APÉNDICE 3.- PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN BALSA ROBRES INFERIOR

ANÁLISIS DEL RIESGO Y PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN

1 OBJETO 2
2 NORMATIVA EMPLEADA 2
3 CARACTERÍSTICAS DE LA BALSA 3
3.1 CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LA BALSA 3
3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS 3
3.2.1 TOMA DE FONDO 3
3.2.2 ALIVIADERO 3
3.2.3 CORONACIÓN 4
3.2.4 GEOTEXTILES DE LA BALSA 4
3.2.5 CAPACIDAD DE EMBALSE 5
3.2.6 RED DE DRENAJE 5
3.3 DESAGÜE DE FONDO 5
3.4 PLANOS DE LA BALSA 6
4 METODOLOGÍA 7
4.1 CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN 7
4.2 ESCENARIOS A ANALIZAR 7
4.3 USO DE MODELOS HIDRÁULICOS BIDIMENSIONALES 7
4.3.1 MÉTODO DE CÁLCULO DE ROTURA DE PRESA 8
4.3.2 MÉTODO DE CÁLCULO DE PROPAGACIÓN DE LA AVENIDA 9
4.3.3 METODOLOGÍA DE CÁLCULO PARA LOS PASOS/CAÑOS. 15
4.4 CARTOGRAFÍA EMPLEADA 19
4.5 RUGOSIDAD APLICADA 19
5 POSIBLES ESCENARIOS DE ROTURA 20
6 ESCENARIO DE ROTURA INDIVIDUAL SIN AVENIDA N.A.M.O. 21
6.1 PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN 21
6.1.1 CONDICIONES INICIALES 21
6.1.2 CONDICIONES DE CONTORNO 21
6.1.3 PARÁMETROS DE TIEMPO 22
6.1.4 CARACTERISTICAS DE LA BRECHA DE LA ROTURA 22
6.2 RESULTADOS DE LA ROTURA 23
6.2.1 HIDROGRAMA DE LA ROTURA 23
6.2.2 LLANURA DE INUNDACIÓN 24
6.2.3 AFECCIONES 25
6.3 PLANOS DEL ANÁLISIS DE LA AVENIDA 28
7 ESCENARIO DE ROTURA INDIVIDUAL A CORONACIÓM 29
7.1 PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN 29
7.1.1 CONDICIONES INICIALES 29
7.1.2 CONDICIONES DE CONTORNO 29
7.1.3 PARÁMETROS DE TIEMPO 30
7.1.4 CARACTERISTICAS DE LA BRECHA DE LA ROTURA 30
7.2 RESULTADOS DE LA ROTURA 31
7.2.1 HIDROGRAMA DE LA ROTURA 31
7.2.2 LLANURA DE INUNDACIÓN 32
7.2.3 AFECCIONES 33
7.3 PLANOS DEL ANÁLISIS DE LA AVENIDA 37
8 PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN 37

ANEXO 1.- REPORTAJE FOTOGRÁFICO

ANEXO 2.- PLANOS: CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

ANEXO 3.- PLANOS: ANÁLISIS DE LA AVENIDA

ANEXO 4.- TABLA DE AFECCIONES

PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL RIESGO POTENCIAL ANTE LA ROTURA DE LA "BALSA INTERMEDIA ROBRES" DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DE COLLARADA (HUESCA).

TITULAR: SEIASA

DIRECCIÓN: C/JOSE ABASCAL,4-6ª PLANTA, 28003 MADRID

D. VÍCTOR MORALES GODOY, DOMICILIADO EN C/JOSE ABASCAL,4-6ª PLANTA, 28003 MADRID, CON DNI Nº12.375.665-D, ACTUANDO EN NOMBRE DE SEIASA COMO DIRECTOR TÉCNICO:

EXPONE

En cumplimiento del articulo 3.5.1.3 de la Directriz básica de Planificación de la Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, aprobada por el acuerdo de Consejo de Ministros el día 9 de diciembre de 1994 y publicada en el Boletín Oficial del Estado de fecha 14 de febrero de 1995, se propone que LA "BALSA INTERMEDIA ROBRES" DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DE COLLARADA (HUESCA) sea clasificada como **Categoría C**

En madrid a noviembre 2023

Fdo.: Victor Morales Godoy
Director Técnico

1 OBJETO

El presente anejo tiene como objeto cumplir con los requerimientos de clasificación en función del riesgo potencial derivado de la balsa intermedia al supererar los límites establecidos de un dique exterior mayor de 5 metros y una capacidad de más de 100.000 m^3.

