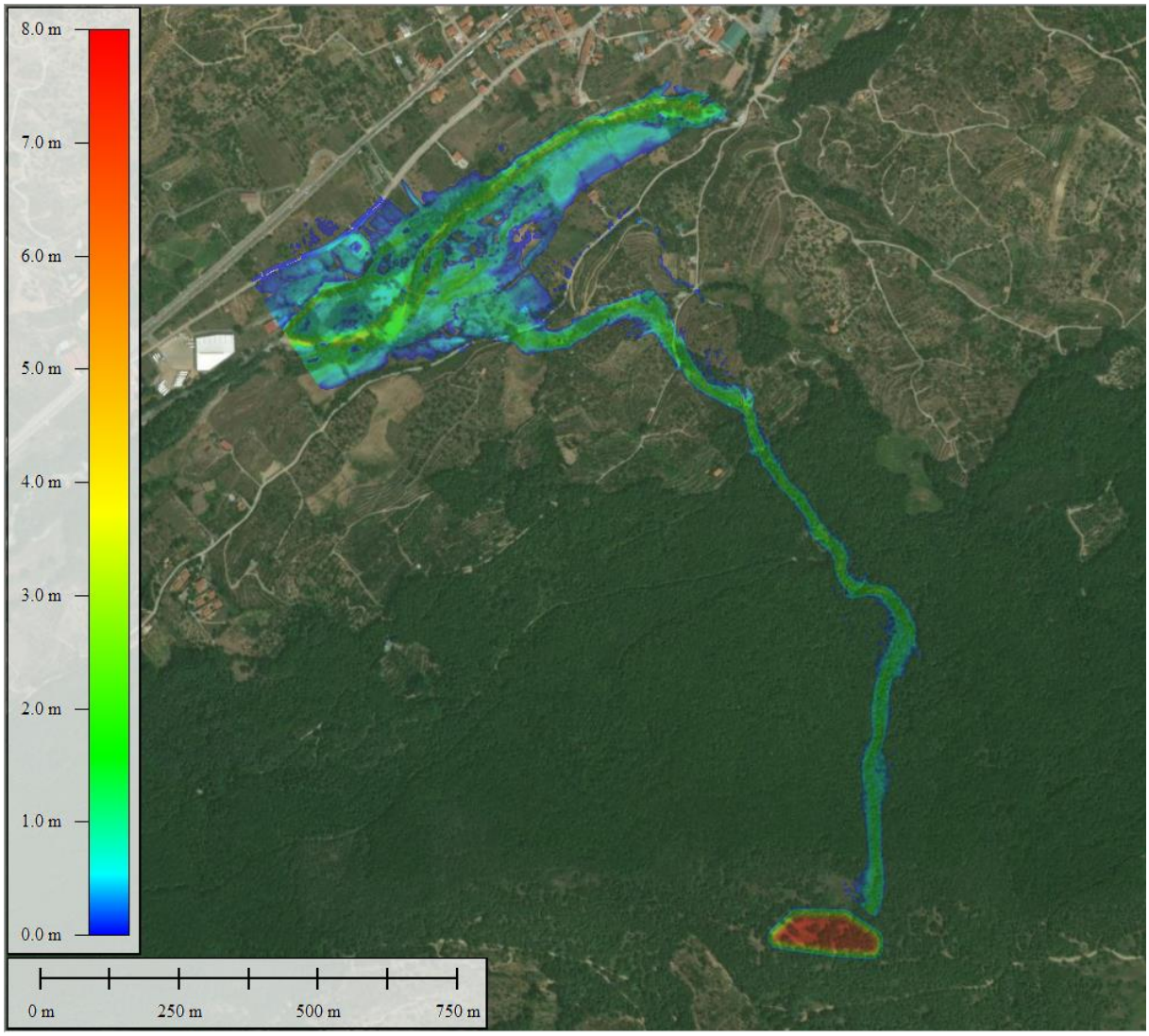


Figura 21: Mapa de calados máximos para el escenario límite.

7.2.2.2 MAPA DE VELOCIDADES MÁXIMAS

Las velocidades son elevadas debido a la alta pendiente del terreno, cercana al 30%. Se alcanzan valores máximos superiores a los 13 m/s. El valor medio se sitúa en torno a 9 m/s.

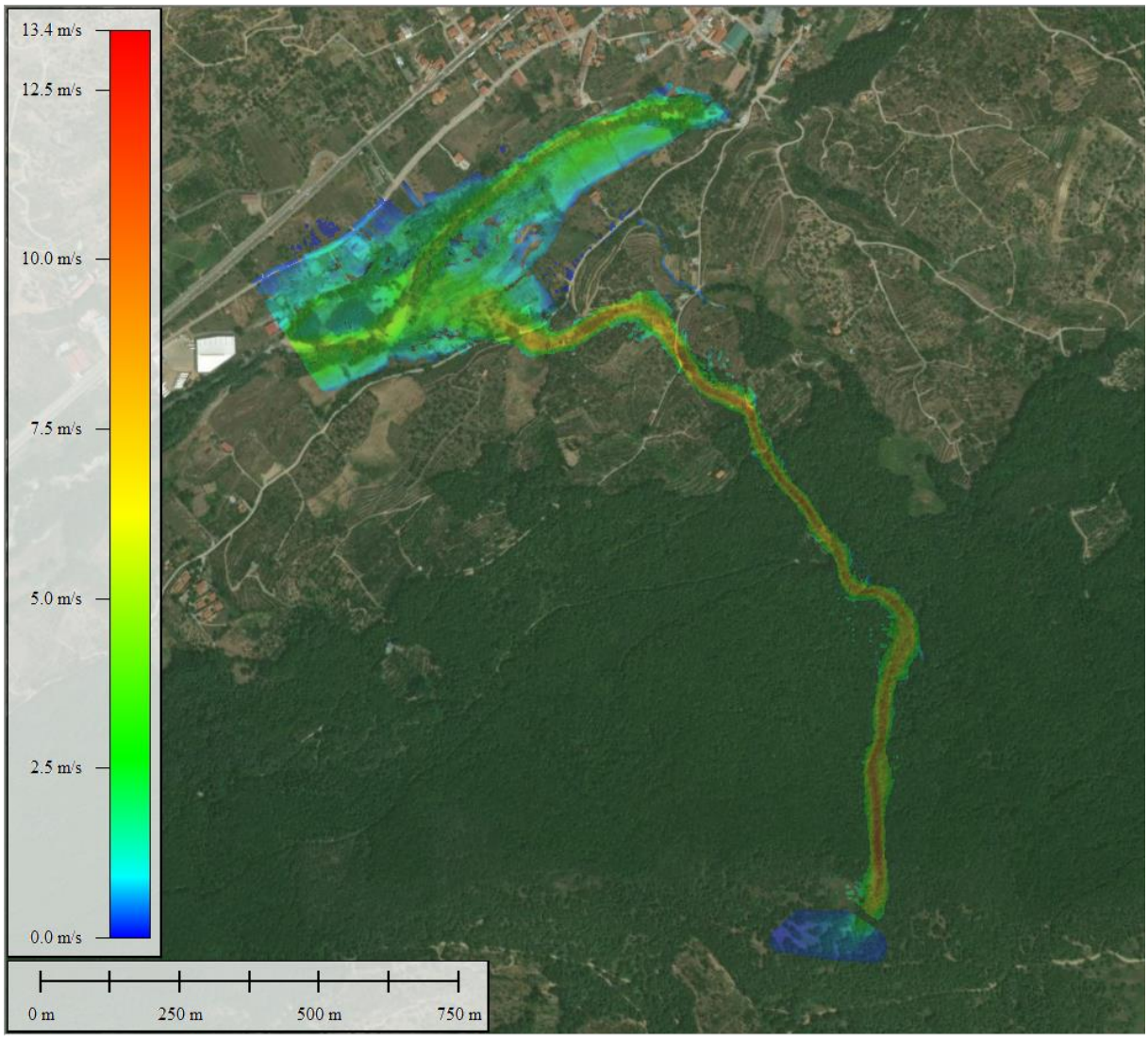


Figura 22: Mapa de velocidades máximas para el escenario límite.

8 Clasificación de la balsa

De acuerdo al Artículo 358 del Reglamento de Dominio Público Hidráulico (RDPH) las presas se clasificarán en función de sus dimensiones y en función del riesgo potencial que pueda derivarse de su posible rotura o funcionamiento incorrecto.

8.1 Clasificación en función de las dimensiones

En función de sus dimensiones, las presas se clasifican como:

- Gran presa: presas cuya altura sea superior a 15 m o las que teniendo una altura comprendida entre 10 y 15 m tengan una capacidad de embalse superior a 1 hm3.
- Pequeña presa: aquellas que no cumplen las condiciones de gran presa.

La altura y capacidad de embalse se determinarán de acuerdo a las siguientes definiciones:

- Altura de presa: diferencia de cota entre el punto más bajo de la cimentación y el punto más alto de la estructura resistente, sin tener en cuenta los rastrillos, pantallas de impermeabilización, rellenos de grietas u otros elementos semejantes.

En diques de collado la altura se determinará de igual manera que para las presas.

- Capacidad de embalse: volumen de agua que puede almacenarse entre la cota del cauce y la cota de Nivel Máximo Normal (NMN). Siendo el NMN el máximo nivel de retención de agua que se alcanza en el embalse cuando todos los elementos mecánicos de los órganos de desagüe se encuentran cerrados.

En diques de collado la capacidad de embalse se determinará como el volumen que puede almacenarse entre la cota del terreno en el punto más bajo del collado y la cota del NMN.