2 NORMATIVA EMPLEADA

A continuación, se hace una breve exposición de la normativa empleada para la redacción de la presente propuesta de clasificación:

- La Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones (en adelante Directriz), aprobada por Acuerdo del Consejo de Ministros del día 9 de diciembre de 1994, establece en su Art. 3.5.1.3 la obligatoriedad de que las presas se clasifiquen en categorías en función del riesgo potencial que pueda derivarse de su rotura o funcionamiento incorrecto. Asimismo, se definen en ella los criterios fundamentales de clasificación, el procedimiento a seguir y determinadas obligaciones que, para los titulares de presas, se derivan de la categoría asignada.
- Por otra parte, la Orden Ministerial de 12 de marzo de 1996, por la que se aprobó el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses (en adelante RTSPE), establecía en su disposición previa quinta que los titulares o concesionarios de todas las presas en servicio, independientemente de su titularidad dentro del ámbito de competencias del Estado, debían presentar a la Dirección General de Obras Hidráulicas (hoy Dirección General del Agua) la propuesta razonada de clasificación frente al riesgo en los términos previstos por la Directriz y el RTSPE, que en su Art. 3.2 definía las categorías de clasificación en función del riesgo potencial de forma idéntica que la Directriz.
- Los criterios de clasificación tenían un carácter descriptivo y general, por lo que se hacía necesario desarrollarlos de forma que las resoluciones de clasificación de presas se pudieran dictar con criterios objetivos, de fácil aplicación y homogéneos para todas las presas. Por esos motivos, la entonces Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas publicó en el año 1996 la Guía Técnica para la Clasificación de Presas en función del riesgo potencial, que tenía por objeto desarrollar los criterios de clasificación de presas establecidos en la Directriz y en el RTSPE y plantear con carácter orientativo una metodología general de aplicación y el contenido mínimo de la información que había de acompañar a las propuestas de clasificación, todo ello con la finalidad de que las Resoluciones de clasificación de presas se preparasen y se dictasen de manera homogénea y coordinada.
- Por otro lado, el Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (en adelante RDPH), añade un nuevo Título VII dedicado a la seguridad de presas, embalses y balsas, introduciendo importantes novedades en la materia como la creación de un Registro de Seguridad de Presas y Embalses, la implantación de las Normas Técnicas de Seguridad, o el establecimiento de una serie de obligaciones a los titulares, entre las que destaca la de solicitar la clasificación, en función de las dimensiones y del riesgo potencial, de todas aquellas presas y balsas de altura superior a 5 metros o de capacidad de embalse mayor de 100.000 m3 (Art. 367.1 del RDPH).
- Con la entrada en vigor del Real Decreto 264/2021, de 13 de abril, por el que se aprueban las Normas Técnicas de Seguridad para las presas y sus embalses, publicado en el Boletín Oficial del Estado el día 14 de abril de 2021, dichas normas han pasado a constituir la normativa de referencia en materia de seguridad y explotación de presas en nuestro país, sustituyendo a la Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas y al mencionado RTSPE.
    - El Art. 4 del Real Decreto 264/2021 establece la obligatoriedad por parte de los titulares de las presas y embalses a los que se refiere el Art. 367.1 del RDPH, de solicitar su clasificación atendiendo al doble criterio de sus dimensiones y al riesgo potencial derivado de su rotura o funcionamiento incorrecto. La propuesta de clasificación deberá justificarse de acuerdo con los criterios establecidos en 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 (en adelante NTS1), recogida en el Anexo I del mencionado Real Decreto.
        - La NTS1 dedica su Capítulo II a la clasificación de presas, y en él se desarrollan los criterios básicos para proceder a la clasificación de las presas, atendiendo tanto a sus dimensiones como al riesgo potencial derivado de su rotura o funcionamiento incorrecto.
- En consonancia con el RD 264/2021 se redacta la "Guía Técnica para la Clasificación de Presas" publicada en noviembre de 2021 por la Dirección General del Agua pertenenciente al Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico.

3 CARACTERÍSTICAS DE LA BALSA

3.1 CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LA BALSA

A. IDENTIFICACIÓN DE LA PRESA Y DEL TITULAR		
Denominación	Balsa Intermedia Robres de la Comunidad de Regantes de COLLARADA	
Titular	S.E.I.A.S.A.	
Datos del titular	C/ José Abascal nº4, 6ª planta. 28003 Madrid Teléfono: 917 81 36 87	
B. SITUACIÓN		
Cuenca hidrográfica	Ebro	
Cauce	Canal de monegros	
Provincia	Huesca	
Comunidad Autónoma	Aragón	
Situación	Coordenadas UTM30: X = 713.278,16 Y =4.636.454,87	
Plano de situación	324-III del Mapa Topográfico Nacional de España a escala 1:25.000.	
C. CARACTERISTICAS		
Tipología de la presa	Balsa de materiales sueltos procedente de excavación compactados 98% del Próctor modificado.	
Tipología del aliviadero	Labio de vertido a 1 nivel	
Cota de coronación (m.s.n.m)	425,00	
Cota del aliviadero (m.s.n.m)	424,00	
Cota Pie de Talud (m.s.n.m)	414,30	
Cota de fondo Embalse (m.s.n.m)	417,00	
Altura de Presa (m)	10,70 + 0,3 (cimiento) = 11,00 (P.K. 0+125)	
Longitud coronación (m)	536,39	
Cota de agua (N.A.M.O.) (m.s.n.m)	424,00	
Cota de agua Coronación (m.s.n.m)	425,00	
Organos de desagüe	Aliviadero	1.270 l/s
	Desagüe de Fondo	1.854 l/s
D. CARACTERISTICAS DEL EMBALSE		
Volumen de agua (N.A.M.O.) (m^3)	97.536	
Volumen de agua (Coronación) (m^3)	116.362	
E. CARACTERISTICAS HIDROLÓGICAS		
Hidrograma de entrada y laminado	No procede, no es una presa.	