Atendiendo a estas definiciones la altura de la balsa es 8 m.

El embalse tiene una capacidad de 62.375,44 m3, que se puede comprobar con la curva característica del embalse mostrada en la imagen siguiente.

Atendiendo a estos criterios, la balsa objeto de estudio se clasifica como **pequeña presa.**

8.2 Clasificación en función del riesgo potencial

Los criterios para la clasificación en función del riesgo potencial en caso de rotura o funcionamiento incorrecto se establecen en el Apartado 4 de la Norma Técnica de Seguridad para la Clasificación de Las Presas y para la Elaboración e Implantación de los Planes de Emergencia de Presas y Embalses (NTS1).

La determinación de la categoría en función del riesgo potencial se basa en una evaluación de los daños potenciales que podrían producirse en caso de rotura o funcionamiento incorrecto de la presa, no en una evaluación del riesgo en sí, debido a que el concepto de riesgo lleva asociado la probabilidad de que un determinado suceso se produzca además de los daños que este suceso ocasiona.

La estimación de los daños se realiza únicamente para situaciones de rotura de la presa y no para el caso de funcionamiento incorrecto de éstas.

Se examinan las posibles afecciones a:

- Núcleos de población o viviendas aisladas.
- Servicios esenciales.
- Daños materiales.
- Aspectos medioambientales, histórico-artísticos o culturales.

Es recomendable seguir las evaluaciones en el orden planteado en la lista de posibles afecciones anterior.

Se evalúan los daños potenciales para cada uno de estos grupos, correspondiendo la categoría de la presa a la categoría máxima asignada a cada uno de los aspectos individuales, sin estudiar posibles combinaciones de ellos.

8.2.1 Criterios básicos de valoración de las afecciones

El proceso general de valoración de las afecciones se realiza en dos etapas:

- Etapa 1: se analiza si se produce o no afección. Se considera que los elementos están afectados si se produce "afección grave" de los mismos, según los umbrales de calado y velocidad marcados para cada grupo analizado, de manera que si se superan estos umbrales se califica como "afección grave" y en caso contrario como "afección no grave".

- Etapa 2: Se estudian, uno a uno, todos los elementos en los que se haya determinado que se produce "afección grave", con el objetivo de establecer en qué categoría procede clasificar la presa en función del número, extensión o catalogación de los mismos.

Estos umbrales se detallan a continuación para cada uno de los cuatro grupos indicados.

8.2.1.1 AFECCIÓN A NÚCLEOS DE POBLACIÓN O VIVIENDAS AISLADAS

Se asignará la categoría A cuando se produzca "afección grave" a más de cinco viviendas y la categoría B cuando se produzca "afección grave" a un número comprendido entre una y cinco viviendas.

Se considera como "afección grave" a una vivienda aquella que represente riesgo para las vidas de sus habitantes. La asignación del calificativo de "grave" se efectuará en función del calado y la velocidad de la onda de rotura en el punto de afección, de acuerdo a los criterios recogidos en la siguiente imagen.

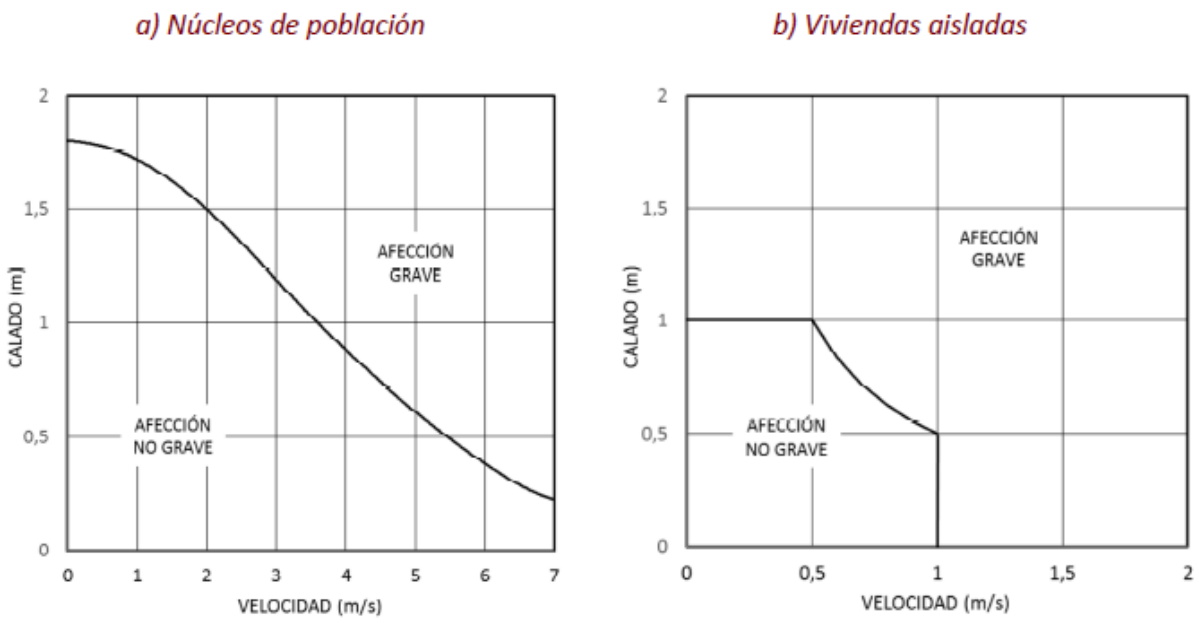


Figura 23: Evaluación de la gravedad de las afecciones en núcleos de población y en viviendas aisladas

El umbral representado en la figura b) de la imagen se corresponde al indicado en el Artículo 9.2 del RDPH, que establece: "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:

a) que el calado sea superior a 1 m

b) que la velocidad sea superior a 1 m/s

c) que el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m2/s"

El Instituto Nacional de Estadística (INE) considera núcleo de población a un conjunto de al menos 10 edificaciones que estén formando calles, plazas y otras vías urbanas.

Excepcionalmente, el número de edificaciones podrá ser inferior a 10 siempre que la población que habita las mismas supere los 50 habitantes. Se incluyen en el núcleo aquellas edificaciones que, estando aisladas, distan menos de 200 m de los límites exteriores del mencionado conjunto, si bien en la determinación de dicha distancia han de excluirse los

terrenos ocupados por instalaciones industriales o comerciales, parques, jardines, zonas deportivas, cementerios, aparcamientos y otros, así como los canales o ríos que puedan ser cruzados por puentes.

Para la evaluación de las afecciones ocasionadas a un núcleo de población se empleará la figura a) de la imagen anterior, mientras que las viviendas que no formen parte de un núcleo de población se evaluarán como viviendas aisladas y se empleará la determinación de las afecciones de la figura b) de la misma imagen.

La categoría C se asocia al calificativo incidental, que se aplicará a la presencia ocasional, y no previsible en el tiempo, de personas en la llanura de inundación, no admitiéndose la clasificación como incidental de las potenciales pérdidas de vidas humanas asociadas a la afección a residencias establecidas permanentes, áreas de acampada estables, zonas en que habitualmente se produzcan concentraciones de personas por cualquier motivo, etc.

Se produce una afección a edificación aislada. En este punto, para el escenario sin avenida, el valor de calado máximo es de **0,71 m** y la velocidad máxima es **4,4 m/s** y para el escenario límite, el valor de calado máximo es de **0,74 m** y la velocidad máxima es **4,5 m/s** , categorizándose como afección con carácter grave en ambos escenarios, por lo tanto, la categoría asignada a la balsa según la afección es la mostrada en la siguiente tabla resumen.

CLATEGORÍA SEGÚN CADA AFECCIÓN	
AFECCIÓN 1: HOTEL RURAL	Categoría B

La evaluación completa de las afecciones del tipo daños materiales se encuentra tabulada en el Apéndice 3.

Se produce afección de carácter grave a 1 edificación aislada, por lo que se asigna la Categoría B.

8.2.1.2 SERVICIOS ESENCIALES

Se entienden como servicios esenciales aquéllos que son indispensables para el desarrollo de las actividades humanas y económicas de conjuntos de población mayores de 10.000 habitantes, y siempre que el servicio que brinden no pueda restablecerse de manera inmediata ni prestarse de forma alternativa. Entre los posibles servicios esenciales se incluyen, al menos, los siguientes:

- Abastecimiento y saneamiento.
- Suministro de energía.
- Sistema sanitario.
- Sistemas de comunicaciones.
- Infraestructuras de transporte.

La "afección grave" a un servicio esencial dará lugar a la clasificación en la categoría A y se efectuará en función del calado y la velocidad de la onda de rotura en el punto de afección, de acuerdo al umbral establecido en el Artículo 9.2 del RDPH, representado en la imagen siguiente.

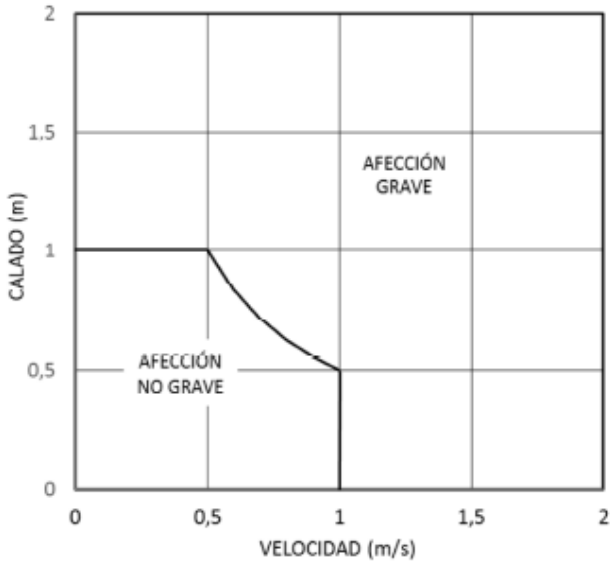


Figura 24: Evaluación de la gravedad de las afecciones del tipo servicios esenciales

No se produce ninguna afección a servicios esenciales.

8.2.1.3 DAÑOS MATERIALES

Se entienden como daños materiales aquéllos cuantificables directamente en términos económicos, sean directos, correspondientes a la destrucción de elementos, o indirectos, correspondientes a la reducción de la producción u otros.

Se evalúan en función de los siguientes grupos:

- Daños a industrias y polígonos industriales.
- Daños a propiedades rústicas.
- Daños a cultivos.
- Daños a infraestructuras.

Se considerará que se producen daños materiales si la afección al elemento se califica como "grave" en función del umbral de calado y velocidad de la onda de rotura, establecido en base

al criterio del Artículo 9.2 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, representado en la siguiente imagen.

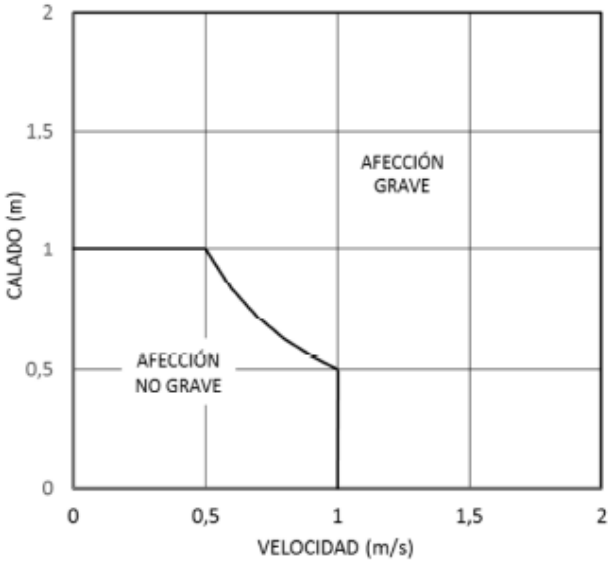


Figura 25: Evaluación de la gravedad de las afecciones del tipo daños materiales

La evaluación del alcance de los daños a este tipo de elementos se efectuará analizando el número de instalaciones industriales o propiedades rústicas dañadas, la superficie de terreno de cultivo inundada y la clase de las infraestructuras afectadas.

Tendrán la clasificación de categoría A (daños muy importantes) la afección grave a más de 50 instalaciones o propiedades, a más de 5.000 ha de regadío a más de 10.000 ha de secano, a carreteras de la Red de Carreteras del Estado, a carreteras autonómicas de primer nivel o a ferrocarriles de vía ancha o de alta velocidad.

Tendrán la clasificación de categoría B (daños importantes) la afección grave a más de 10 instalaciones o propiedades, a más de 1.000 ha de regadío, a más de 3.000 ha de secano, a carreteras autonómicas de segundo o tercer nivel o a ferrocarriles de vía estrecha.

Los daños materiales que no rebasen estos umbrales tendrán la clasificación de categoría C (daños moderados).

No se producen daños materiales.

8.2.1.4 ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES, HISTÓRICO-ARTÍSTICOS Y CULTURALES

Se entenderán como daños medioambientales o al patrimonio histórico-artístico o cultural, las afecciones "graves" sobre los elementos o territorios que gocen de alguna figura legal de protección a nivel estatal (Red Natura 2000, Parques Nacionales, Bienes de Interés Cultural u otros) o autonómico (Parques Nacionales, Parques Regionales u otros).

Se clasificarán como categoría A (daños muy importantes) la afección "grave" a elementos con figuras de protección a nivel estatal, y como categoría B (daños importantes) la afección "grave" a elementos catalogados a nivel autonómico.

En los territorios protegidos, la asignación del calificativo "grave" se efectúa en función del calado, la velocidad de la onda de rotura y la superficie afectada, catalogándose como "graves" cuando se supere el umbral establecido según el criterio del Artículo 9.2 del RDPH, representado en la siguiente imagen, en una superficie superior a 1.000 ha. En el resto de elementos protegidos, la calificación como "grave" se efectuará en función del calado y la velocidad de la onda de rotura en el punto de afección, conforme al criterio representado en la misma imagen.

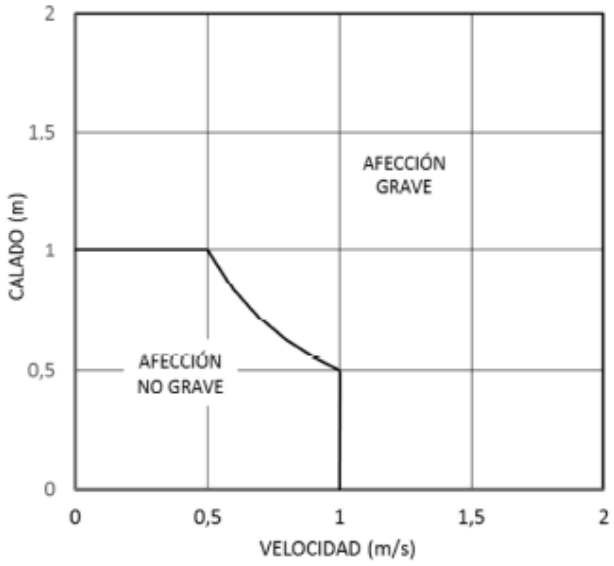


Figura 26: Evolución de la gravedad de las afecciones del tipo aspectos medioambientales, histórico-artísticas y culturales.

No se produce ninguna afección a aspectos medioambientales, histórico-artísticos o culturales.

8.2.1.5 OTRAS AFECCIONES

Existen elementos no tipificados, peor caracterizados por que las consecuencias de su rotura o funcionamiento incorrecto de lugar a consecuencias severas, como pueden ser las centrales nucleares o las plantas de producción de compuestos venenosos o especialmente dañinos para la salud de las personas o el medio ambiente, como las industrias incluidas en el Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (PRTR), cuya afección debe ser analizada.

La afección grave a alguno de os elementos relacionados en el citado registro dará lugar a la clasificación en la categoría A. A estos efectos se considerará que se produce una afección "grave" si las condiciones hidráulicas superan los umbrales establecidos en el Artículo 9.2 del RDPH, tal y como se representa en la siguiente imagen.

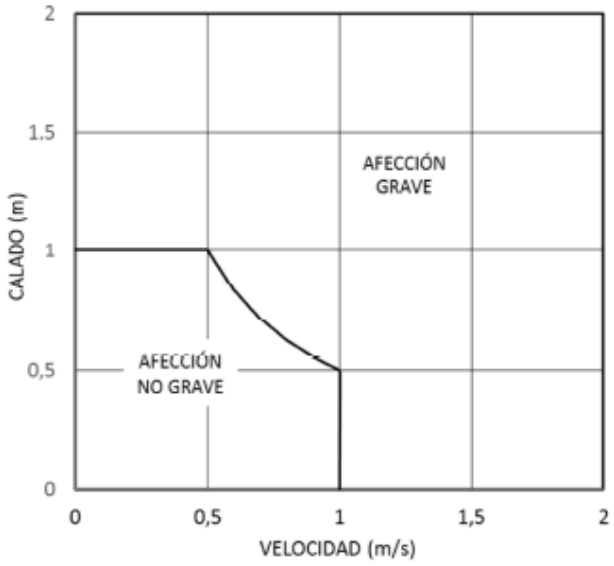


Figura 27: Evolución de la gravedad de otras afecciones relacionadas en el PRTR

No se produce ninguna afección a este tipo.

8.3 Propuesta de clasificación

En base a los criterios establecidos en el presente documento, siguiendo las recomendaciones de la Guía Técnica para la Clasificación de Presas, se propone la siguiente clasificación de la presa objeto de estudio:

- En función de sus dimensiones la balsa se clasifica como pequeña balsa.
- Según la evaluación del riesgo potencial que pueda derivarse de su rotura, la balsa se clasifica dentro de la categoría B.

9 Conclusiones

Ante lo expuesto en la presente memoria y sus diferentes apéndices, se determina que el documento se considera suficiente y completo para el establecimiento de la clasificación de la balsa objeto de estudio en base a sus dimensiones y al riesgo potencial que pueda derivarse de su rotura, resultando:

Tras analizar los resultados, según la evaluación del riesgo potencial que pueda derivarse de su rotura, la balsa se clasifica dentro de la **categoría B**.

Por lo tanto, se somete el estudio a la aprobación del organismo competente.

Y, para que así conste, se firma la presente a:

En Merida, junio de 2023

El Ingeniero Agrónomo
Técnico Superior PRL

Fdo. Antonio Luque Palma

Ingeniero Técnico Agrícola
Ingeniero Técnico O.P.

Fdo. José A. López Rastrojo

Ingeniero Montes
Ingeniero CCyP

Fdo. Antonio P. Romero Gandullo

Ingeniero Agrónomo
Ingeniero Civil

Fdo. Javier Merino Crespín

METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD

1 Introducción

Es reconocida la importancia de la tensión tangencial debida al rozamiento con el contorno en la estimación de las variables hidráulicas, así como que la incertidumbre en su parametrización es una importante fuente de error en la modelización de un tramo de río. Las pérdidas de carga por fricción en el cauce están relacionadas fundamentalmente con la composición del material del lecho, puesto que lo normal es que sobre el cauce no esté desarrollado ningún tipo de uso del suelo y, en aquellos casos en que exista, con la vegetación acuática o riparia. En cambio, en las llanuras de inundación, el territorio suele estar ocupado por usos diversos, por lo que las pérdidas de carga por fricción vendrán dadas en función de éstos.