3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS

La balsa objeto de la presente clasificación será ejecutada a raíz de los trabajos relativos al "PROYECTO DE MODERNIZACIÓN INTEGRAL DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA 1ªSECCIÓN (HUESCA)".

La balsa intermedia de Robres se encuentra situada en el polígono 508 del término municipal de Robres. La balsa intermedia recibe el agua desde la estación de bombeo y abastece a la red baja de Robres.

La balsa se compone de un dique perimetral con materiales procedentes de la excavación adecuadamente compactados eliminado tanto el material vegetal como los rellenos antrópicos, impermeabilizándose mediante lámina de PEAD y geotextil.

Las características constructivas de la balsa de regulación se recogen en los siguientes subapartados.

3.2.1 TOMA DE FONDO

La infraestructura de toma de fondo propiamente dicha de la balsa corresponderá con el punto de suministro a la red baja de Robres.

Para el dimensionado de la Toma de Fondo, se ha tenido en cuenta tanto el caudal de abastecimiento a la red de riego en la situación de diseño, como el caudal de bombeo. En este caso el caudal de cabecera para el funcionamiento de la red es 1.086 l/s y el caudal máximo de bombeo es de 1.069 l/s.

La Toma de Fondo estará formada por una tubería de acero helicosoldado con diámetro de 1016 mm y espesor de 10 mm, con un régimen de funcionamiento en carga, que unirá el fondo de la Balsa con la red de riego.

La cota de captación de la Toma de Fondo será de 417 msnm.

3.2.2 ALIVIADERO

Para el diseño y dimensionamiento de esta infraestructura se considerará como hipótesis de trabajo aquella en la que la balsa se encuentre a su máxima capacidad, es decir, la lámina de agua

se encuentre en el Nivel de Almacenamiento Máximo Ordinario (en adelante NAMO), se esté derivando a la misma el caudal de llenado anteriormente indicado y, además, se esté produciendo en ese instante un episodio de lluvia torrencial.

Conocido el caudal de diseño, únicamente nos queda por determinar el caudal debido a la lluvia. Así, según el Manual Técnico Núm. 2 "Diseño y construcción de Pequeños Embalses" editado en 1.986 por el Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación) se puede tomar como valor de la máxima precipitación horaria probable el 40 % de la máxima precipitación diaria correspondiente al mismo periodo de retorno.

Para calcular la máxima lluvia diaria para un periodo de retorno considerado de 50 años se ha utilizado la serie monográfica "Máximas lluvias diarias en la España peninsular" del Ministerio de Fomento.

Así pues, se obtiene una lluvia máxima en una hora de 37,19 mm.

Superficie interior ..... 19.487 m^2
Lluvia considerada ..... 37,19 mm/h
Caudal a desalojar ..... 201 l/s

Teniendo en cuenta esto, el caudal considerado en este caso para el dimensionamiento del aliviadero será de 1.270 l/s, obtenido de la suma del caudal de llenado (1.069 l/s) y del caudal resultante de la lluvia considerada (201 l/s).

Los cálculos de este aliviadero se recogen a continuación, mediante la siguiente expresión:

$$Q_i = 1{,}82 \cdot L \cdot (h)^{\frac{3}{2}}$$

donde h es la elevación de la lámina de agua sobre el labio vertiente del aliviadero y L la longitud de dicho labio vertiente.

A continuación, se recoge las características y el resultado de los cálculos realizados, para distintas longitudes de labio de vertido:

	Q (m^3/s)	L (m)	h (m)
Aliviadero	1,270	5	0,27
	1,270	6	0,24
	1,270	7	0,22

Se adopta el criterio de considerar un labio de 6 m. de longitud, con lo que el Nivel de Almacenamiento Máximo Extraordinario (NAME) queda fijado con una altura de vertido de 0,24 m., es decir, a la cota 424,24 msnm.

La tubería que evacuará el agua de alivio será de Acero Helicosoldado DN 711 de 7,9 mm de espesor (en el primer tramo bajo del dique) y tras este tramo se inicia un tramo que se realiza con tubería de PRFV DN 700 mm.

El vertido de esta tubería se realiza una distancia de 136 m de la balsa, en una zona en la que la pendiente del terreno resulta favorable para el desagüe en caso necesario. En la obra de salida se instalará una reja que evite la entrada de animales a la balsa a través del aliviadero.

3.2.3 CORONACIÓN

En la coronación se aplicará una capa de 0,20 m de material granular Z30 compactada al 98% PM, con pendiente al exterior del 2% a fin de que haga la función de camino de servicio a lo largo de todo el perímetro.

Se proyecta finalmente la anchura de coronación de 5,00 m, ya que las características del terreno permiten realizar una anchura de coronación mayor.