La fricción por rozamiento se suele expresar en función de un coeficiente, de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

AUTOR	EXPRESIÓN S_F
Chèzy	$S_f = \frac{V^2}{C^2 R}$
Manning	$S_f = \frac{V^2 n^2}{R^{4/3}}$
Darcy	$S_f = \frac{f V^2}{8 R g}$

Tabla 8: Formulación de Sf según diversos autores

Siendo:

- Sf la pendiente de fricción.
- V la velocidad del flujo en la sección.
- R el radio hidráulico.
- C el coeficiente de Chèzy.
- n el número de Manning.

- f el coeficiente de resistencia de Darcy-Weisbach.

Dado que la tensión tangencial τ0 en el perímetro mojado de la sección viene dada por la siguiente expresión:

$$\tau_0 = \gamma R S_f$$

Dónde:

- ɣ es el peso específico del agua.

Las ecuaciones de la tabla incluida anteriormente y, por tanto, los respectivos coeficientes de fricción, quedan relacionados según la expresión:

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} = \sqrt{\frac{8\,g}{f}}$$

La mayoría de los modelos utiliza la fórmula de Manning para el cálculo de las pérdidas por rozamiento.

En los modelos bidimensionales, la pendiente de fricción se descompone según las ecuaciones:

$$S_{fx} = \frac{u\sqrt{u^2+v^2}\,n^2}{h^{4/3}}$$

$$S_{fy} = \frac{v\sqrt{u^2+v^2}\,n^2}{h^{4/3}}$$

Dónde:

- u y v son las componentes de la velocidad.
- h es el calado.
- n es el número de Manning en el punto de cálculo.

La validez de la fórmula de Manning ha sido, y es, objeto de gran debate en la literatura, especialmente a medida que se dispone de mayor cantidad de datos en cauces para su análisis. Como los modelos hidráulicos siguen utilizando esta fórmula para la estimación de las pérdidas de carga por fricción, la parametrización de la rugosidad sigue realizándose según los valores de n. En el caso de la parametrización de la rugosidad en el cauce, ésta viene determinada principalmente por su geometría, su pendiente y su granulometría. Para la determinación de la rugosidad en cauces existen gran cantidad de fórmulas, tanto relativas a la relación de la velocidad con los coeficientes de rugosidad, como a la formulación de las pérdidas de carga por fricción. En este apéndice se presentan algunas de las formulaciones más conocidas, así como recomendaciones para asignar la rugosidad a los distintos tramos del cauce en que se divide la zona de estudio. En el caso de la parametrización de la rugosidad en la llanura de inundación, el valor de n viene condicionado, fundamentalmente, por los usos del suelo, por lo que se necesitará disponer de información sobre los mismos y su evolución en la zona de estudio.

El objetivo es caracterizar el valor de la rugosidad en una serie de polígonos definidos en la zona de estudio. Por un lado, se tendrán los polígonos de usos del suelo en la zona inundable, y por otro lado los polígonos correspondientes a distintos tramos a lo largo del cauce. Los polígonos de usos del suelo se obtendrán a partir de la información más reciente y más detallada disponible, siendo la del Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España (SIOSE) y el CORINE LAND COVER 2000-2006 las bases a utilizar a falta de otra información de mayor detalle. Además, será necesaria la información de cambios de uso del suelo en los casos en los que la modelización hidráulica así lo requiera. Los polígonos del cauce se corresponderán con lo definido en el análisis histórico y geomorfológico. Los distintos tramos a lo largo del cauce se identificarán en función de las características geométricas de las secciones transversales, la pendiente, y la composición del lecho y las márgenes, en términos del tamaño de los sedimentos y del tipo de vegetación.

La caracterización de la rugosidad requiere, por tanto, el conocimiento de la vegetación presente en la llanura de inundación y en el cauce. En la llanura de inundación, a partir de los

polígonos de usos del suelo, se pueden identificar los polígonos con vegetación y asignarles un valor de rugosidad en función del tipo y de la densidad de la misma, la cual se podrá determinar mediante observaciones realizadas en visitas a campo y mediante la información cartográfica disponible. En el cauce, la vegetación tiene una influencia considerable en las pérdidas de carga de fricción. Generalmente, en el cauce se identifican zonas de vegetación continua cuya contribución a la rugosidad total se puede estimar a partir de tablas o en función de las características de la misma (densidad, rigidez de los tallos, etc.). Para poder tener en cuenta las pérdidas de carga debidas a la vegetación del cauce será necesario diferenciar en el cauce los polígonos correspondientes a la misma.

Es importante tener en cuenta el sistema de unidades de medida del coeficiente de rugosidad de Manning. El factor de conversión es el siguiente:

$$n\,(E) = 1{,}49\; n\,(SI)$$

Dónde:

- n (E) es el número de Manning en el sistema anglosajón de unidades de medida.
- n (SI) es el número de Manning en las unidades del Sistema Internacional (s/m1/3).

2 Rugosidad en la llanura de inundación

Como ya se ha comentado, la rugosidad en la llanura de inundación depende fundamentalmente de los usos del suelo presentes en la misma. En la literatura se puede encontrar un amplio repertorio de estimaciones de los coeficientes de rugosidad en función de la actividad desarrollada sobre la zona inundable. Estas estimaciones están referidas normalmente al número de Manning y, por lo general, toman valores que pueden variar dentro de unos rangos.

La información relativa a los usos del suelo debe ser representada cartográficamente de tal forma que se puedan asignar los valores del coeficiente de rugosidad a los polígonos que definen los usos. Es importante tener en cuenta la fecha para la cual se definen los usos del suelo, ya que las variaciones en los mismos pueden afectar a la rugosidad. La ortofoto suministrada con el modelo digital del terreno (MDT) del LIDAR permite identificar y definir los usos del suelo en el momento en que fue tomada.

Con información de partida sobre los usos del suelo se recomienda la utilización del Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE) llevado a cabo por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Se trata de una capa de información en formato SIG que ofrece una delimitación muy exacta de los polígonos de ocupación del suelo a escala 1:25.000. Las posibles ocupaciones del suelo vienen dadas por una clasificación de usos simples (cuando éstos sean únicos en el polígono) y compuestos (cuando éstos se encuentren formados por dos o más usos simples y/o compuestos a su vez) que pueden llevar atributos asociados. En función del tipo de combinación, el uso compuesto será asociación o mosaico. La asociación es la combinación de usos que se encuentran entremezclados sin distribución geométrica ordenada. El mosaico es la combinación de usos cuya distribución geométrica y separación entre ellos es claramente perceptible.

En el caso de no disponer del SIOSE podría utilizarse la información proporcionada por el proyecto europeo CORINE LAND COVER cuya última versión se basa en información del año

2006 (CLC2006). Esta cartografía está realizada a escala 1:100.000 y agrupa los usos del suelo en cuatro grandes grupos, que corresponden a:

- Zonas artificiales.
- Zonas agrícolas.
- Bosques y áreas seminaturales.
- Zonas húmedas y superficies de agua.

A pesar de su escala, los polígonos definidos en el CLC suelen encajar bastante bien, en líneas generales, con los usos del suelo que se identifican en la ortofoto, aunque en ocasiones pueden darse discrepancias debidas a posibles cambios con el tiempo, a errores en la delimitación o a errores en la definición del CLC. En estos casos, será necesario delimitar nuevos polígonos, o modificar los ya existentes, de tal forma que los usos del suelo de la ortofoto queden bien reflejados.

Del análisis comparativo entre el SIOSE y el CLC se desprende que la información recogida por el SIOSE tiene una mejor resolución, un mayor detalle y está más actualizada. Sin embargo, la clasificación de usos del suelo del CLC2000 es más detallada a la hora de definir las zonas agrícolas, bosques y áreas seminaturales.

Las ediciones del CLC de los años 2000 y 2006 (CLC2000 y CLC2006) incluyen información sobre polígonos de cambio de uso del suelo con respecto a la edición anterior. Es aconsejable examinar si en la zona de estudio se han producido cambios con el objeto de poder tenerlos en cuenta, en caso necesario, en la modelización hidráulica.

Asimismo, se recomienda el estudio en detalle de las fotografías existentes sobre las avenidas históricas documentadas que vayan a ser utilizadas en la fase de calibración del modelo hidráulico, con objeto de identificar las posibles diferencias en los usos del suelo respecto a la situación actual.

El modelo digital de superficies (MDS) del LIDAR puede servir también como fuente de información a la hora de definir los usos del suelo ya que sobre él se pueden distinguir las

edificaciones, las vías de comunicación, los elementos singulares, etc. En este sentido, la comparación del MDS con una planimetría facilita la identificación de posibles cambios de uso del suelo.

A continuación, se presenta la tabla de coeficientes de rugosidad de Manning desarrollada en la Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. En ésta se ha llevado a cabo la asignación de un coeficiente orientativo a los usos del suelo del SIOSE y del CLC2000 (se ha realizado este último ya que su clasificación de usos tiene mayor detalle que la versión más actualizada del 2006). Es importante tener en cuenta que pueden darse variaciones de los valores asignados en torno a un 5-10%. Estas variaciones principalmente se deberán a la densidad de la vegetación y de las edificaciones, de manera que en zonas con bajas densidades puede ser necesario reducir los valores asignados de forma orientativa. Es posible estimar la densidad de la vegetación y de las edificaciones a partir de:

- La ortofoto y el MDS del LIDAR (para la estimación de la densidad de la vegetación).
- La ortofoto, el MDS de LIDAR y la planimetría disponible (para la estimación de la densidad de edificaciones).