3.2.4 GEOTEXTILES DE LA BALSA

El sistema de impermeabilización de la balsa (fondo y taludes), consta de una geomembrana de polietileno de alta densidad de 2,0 mm, siendo sus caras lisas y un geotextil de 285 gr/m2, cuya función es separar, drenar, filtrar y proteger a la geomembrana de una posible perforación, debido a la presencia de cantos en el terreno del vaso de la balsa.

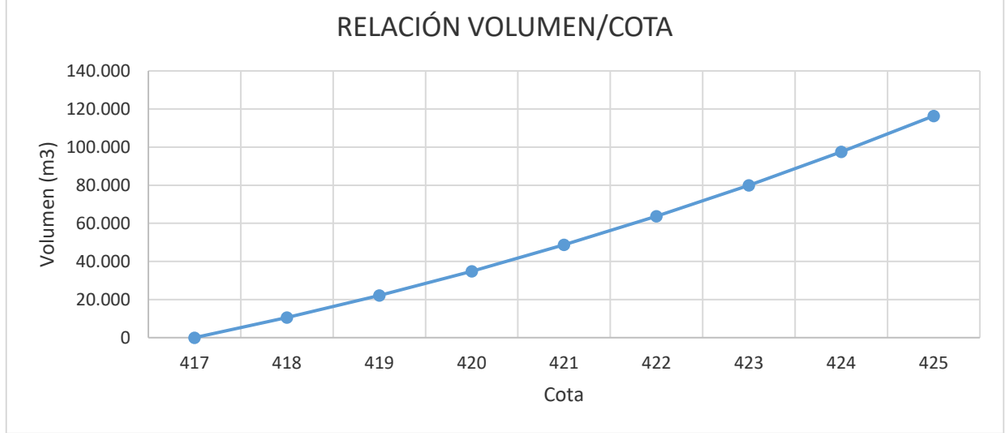
3.2.5 CAPACIDAD DE EMBALSE

Para determinan la capacidad de la balsa se realiza la semisuma del producto resultante de la sección que posee la balsa interiormente por la diferencia de cota que existe entre dichas secciones.

En la siguiente tabla, se muestra el resultado de dicha cubicación:

PERFIL	COTA (m)	SUPERFICIE (m2)	SEMISUMA (m2)	DISTANCIA (m)	VOLUMEN (m3)	VOL, Acumulado (m3)
1	417,00	10.015,85				0,00
2	418,00	11.062,31	10.539,08	1,00	10.539,08	10.539,08
3	419,00	12.148,04	11.605,17	1,00	11.605,17	22.144,25
4	420,00	13.273,04	12.710,54	1,00	12.710,54	34.854,79
5	421,00	14.437,31	13.855,17	1,00	13.855,17	48.709,96
6	422,00	15.640,84	15.039,07	1,00	15.039,07	63.749,04
7	423,00	16.883,65	16.262,25	1,00	16.262,25	80.011,28
8	424,00	18.165,73	17.524,69	1,00	17.524,69	97.535,98
9	425,00	19.487,08	18.826,41	1,00	18.826,41	116.362,38
			TOTAL CORO			**116.362,38**
			TOTAL NAMO			**97.535,98**

A continuación, se incorporan las gráficas volumen-cota y superficie-cota:



3.2.6 RED DE DRENAJE

En este caso, el caudal máximo de entrada es de 1065 l/s, por lo que los drenajes deberían dimensionarse para una capacidad máxima de un 5%, es decir 53 l/s.

La red de drenaje consta de cuatro drenajes principales, 2 perimetrales y 2 centrales, de PVC ranurado DN 200 que permiten una sectorización de la balsa. Los drenajes vierten de forma individual a la arqueta correspondiente que, al ser registrable, permite ubicar las posibles fugas.

Estos drenajes confluyen en un único punto junto a la toma de fondo, en la parte interior de la balsa, para cruzar el dique de la balsa en cuatro tuberías, una por cada uno de los drenajes. Una vez cruzan la balsa, estas descargarán en la arqueta de desagüe de fondo. Desde dicha arqueta se proyecta una tubería de PVCO de DN250 PN10 que conectará con la tubería de desagüe descrita anteriormente. Se proyecta una válvula de seccionamiento que permitirá aislar la red de drenaje cuando se proceda al vaciado de la balsa a través de la tubería de desagüe.

3.3 DESAGÜE DE FONDO

Por exigencia de la Subdirección General de Regadíos y economía del agua del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente se deberá dimensionar la infraestructura debe contar con desagüe de fondo y estar dimensionado para que el tiempo máximo de vaciado sea de 24 horas.

Tras el estudio de las diferentes opciones se concluye que la tubería del desagüe de fondo, con longitud 210 metros de longitud, con cota en punto de vertido 404 en la vaguada existente aguas abajo de la balsa, tendrá un desnivel de entre 13 y 20 m.

Atendiendo a este desnivel y la cota variación de la cota de lámina en la balsa se concluye que en una tubería DN 500 el vaciado se realizará en un tiempo inferior a las 24 horas fijadas, por tanto, este será el diámetro elegido para el desagüe de fondo de la balsa.

A continuación, se recogen los tiempos de vaciado según nivel en balsa:

Cota lámina agua	Punto vertido desagüe fondo			Caudal medio	SUPERFICIE	SEMISUMA	VOLUMEN	Tiempo vaciado
	Vel (m/s)	Q (l/s)	Q (m3/h)	(m3/h)	(m2)	(m2)	(m3)	(h)
424	9,44	1854	6674,4		18.165,73			
423	9,19	1804	6494,4	6584,4	16.883,65	17524,69	17.524,69	2,66
422	8,93	1754	6314,4	6404,4	15.640,84	16262,25	16.262,25	2,54
421	8,67	1702	6127,2	6220,8	14.437,30	15039,07	15.039,07	2,42
420	8,4	1649	5936,4	6031,8	13.273,03	13855,17	13.855,17	2,30
419	8,12	1594	5738,4	5837,4	12.148,03	12710,53	12.710,53	2,18
418	7,83	1537	5533,2	5635,8	11.062,30	11605,17	11.605,17	2,06
417	7,46	1465	5274	5403,6	10.015,85	10539,08	10.539,08	1,95
						TOTAL	**97.535,94**	**16,10**

Para atender las necesidades de evacuación se plantea un tramo de acero helicosoldado 508x6,4 mm en la viga de fondo, y hormigón C90 DN 500 en el resto de la infraestructura.

3.4 PLANOS DE LA BALSA

Con el objeto de complementar la descripción de la balsa, en el "Anexo 2. Caracteristicas constructivas de la Balsa" que se adjunta con el presente informe, se incluye una colección de planos extraidos del proyecto constructivo.

- Planta General
- Sección Tipo
- Obra de Entrada y Toma de Fondo
- Aliviadero
- Drenajes

4 METODOLOGÍA

La metodología de aplicación en el proceso de clasificación de presas y balsas se rige en base a la "Guía Técnica para la Clasificación de Presas" publicada en noviembre de 2021 por la Dirección General del Agua pertenenciente al Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico. Esta guía técnica se basa a en lo estipulado en La NTS1, la cual, dedica su capitulo II a la clasificación de presas. En él se desarrollan los criterios básicos para proceder a la clasificación de las presas, atendiendo tanto a sus dimensiones como al riesgo potencial derivado de su rotura o funcionamiento incorrecto.

4.1 CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN

El Real Decreto 264/2021 por el que se aprueban las normas técnicas de seguridad para las presas y sus embalses en su ANEXO I Norma técnica de seguridad, se establece en el apartado 3.2 un primer nivel de clasificación en función de las dimensiones, de esta manera se dividen en dos grandes grupos:

a) Gran presa: aquella cuya altura es superior a 15 metros o la que, teniendo una altura comprendida entre 10 y 15 metros, tiene una capacidad de embalse superior a 1 hectómetro cúbico.

b) Pequeña presa: aquella que no cumpla las condiciones de gran presa.

Posteriormente, en el apartado 3.3 de define una nueva clasificación en función de los riesgos potenciales que pudieren derivarse de su hipotética rotura o funcionamiento incorrecto:

- Categoría A: Presas cuya rotura o cuyo funcionamiento incorrecto puede afectar gravemente a núcleos urbanos o a servicios esenciales, o producir daños materiales o medioambientales muy importantes.

- Categoría B: Presas cuya rotura o cuyo funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños materiales o medioambientales importantes o afectar a un reducido número de viviendas.

- Categoría C: Presas cuya rotura o cuyo funcionamiento incorrecto puede producir daños materiales de moderada importancia y solo incidentalmente pérdida de vidas humanas.

    - En todo caso, a esta última categoría pertenecerán todas las presas no incluidas en las categorías A o B.

4.2 ESCENARIOS A ANALIZAR

Se considerarán distintos escenarios de posibles roturas de la presa, identificando en cada uno de ellos los riesgos potenciales, asignándose como clasificación aquélla que corresponda al escenario más desfavorable. Se considerarán, como mínimo, los siguientes escenarios:

a) Escenario sin avenida. Rotura con el embalse situado en su Nivel máximo normal (de acuerdo con el apartado 6 de la Norma Técnica de Seguridad para el proyecto, construcción y puesta en carga de presas y llenado de embalses).

b) Escenario límite. Embalse en su Nivel máximo normal 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 su rotura.

A efectos de la evaluación de los daños a considerar, se tendrán únicamente en cuenta los incrementales, entendidos éstos como el incremento entre los que se producirían por efecto de la onda de rotura y los que se habrían producido sin la existencia de la presa.

En ambos casos se tendrá en cuenta la posible rotura de presas situadas aguas abajo (efecto dominó).