<table>
<tr><th colspan="8">Valores del coeficiente de rugosidad de Manning asignados a los usos del suelos del SIOSE y CLC2000.</th></tr>
<tr><th colspan="3">Clasificación de usos del suelo del SIOSE</th><th>n</th><th colspan="4">Clasificación de usos del suelo del CORINE (2000)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Artificial Compuesto</td><td rowspan="2">Urbano mixto</td><td>Casco</td><td rowspan="4">0,1</td><td colspan="2" rowspan="2">Tejido urbano continuo</td><td rowspan="3">Tejido urbano</td><td rowspan="6">Zonas artificiales</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Cobertura artificial</td><td colspan="2">Edificación</td></tr>
<tr><td colspan="2">Otras construcciones</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Artificial compuesto</td><td rowspan="2">Urbano mixto</td><td>Ensanche</td><td>Estructura urbana abierta</td><td rowspan="2">Tejido urbano discontinuo (Urbanizaciones)</td></tr>
<tr><td>Discontinuo</td><td>0,09</td><td>Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Industrial</td><td>Polígono industrial ordenado</td><td rowspan="4">0,1</td><td rowspan="4">Zonas industriales</td><td rowspan="4">Zonas industriales y comerciales (granjas agrícolas)</td><td rowspan="4">Zonas industriales comerciales y de transporte</td></tr>
<tr><td>Polígono industrial sin ordenar</td></tr>
<tr><td>Industria aislada</td></tr>
<tr><td>Primario</td><td>Piscifactoría</td></tr>
</table>

Valores del coeficiente de rugosidad de Manning asignados a los usos del suelos del SIOSE y CLC2000.								
Clasificación de usos del suelo del SIOSE				**n**	**Clasificación de usos del suelo del CORINE (2000)**			
	Infraestructuras	Energía	Eólica					
			Solar					
			Nuclear					
			Eléctrica					
			Térmica					
			Hidroeléctrica					
			Gaseoducto / oleoducto					
		Telecomunicaciones						
		Suministro de agua	Depuradoras y potabilizadoras					
			Desalinizadoras					
	Terciario	Comercial y oficinas			Grandes superficies de equipamientos y servicios			
		Complejo hotelero						
		Parque recreativo						
	Equipamiento / dotacional	Administrativo institucional						
		Sanitario						
		Cementerio						
		Educación						
		Penitenciario						
		Religioso						
		Cultural						
	Infraestructuras	Residuos	Plantas de tratamiento					
Cobertura artificial	Vial, aparcamiento o zona peatonal sin vegetación			0,1	Autopistas. Autovías y terrenos asociados	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	Zonas industriales comerciales y de transporte	Zonas artificiales
Artificial compuesto	Infraestructura	Transporte	Red viaria					
			Red ferroviaria		Complejos ferroviarios			
			Portuario		Zonas portuarias			
			Aeroportuario		Aeropuertos			
Cobertura artificial	Zonas de extracción o vertido			0,4	Zonas de extracción minera		Zonas de extracción minera,	

Valores del coeficiente de rugosidad de Manning asignados a los usos del suelos del SIOSE y CLC2000.								
Clasificación de usos del suelo del SIOSE				**n**	**Clasificación de usos del suelo del CORINE (2000)**			
Artificial compuesto	Primario	Minero extractivo					vertidos y de construcción	
	Infraestructuras	Residuos	Vertederos y escombreras		Escombreras y vertederos			
Cobertura artificial	Suelo no edificado				Zonas en construcción			
Cobertura artificial	Zona verde artificial y arbolado urbano				Zonas verdes urbanas			
Artificial compuesto	Primario	Forestal		0,09				
	Terciario	Camping						
	Equipamiento / dotacional	Parque Urbano					Zonas verdes artificiales, no agrícolas	
		Deportivo			Resto de instalaciones deportivas y recreativas	Instalaciones deportivas y recreativas		
		Campo de golf		0,035	Campos de golf			
Cultivos	Cultivos herbáceos	Cultivos herbáceos distintos de arroz		0,04	Tierras de labor en secano (tierras abandonadas / barbechos)		Tierras de labor	Zonas agrícolas
					Cultivos herbáceos en regadío	Terrenos regados permanentemente		
					Otras zonas de irrigación			
		Arroz			Arrozales			
	Cultivos leñosos	viñedo		0,05	Viñedos en secano	Viñedos en secano	Cultivos permanentes	
					Viñedos en regadío			
Cultivos	Cultivos leñosos	Frutales	Frutales cítricos	0,06	Frutales en secano		Cultivos permanentes	Zonas agrícolas
					Cítricos	Frutales en Regadío	Frutales y plantaciones de bayas (Plantaciones de lúpulo)	
			Frutales no cítricos		Frutales tropicales			
		Otros cultivos leñosos			Otros frutales ne regadío			
		Olivar			Olivares en secano	Olivares		

Valores del coeficiente de rugosidad de Manning asignados a los usos del suelos del SIOSE y CLC2000.								
Clasificación de usos del suelo del SIOSE			**n**		**Clasificación de usos del suelo del CORINE (2000)**			
					Olivares en regadío			
	Prados		0,035		Prados y praderas (pastos en tierras abandonadas, prados arbolados)		Praderas	
Asentamiento agrícola residencial			0,035-0,05	0,04	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes en secano	Cultivos anuales asociados a cultivos permanentes	Zonas agrícolas heterogéneas	
					Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes en regadío			
Artificial compuesto	Primario	Agrícola / ganadero	0,035-0,05	0,035	Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en secano	Mosaico de cultivos en secano	Mosaico de cultivos (Mosaico de cultivos con casas dispersas)	Zonas agrícolas heterogéneas
				0,04	Mosaico de cultivos permanentes en secano			
					Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes en secano			
				0,035	Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en regadío	Mosaico de cultivos en regadío		
				0,04	Mosaico de cultivos permanentes en regadío			
Artificial compuesto	Primario	Agrícola / ganadero	0,035-0,05	0,04	Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes en regadío	Mosaico de cultivos en regadío	Mosaico de cultivos (Mosaico de cultivos con casas dispersas)	Zonas agrícolas heterogéneas
Huertas familiares					Mosaico de cultivos mixtos en secano y regadío			Zonas agrícolas

Valores del coeficiente de rugosidad de Manning asignados a los usos del suelos del SIOSE y CLC2000.								
Clasificación de usos del suelo del SIOSE			**n**		**Clasificación de usos del suelo del CORINE (2000)**			
				0,05	Mosaico de cultivos agrícolas en secano con espacios significativos de vegetación natural y seminatural	Terrenos principalmente agrícolas con importantes espacios de vegetación natural		
					Mosaico de cultivos agrícolas en regadío con espacios significativos de vegetación natural y seminatural			
					Mosaico de prados o praderas con espacios significativos de vegetación natural y seminatural			
Dehesa			0,06		Pastizales, prados o praderas con arbolado adehesado	Sistemas agro-forestales		
					Cultivos agrícolas con arbolado adehesado			
Arbolado forestal	Frondosas	Frondosas caducifolias	0,07		Bosque mixto		Bosques	Bosques y áreas seminaturales
					Perennifolias	Bosques de frondosas		
					Caducifolias y marcescentes			
		Frondosas perennifolias			Otras frondosas de plantación			
					Mezclas de frondosas			
					Laurisilva macaronésica			
					Bosques de ribera			
	Coníferas				Bosques de coníferas de hojas aciculares	Bosques de coníferas		
					Bosques de coníferas de hojas de tipo cupresáceo			
Pastizal			0,035		Pastizales supraforestales templado – oceánicos, pirenaicos y orocantábricos	Pastizales supraforestales	Matorrales y/o asociaciones de vegetación herbácea	
					Pastizales supraforestales mediterráneos			
					Otros pastizales templado oceánicos	Otros pastizales		
					Otros pastizales mediterráneos			
Matorral			0,055–0,07	0,06	Landas y matorrales en climas húmedos. Vegetación mesófila	Landas y matorrales mesófilos		
Matorral			0,055–0,07	0,06	Fayal – brezal macaronésico	Landas y matorrales mesófilos	Matorrales y/o asociaciones de vegetación herbácea	Bosques y áreas seminaturales
				0,065	Grandes formaciones de			

Valores del coeficiente de rugosidad de Manning asignados a los usos del suelos del SIOSE y CLC2000.									
Clasificación de usos del suelo del SIOSE				**n**		**Clasificación de usos del suelo del CORINE (2000)**			
						matorral denso o medianamente denso	Matorrales esclerófilos mediterráneos	Vegetación esclerófila	
					0,055	Matorrales sub-arbustivos o arbustivos muy poco densos			
					0,06	Matorrales xerófilos macaronésicos			
					0,07	Matorral boscoso de frondosas		Matorral boscoso de transición (claras de bosques / zonas empantanadas fijas o en transición	
						Matorral boscoso de coníferas			
						Matorral boscoso de bosque mixto			
Terrenos sin vegetación	Playas, dunas y arenales			0,025		Playas y dunas		Playas, dunas y arenales	Espacios abiertos con escasa o sin vegetación
	Ramblas			0,035		Ramblas con poca o sin vegetación			
	Roquedos	Acantilados marinos		0,025		Rocas desnudas con poca o sin vegetación		Roquedo	
		Afloramientos rocosos y roquedos		0,025	0,025-0,035	Afloramientos rocosos y canchales			
		Canchales		0,035					
		Coladas lávicas cuaternarias		0,03		Coladas lávicas cuaternarias			
	Suelo desnudo					Xeroestepa subdesértica		Espacios con vegetación escasa	
	Zonas quemadas					Cárcavas y/o zonas en proceso de erosión			
	Glaciares y nieves permanentes					Espacios orófilos altitudinales con vegetación escasa			
Coberturas húmedas	Humedales continentales	Zonas pantanosas		0,04		Humedales y zonas pantanosas (zonas pantanosas sin árboles y de transición, en ocasiones con una turbera de más de 30 cm de espesor)			Zonas húmedas continentales
		Turberas							
	Humedales marinos	Marismas				Marismas			Zonas húmedas litorales
		Salinas marinas				Zonas llanas intermareales			
	Humedales continentales	Salinas continentales				Salinas			
Artificial compuesto	Infraestructuras	Suministro de agua	Conducciones y canales	0,05		Canales artificiales		Cursos de aguas	Aguas continentales
		Cursos de agua		0,04		Ríos y cauces naturales			