4.3 USO DE MODELOS HIDRÁULICOS BIDIMENSIONALES

De acuerdo a la"Guía Técnica para la Clasificación de Presas" publicada en noviembre de 2021, el estudio de la propagación aguas abajo de la onda de avenida provocada por la rotura de la presa se llevará a cabo mediante el empleo de modelos hidráulicos de cálculo bidimensional en régimen variable, salvo en aquellos casos en los que la clasificación en la categoría A resulte obvia y pueda por tanto recurrirse al juicio ingenieril o a métodos más simplificados que sirvan para comprobar analíticamente la clasificación prevista y dotar de objetividad y consistencia a apreciaciones que pudieran ser subjetivas.

Por este motivo, para el cálculo de la onda de rotura y su propagación por el cauce aguas abajo, se empleará el programa informático HEC-RAS 5.0.5:

- The U.S. Army Corps of Engineers River Analysis System (HEC-RAS) es un software desarrollado en el Hydrologic Engineering Center (HEC), una división del Institute for Water Resources (IWR) del Cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, que permite simular flujos hidráulicos en una o dos dimensiones.

- El programa, obtiene el hidrograma necesario para la modelización de la llanura de inundación gracias a la modelización de la brecha en cierto punto de la presa a lo largo del tiempo. Este hidrograma se hace circular aguas abajo gracias a las ecuaciones de Navier-Strokes aplicando como condicionantes diferentes factores como son la topografía y coeficientes de rugosidad de manning, entre otros.

4.3.1 MÉTODO DE CÁLCULO DE ROTURA DE PRESA

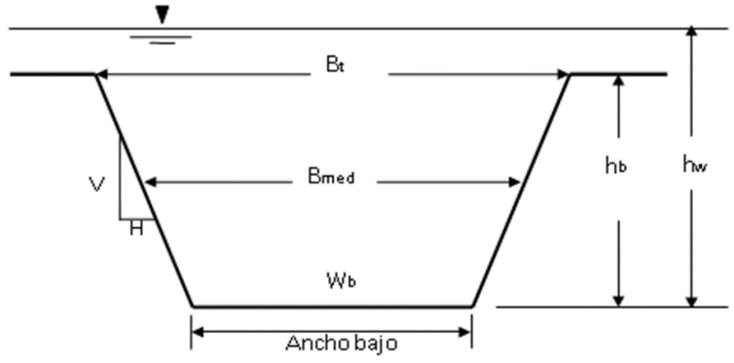
HEC-RAS puede utilizar para calcular un hidrograma de inundación generado por un vaso mediante modelos 2D de la presa.

El método consiste en que el programa es capaz de determinar la cota de superficie del agua del vaso de la presa en todo momento. Con esta información, la generación progresiva de la apertura de la brecha y el volumen asociado de la presa a cada cota, se determina un hidrograma de salida que a su vez disminuirá los niveles de agua mencionados y por tanto el volumen disponible dentro del vaso modelizado. El hidrograma de salida, se obtiene mediante las ecuaciones de Navier-Stokes que simulan el comportamiento de los fluidos en tres dimensiones. Estas ecuaciones aplican el gradiente generado entre el nivel de agua de la presa y la cota del terreno donde descarga, y, a su vez, la superficie libre generada por la apertura de la brecha para generar un hidrograma en términos de caudales y velocidades. Dichas fórmulas se desarrollan con un mayor grado de detalle en el apartado posterior relativo a la propagación de la inundación (Ecuaciones Hidráulicas).

La estimación de la ubicación de la brecha, el tamaño y el tiempo de desarrollo son cruciales para realizar una estimación precisa de los hidrogramas de salida y la inundación aguas abajo.

El software HEC-RAS requiere que el usuario ingrese la siguiente información para describir una rotura de presa:

- **Forma de la rotura:** El ancho de la brecha se describe como el ancho promedio de la brecha (B_{medio}) en las ecuaciones propuestas por la guía técnica, mientras que HEC-RAS requiere el ancho del fondo de la brecha (Wb) como dato de entrada. La altura de la brecha (hb) es la extensión vertical desde la coronación de la presa hasta la elevación de la cota de fondo o el terreno natural (la más defavorable). Otras publicaciones y ecuaciones también utilizan la altura del agua (hw), que es la extensión vertical desde la superficie máxima del agua hasta la elevación invertida de la brecha. Las pendientes laterales se expresan en unidades de distancia horizontal a cada unidad en la vertical. Las dimensiones de la abertura máxima de la brecha deben determinarse fuera del programa. Con este fin se utilizarán las formulas propuestas por la Guía Técnica.



- **Tiempo de desarrollo de incumplimiento crítico:** HEC-RAS requiere que el usuario ingrese lo que se denomina "tiempo de desarrollo de incumplimiento crítico" o el tiempo en el que se crea la apertura máxima de la brecha. Al igual que ocurre con la introducción de los anchos de la brecha el tiempo debe ser un criterio a introducir y para ello se utilizarán las formulas propuestas por la Guía Técnica.

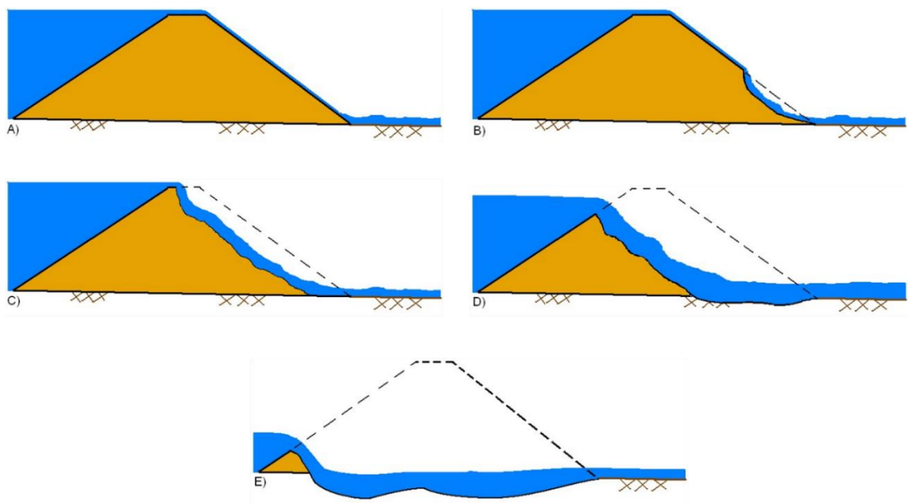
- **Tiempo de activación de la rotura:** Este tiempo se puede describir de la siguiente manera:
  - Mediante el alcance de una cota de la balsa.
  - Mediante el alcance de una cota de la presa + Un tiempo a partir de este hecho.
  - Tiempo fijo determinado.

- **Ubicación de la rotura:** La ubicación de la rotura se basa en muchos factores (tipo y forma de dique, tipo de rotura, modo y fuerza motriz de la rotura). En general, se deben considerar todos los factores relacionados con la presa, incluido cualquier conocimiento histórico de problemas de infiltración y cimientos, y colocar la ubicación de la brecha en la ubicación más probable para cada tipo de falla. El ingeniero deberá determinar cual es la ubicación de la rotura más probable.

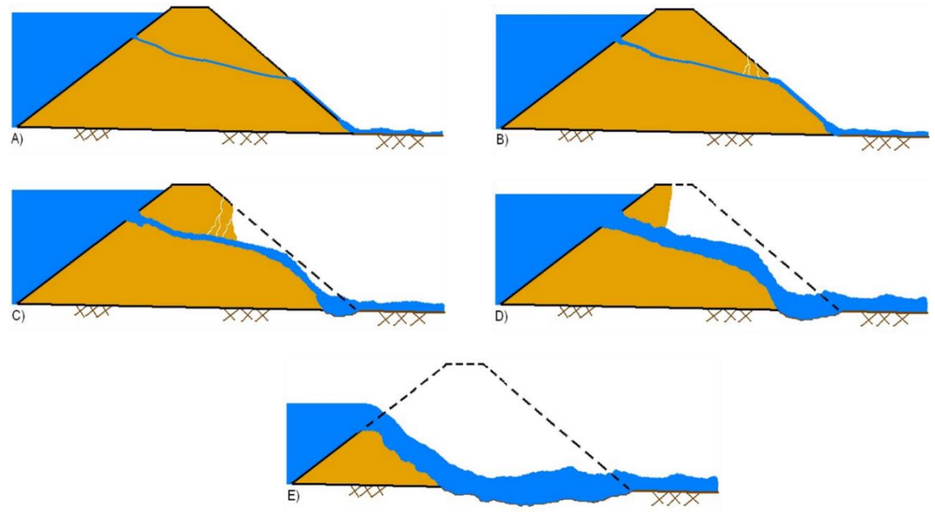
- **Tipo de Rotura:** Si bien los cálculos hidráulicos de HEC-RAS se limitan a los modos de rotura por tubificación (piping) o desbordamiento (overtopping), se puede simular cualquier otro tipo a partir de uno de estos dos métodos. El modo de rotura es el mecanismo para iniciar y aumentar la brecha. Las fallas de desbordamiento comienzan en la parte superior de la presa y crecen hasta la extensión máxima, mientras que un modo de falla de tubería puede comenzar en cualquier elevación / ubicación y crecer hasta la extensión máxima. El tamaño

final de la brecha y el tiempo de formación de la brecha son mucho más críticos en la estimación del hidrograma de salida que el modo de inicio de la rotura en sí mismo.

Evolución de la formación de la brecha por desbordamiento:



Evolución de la formación de la brecha por tubificación:



4.3.2 MÉTODO DE CÁLCULO DE PROPAGACIÓN DE LA AVENIDA

A continación se describe el método utilizado para la propagración de la avenida sobre la malla de cálculo.

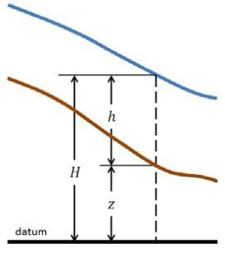
El programa 2D HEC-RAS 5.0.5, utiliza las ecuaciones de Navier-Stokes las cuales describen el movimiento de los fluidos en tres dimensiones. Se supone un flujo incompresible, una densidad uniforme y una presión hidrostática, las ecuaciones se promedian en Reynolds, de modo que el movimiento turbulento se aproxima utilizando la viscosidad de Foucault. También se supone que la escala de longitud vertical es mucho más pequeña que la escala de longitud horizontal. Como consecuencia, la velocidad vertical es pequeña y la presión es hidrostática, lo que lleva a la forma diferencial de las ecuaciones hidráulicas de aguas someras derivadas en las secciones subsiguientes.