Valores del coeficiente de rugosidad de Manning asignados a los usos del suelos del SIOSE y CLC2000.								
Clasificación de usos del suelo del SIOSE				**n**	**Clasificación de usos del suelo del CORINE (2000)**			
Coberturas de agua	Aguas continentales	Láminas de agua	Lagos y lagunas	0,025	Lagos y lagunas	Láminas de agua		
			Embalses		Embalses			
Cobertura artificial	Lámina de agua artificial							
Coberturas de agua	Aguas marinas	Lagunas costeras			Lagunas costeras		Aguas Marinas	
		Estuarios		0,03	Estuarios			
		Mares y océanos		0,025	Mares y océanos			

Tabla 9: Valores del coeficiente de rugosidad de Manning asignados a los usos del suelo del SIOSE y CLC2000

En caso contrario, se podrán realizar salidas de campo para mejorar la estimación de la densidad de la vegetación.

El valor del coeficiente de rugosidad de Manning en el caso de los usos compuestos de tipo mosaico (regular e irregular) y de las asociaciones del SIOSE, se obtendrá como media de los números de Manning correspondientes a los usos simples que los integran ponderados según los porcentajes de superficie en los que están presentes.

Por lo general, se aconseja realizar la modelización hidráulica en base a la información más reciente sobre usos del suelo en el tramo de estudio, a menos que se tenga información suficiente como para plantear un escenario diferente. Por otra parte, durante el proceso de calibración del modelo hidráulico, puede ser de interés simular una avenida ocurrida en el pasado cuando el escenario de usos del suelo era diferente. En la medida de lo posible, se procederá a la modelización hidráulica de los caudales de la avenida bajo dicho escenario.

La capa de polígonos de usos del suelo con sus correspondientes valores del coeficiente de rugosidad de Manning se puede introducir como una capa adicional de información en algunos modelos, de tal forma que los valores de la rugosidad se incorporen automáticamente al modelo. En esta capa habrá que incluir también los polígonos correspondientes al cauce.

3 Rugosidad del cauce

Los valores de los coeficientes de fricción en el cauce vienen dados por la resistencia al flujo ejercida por los sedimentos que conforman el lecho y las márgenes del río y por la vegetación. Existe una gran variedad de métodos para estimar coeficientes de fricción que han sido obtenidos a partir de experimentos con modelos reducidos o prototipos que simulan distintas configuraciones del cauce. Como se ha visto anteriormente, el uso de la fórmula de Manning, que relaciona la velocidad del flujo con el coeficiente de fricción o rugosidad, está muy generalizado en la modelización hidráulica. La rugosidad en el cauce no puede estimarse sólo con la información sobre usos del suelo, ya que en su valor también influye, por ejemplo, la granulometría del lecho, la vegetación, etc. De esta forma, es necesario estimarlo y, siempre que sea posible, calibrarlo en base a datos reales de flujo de caudales.

Entre los procedimientos a aplicar se encuentra el método de Cowan. El Soil Conservation Service (SCS) propone el método de Cowan (Cowan, 1956) para la estimación de la rugosidad en cauces. Este método se basa en la estimación de un valor inicial de la rugosidad y su posterior modificación, según unos valores correctores, para obtener un valor final de la rugosidad. El US Geological Survey (USGS) modifica el método de Cowan y lo publica en una guía para la selección de la rugosidad del cauce como método de Cowan modificado (Arcement y Schneider, 1990). Este método expresa el coeficiente de rugosidad como:

$$n = (n0 + n1 + n2 + n3 + n4)\, n5$$

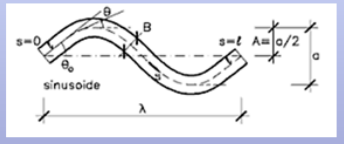
ESTUDIOS DE PARÁMETROS BÁSICOS:

Hidráulica → RUGOSIDAD

$$Q = V * S \qquad V = \frac{I_0^{1/2} . R_h^{2/3}}{n}$$

*n = (n0+ n1+ n2+ n3+ n4) * n5*

n0: valor base para cauces rectos y uniformes.
n1: valor adicional por la irregularidad en la sección recta.
n2: valor adicional por variaciones en el cauce.
n3: valor adicional por obstrucciones.
n4: valor adicional por vegetación.
n5: factor multiplicador por sinuosidad.



IMPRESCINDIBLE → justificación del valor adoptado, utilizando sobretodo documentación gráfica (ortofotos, coberturas de rugosidad, reportaje fotográfico etc.) → SIG

Tipo de cauce y descripción	Valor de *n*		
	Mínimo	Normal	Máximo
A. Conductos cerrados que fluyen parcialmente llenos			
A1) Metal			
a) Latón liso	0.009	**0.010**	0.013
b) Acero			
Estriado y soldado	0.010	0.012	0.014
Ribeteado y en espiral	0.013	0.016	0.017
c) Hierro fundido			
Recubierto	0.010	0.013	0.014
No recubierto	0.011	0.014	0.016
d) Hierro forjado			
Negro	0.012	0.014	0.015
Galvanizado	0.013	0.016	0.017
e) Metal corrugado			
Subdrenaje	0.017	0.019	0.021
Drenaje de aguas lluvias	0.021	**0.024**	0.030
A2) No metal			
a) Lucita	0.008	0.009	0.010
b) Vidrio	0.009	**0.010**	0.013
c) Cemento			
Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
Mortero	0.011	0.013	0.015
d) Concreto			
Alcantarilla, recta y libre de basuras.	0.010	0.011	0.013
Alcantarilla con curvas, conexiones y algo de basuras.	0.011	**0.013**	0.014
Bien terminado.	0.011	0.012	0.014
Alcantarillado de aguas residuales, con pozos de inspección, entradas, etc., recto.	0.013	0.015	0.017
Sin pulir, formaleta y encofrado metálico.	0.012	0.013	0.014
Sin pulir, formaleta y encofrado en madera lisa.	0.012	**0.014**	0.016
Sin pulir, formaleta o encofrado en madera rugosa.	0.015	0.017	0.020
e) Madera			
Machihembrada	0.010	0.012	
Laminada, tratada	0.015	0.017	
f) Arcilla			
Canaleta común de baldosas.	0.011	**0.013**	0.017
Alcantarilla vitrificada.	0.011	0.014	0.017
Alcantarilla vitrificada con pozos de inspección, entradas, etc.	0.013	0.015	0.017
Subdrenaje vitrificado con juntas abiertas.	0.014	0.016	0.018

g) Mampostería en ladrillo			
Barnizada o lacada	0.011	0.013	0.015
Revestida con mortero de cemento	0.012	0.015	0.017
h) Alcantarillados sanitarios recubiertos con limos y babas de aguas residuales, con curvas y conexiones.	0.012	0.013	0.016
i) Alcantarillado con batea pavimentada, fondo liso.	0.016	0.019	0.020
j) Mampostería de piedra, cementada.	0.018	0.025	0.030
B) Canales revestidos o desarmables			
B1) Metal			
a) Superficie lisa de acero			
Sin pintar	0.011	**0.012**	0.014
Pintada	0.012	0.013	0.017
b) Corrugado	0.021	0.025	0.030
B2) No metal			
a) Cemento			
Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
Mortero	0.011	0.013	0.015
b) Madera			
Cepillada, sin tratar.	0.010	0.012	0.014
Cepillada, creosotada	0.011	0.012	0.015
Sin cepillar	0.011	0.013	0.015
Láminas con listones.	0.012	0.015	0.018
Forrada con papel impermeabilizante	0.010	0.014	0.017
c) Concreto			
Terminado con llana metálica (palustre)	0.011	**0.013**	0.015
Terminado con llana de madera	0.013	0.015	0.016
Pulido, con gravas en el fondo	0.015	0.017	0.020
Sin pulir.	0.014	0.017	0.020
Lanzado, sección buena	0.016	0.019	0.023
Lanzado, sección ondulada	0.018	0.022	0.025
Sobre roca bien excavada	0.017	0.020	
Sobre roca irregularmente excavada	0.022	0.027	
d) Fondo de concreto terminado con llana de madera y con lados de:			
Piedra labrada, en mortero.	0.015	0.017	0.020
Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.017	0.020	0.024
Mampostería de piedra cementada, recubierta	0.016	0.020	0.024
Mampostería de piedra cementada	0.020	0.025	0.030
Piedra suelta o riprap	0.029	0.030	0.035
e) Fondo de gravas con lados de:			
Concreto encofrado	0.017	0.020	0.025
Piedra sin seleccionar, sobre mortero.	0.020	0.023	0.026
Piedra suelta o riprap	0.023	0.033	0.036

f) Ladrillo			
Barnizado o lacado	0.011	**0.013**	0.015
En mortero de cemento	0.012	**0.015**	0.018
g) Mampostería			
Piedra partida cementada	0.017	0.025	0.030
Piedra suelta o riprap	0.023	0.032	0.035
h) Bloques de piedra labrados	0.013	0.015	0.017
i) Asfalto			
Liso	0.013	0.013	
Rugoso	0.016	0.016	
j) Revestimiento vegetal	0.030	...	0.500
C. Excavado o dragado			
a) En tierra, recto y uniforme			
Limpio, recientemente terminado	0.016	0.018	0.020
Limpio, después de exposición a la intemperie.	0.018	**0.022**	0.025
Con gravas, sección uniforme, limpio.	0.022	0.025	0.030
Con pastos cortos, algunas malezas.	0.022	0.027	0.033
b) En tierra, serpenteante y lento			
Sin vegetación.	0.023	0.025	0.030
Pastos, algunas malezas.	0.025	0.030	0.033
Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos.	0.030	0.035	0.040
Fondo en tierra con lados en piedra.	0.028	0.030	0.035
Fondo pedregoso y bancas con maleza.	0.025	0.035	0.040
Fondo en cantos rodados y lados limpios.	0.030	0.040	0.050
c) Excavado con pala o dragado			
Si vegetación.	0.025	0.028	0.033
Matorrales ligeros en las bancas.	0.035	0.050	0.060
d) Cortes en roca			
Lisos y uniformes.	0.025	0.035	0.040
Afilados e irregulares.	0.035	0.040	0.050
e) Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar			
Malezas densas, tan altas como la profundidad del flujo.	0.050	0.080	0.120
Fondo limpio, matorrales en los lados.	0.040	0.050	0.080
Igual, nivel máximo del flujo.	0.045	0.070	0.110
Matorrales densos, nivel alto	0.080	0.100	0.140

D. Cauces naturales menores (ancho superior a nivel de crecida menor que 30 m)			
D1) Cauces en planicie			
1) Limpio, recto, nivel lleno, sin fallas o pozos profundos	0.025	**0.030**	0.033
2) Igual que arriba pero más piedras y pastos	0.030	0.035	0.040
3) Limpio, curvado, algunos pozos y bancos	0.033	0.040	0.045
4) Igual que arriba pero algunos pastos y piedras	0.035	0.045	0.050
5) Igual que arriba, niveles más bajos, pendiente y secciones más inefectivas	0.040	0.048	0.055
6) Igual que 4, pero más piedras	0.045	0.050	0.060
7) Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
8) Tramos con muchos pastos, pozos profundos o recorridos de la crecida con mucha madera o arbustos bajos	0.075	0.100	0.150
D2) Cauces de montaña, sin vegetación en el canal, laderas con pendientes usualmente pronunciadas, árboles y arbustos a lo largo de las laderas y sumergidos para niveles altos			
1) Fondo: grava, canto rodado y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2) Fondo: canto rodado y algunas rocas	0.040	0.050	0.070
E) Cauces con planicie crecida			
1) Pastos, sin arbustos			
· Pastos cortos	0.025	0.030	0.035
· Pastos altos	0.030	0.035	0.050
2) Áreas cultivadas			
· Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
· Cultivos maduros alineados	0.025	0.035	0.045
· Campo de cultivos maduros	0.030	0.040	0.050
3) Arbustos			
· Arbustos escasos, muchos pastos	0.035	0.050	0.070
· Pequeños arbustos y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
· Pequeños arbustos y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
· Arbustos medianos a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
· Arbustos medianos a densos, en verano	0.070	0.100	0.160

4) Arboles			
· Sauces densos, en verano, y rectos	0.110	0.150	0.200
· Tierra clara con ramas, sin brotes	0.030	0.040	0.050
· Igual que arriba pero con gran crecimiento de brotes	0.050	0.060	0.080
· Grupos grandes de madera, algunos árboles caídos, poco crecimiento inferior y nivel de la inundación por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
· Igual que arriba, pero con el nivel de inundación alcanzando las ramas	0.100	0.120	0.160
F) Cursos de agua importantes (ancho superior a nivel de inundación mayor que 30 m). Los valores de *n* son menores que los de los cursos menores de descripción similar, ya que las bancas ofrecen menor resistencia efectiva.			
1) Sección regular sin rocas y arbustos	0.025	-	0.060
2) Sección irregular y áspera	0.035	-	0.100

Efecto	Factor	Condición	Valor	Comentario
Irregularidad en la sección recta	n_1	Suave Pequeña Moderada Fuerte	0 0.001 - 0.005 0.006 - 0.010 0.011 - 0.020	Canal muy liso Bancas algo erodadas Lecho y bancas rugosas Bancas muy irregulares
Variaciones en el cauce	n_2	Gradual Alternado ocasionalmente Alternando frecuentemente	0 0.001 - 0.005 0.010 - 0.015	Cambios graduales Cambios ocasionales de secciones pequeñas a grandes Cambios frecuentes en la forma de la sección recta
Obstrucciones	n_3	Despreciables Pocas Algunas Muchas	0 – 0.004 0.005 - 0.015 0.020 - 0.030 0.040 - 0.060	Obstrucción menor que el 5% de la sección recta Obstrucción entre el 5% y el 15% de la sección recta Obstrucción entre el 15% y el 50% de la sección Obstrucción mayor que el 50%
Vegetación	n_4	Poca Mucha Bastante Excesiva	0.002 - 0.010 0.010 - 0.025 0.025 - 0.050 0.050 - 0.100	Profundidad del flujo mayor que 2 veces la altura de la vegetación Profundidad del flujo mayor que la altura de vegetación Profundidad del flujo menor que la altura de vegetación Profundidad del flujo menor que 0.5 la altura de la vegetación
Sinuosidad	n_5	Pequeña Media Fuerte	1.00 1.15 1.30	Sinuosidad < 1.2 1.2 < sinuosidad < 1.5 Sinuosidad > 1.5

ANÁLISIS DE AFECCIONES

1 Daños materiales ocasionados por la rotura

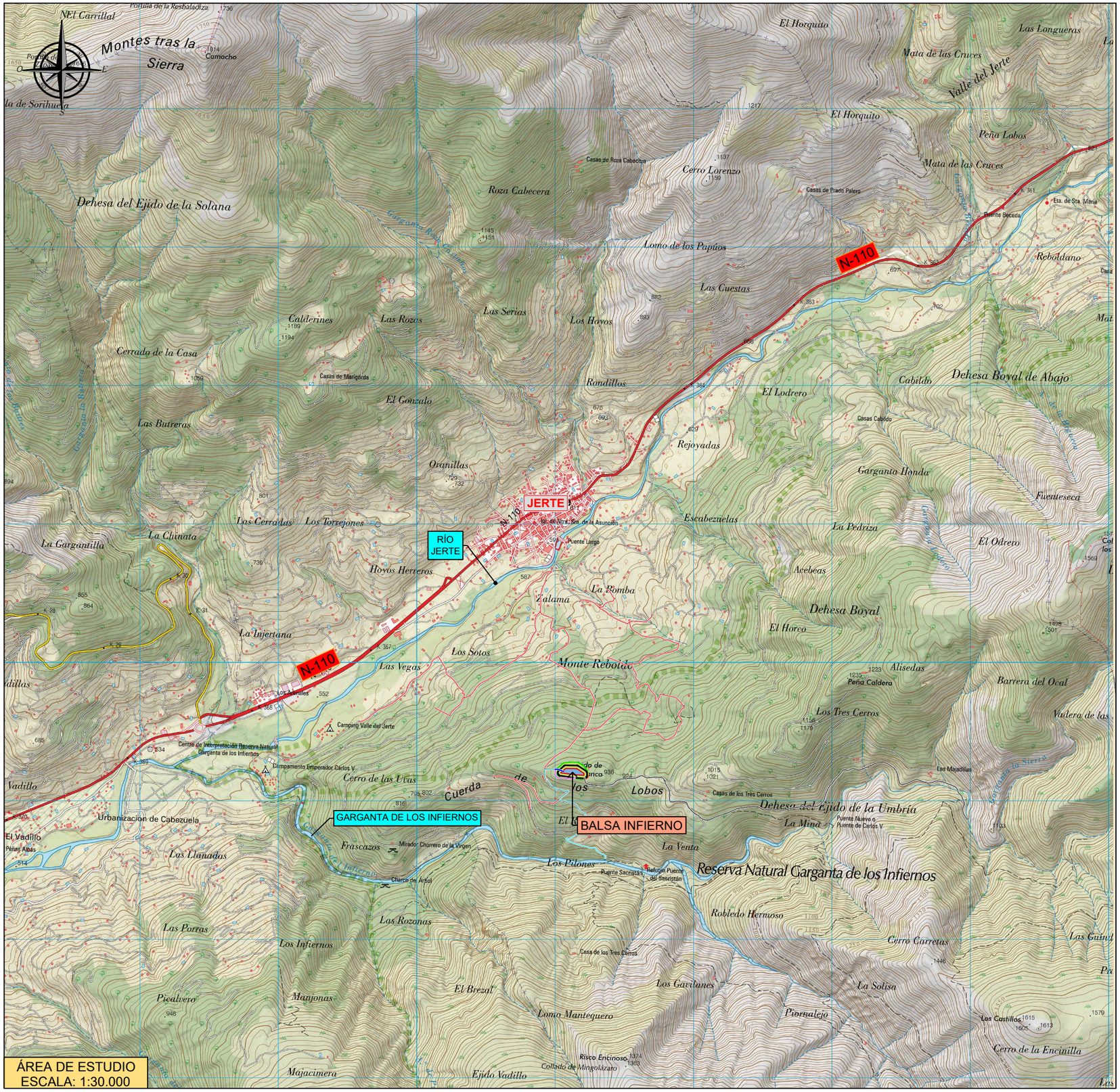
1.1 Escenario sin avenida

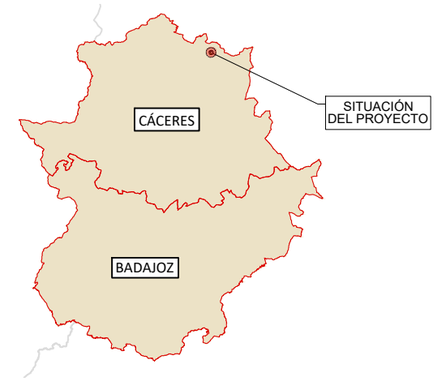
IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA AFECCIÓN POTENCIAL									RESULTADOS DEL MODELO HIDRÁULICO						CLASIFICACIÓN DEL DAÑO	
Nº	Denominación	Tipo de elemento afectado	Distancia a la presa (km)	Cauce	Margen	Coordenadas UTM		Cota (msnm)	Caudal máximo (m^3/s)	Cota máxima de agua (msnm)	Tiempo de llegada onda (h:mm)	Tiempo valores máximos (h:mm)	Calado máximo (m)	Velocidad máxima (m/s)	Grado de afección	Daños potenciales
						X	Y									
1	Hotel rural	Vivienda aislada	1,462	-	-	265.590	4.455.300	585,23	3,12	585,94	0:05	0:07	0,71	4,4	Grave	Importantes

1.2 Escenario límite

IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA AFECCIÓN POTENCIAL									RESULTADOS DEL MODELO HIDRÁULICO						CLASIFICACIÓN DEL DAÑO	
Nº	Denominación	Tipo de elemento afectado	Distancia a la presa (km)	Cauce	Margen	Coordenadas UTM		Cota (msnm)	Caudal máximo (m^3/s)	Cota máxima de agua (msnm)	Tiempo de llegada onda (h:mm)	Tiempo valores máximos (h:mm)	Calado máximo (m)	Velocidad máxima (m/s)	Grado de afección	Daños potenciales
						X	Y									
1	Hotel rural	Vivienda aislada	1,462	-	-	265.590	4.455.300	585,23	3.33	585,97	0:04	0:05	0,74	4,5	Grave	Importantes

PLANOS





COMUNIDAD EXTREMADURA
ESCALA: 1:5.000.000



PROVINCIA DE CÁCERES
ESCALA: 1:3.000.000

ÍNDICE DE PLANOS	
Nº PLANO	DESIGNACIÓN
1	SITUACIÓN E ÍNDICE
2	LOCALIZACIÓN DE LA BALSA Y RED HIDROGRÁFICA
3	MODELO DIGITAL DEL TERRENO
4	RUGOSIDAD
5	IDENTIFICACIÓN DE AFECCIONES
6	ESCENARIO SIN AVENIDA
6.1	MAPA DE CALADOS MÁXIMOS
6.2	MAPA DE VELOCIDADES MÁXIMAS
7	ESCENARIO LÍMITE
7.1	MAPA DE CALADOS MÁXIMOS
7.2	MAPA DE VELOCIDADES MÁXIMAS

Referencia geográfica. Sistema de coordenadas

Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU
GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN
seiasa
JUNTA DE EXTREMADURA Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Población y Territorio
UNIÓN EUROPEA Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural

PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL RIESGO POTENCIAL DE ROTURA DE LA BALSA INFIERNO UBICADA EN EL T.M. DE JERTE (CACERES)

Escala: INDICADAS
FORMATO ORIGINAL UNE A-3

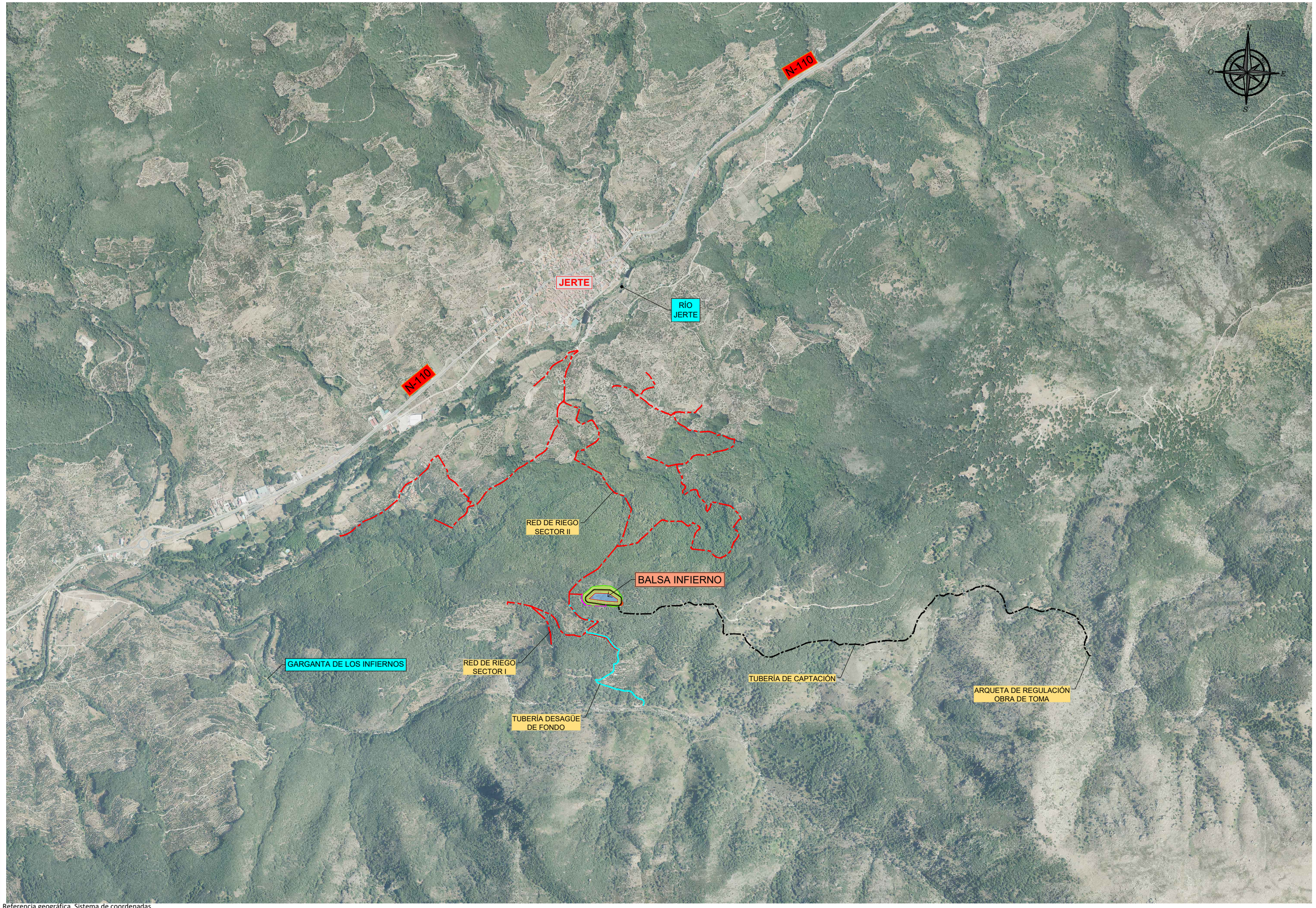
Fecha: JUNIO 2023

Autores del Proyecto:
Tragsatec
Antonio Luque Palma, Ingeniero Agrónomo
José A. López Rascón, Ingeniero Técnico Agrícola. Nº Colegiado 5.081; Ingeniero Técnico de O.P. Nº Colegiado 23.787
Antonio P. Romero Gandullo, Ingeniero de Montes. Nº Colegiado 4.021; Ingeniero de CCP. Nº Colegiado 28.112
Javier Merino Crespín, Ingeniero Agrónomo. Nº Colegiado 2.382; Ingeniero Civil. Nº Colegiado 19.615

SITUACIÓN E ÍNDICE

Nº 1

Hoja nº: 1 DE 1



Referencia geográfica. Sistema de coordenadas

Financiado por la Unión Europea
NextGenerationEU

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN

seiasa

JUNTA DE EXTREMADURA
Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Población y Territorio
UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural

PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL RIESGO POTENCIAL DE ROTURA DE LA BALSA INFIERNO UBICADA EN EL T.M. DE JERTE (CACERES)

Escala:
0 200 400
Escala 1:20.000
FORMATO ORIGINAL UNE A-3

Fecha:
JUNIO 2023

Autores del Proyecto:
Tragsatec
Antonio Luque Palma
Ingeniero Agrónomo
José A. López Rastrollo
Ingeniero Técnico Agrícola Nº Colegiado 5.081
Ingeniero Técnico de O.P. Nº Colegiado 23.767
Antonio P. Romero Gandullo
Ingeniero de Montes. Nº Colegiado 4.521
Ingeniero de CCP. Nº Colegiado 28.112
Javier Merino Crespín
Ingeniero Agrónomo. Nº Colegiado 2.382
Ingeniero Civil. Nº Colegiado 19.615

LOCALIZACIÓN DE LA BALSA Y RED HIDROGRÁFICA

Nº 2

Hoja nº:
1 DE 1