En algunos flujos poco profundos, el término de gradiente de presión barotrópica (gravedad) y los términos de fricción inferior (rozamiento del terreno) son los términos dominantes en las ecuaciones de impulso y los términos inestables, advección y viscosos pueden ser ignorados. La ecuación de impulso se convierte entonces en la forma bidimensional de la aproximación de onda de difusión. La combinación de esta ecuación con la conservación de la masa, produce un modelo de una ecuación, conocido como las ecuaciones de Aproximación de Onda Difusiva de las Aguas Poco Profundas (DSW).

Además, para mejorar el tiempo de cálculo, se puede utilizar un enfoque de batimetría de sub-red. La idea detrás de este enfoque es utilizar una cuadrícula computacional relativamente gruesa y una información de escala más fina sobre la topografía subyacente (Casulli, 2008). La ecuación de conservación de masa se discretiza utilizando una técnica de volumen finito. Los detalles de la cuadrícula fina se factorizan como parámetros que representan múltiples integrales sobre volúmenes y áreas de cara. Como resultado, el transporte de masa fluida explica la topografía a una escala más fina dentro de cada celda discreta. Como esta idea se relaciona solo con la ecuación de masa, se puede usar independientemente de la versión de la ecuación de momento. En las siguientes secciones, las ecuaciones de batimetría de sub-cuadrícula se derivan para dos situaciones: Ecuaciones completas en aguas poco profundas (SW) y ecuaciones de onda de difusión (DSW).

Se asumirá que el fondo de la elevación de la superficie inferior viene dada por z (x, y)
La profundidad del agua es h (x, y, t); y la elevación de la superficie del agua es:

- H (x,y,t) = z (x,y) + h (x,y,t)



4.3.2.1 ECUACIONES HIDRÁULICAS

A) <u>Convervación de la masa:</u>

Suponiendo que el flujo es incompresible, la forma diferencial inestable de la ecuación de conservación de masa (continuidad) es:

$$\frac{\partial H}{\partial t}+\frac{\partial(hu)}{\partial x}+\frac{\partial(hv)}{\partial y}+q=0$$

(Ec.1)

donde t es el tiempo, u y v son los componentes de la velocidad en la dirección x e y respectivamente, y q, es un término de flujo fuente / sumidero.

En forma vectorial, la ecuación de continuidad toma la forma:

$$\frac{\partial H}{\partial t}+\nabla \bullet hV+q=0$$

(Ec.2)

donde V = (u, v) es el vector de velocidad y el operador diferencial del (∇) es el vector de los operadores de derivada parcial dado por ∇ = (∂ / ∂x, ∂ / ∂y).

Al integrarse sobre una región horizontal con el vector normal del límite n y usar el teorema de la divergencia de Gauss, se obtiene la forma integral de la ecuación:

$$\frac{\partial}{\partial t}\iiint_{\Omega} d\Omega+\iint_{S} V \bullet ndS+Q=0$$

(Ec.3)

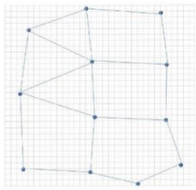
La región volumétrica Ω representa el espacio tridimensional ocupado por el fluido. Los límites laterales vienen dados por S. Q, representa cualquier flujo que atraviese la superficie inferior (infiltración) o la superficie superior del agua de Ω (evaporación o lluvia). El término de flujo fuente / sumidero Q también es conveniente para representar otras condiciones que transfieren masa hacia, dentro o fuera del sistema, como las bombas. Siguiendo las convenciones de signos estándar, los sumideros son positivos y las fuentes negativas.

Esta forma integral de la ecuación de continuidad será apropiada para seguir un enfoque de batimetría de sub-red en las secciones subsiguientes. En este contexto, el volumen representará una celda de volumen finito, y, las integrales, se computarán utilizando información sobre la topografía subyacente.

Topografía y modelo digital utilizado. Los avances modernos en el campo de la detección remota en el aire pueden proporcionar datos topográficos de muy alta resolución. En muchos casos, los datos son demasiado densos para ser utilizados directamente como una cuadrícula para el modelo numérico. Esto presenta un dilema en el cual se debe usar una cuadrícula computacional relativamente gruesa para producir una simulación fluida.

La solución a este problema es el enfoque de batimetría de sub-red (Casulli, 2008). Las celdas de la cuadrícula computacional contienen información adicional, como el radio hidráulico, el volumen y el área de la sección transversal, que se pueden calcular previamente a partir de la batimetría fina. Los detalles de alta resolución se pierden, pero hay suficiente información disponible para que el método numérico más grueso pueda explicar la batimetría fina a través de la conservación de masas. Para muchas aplicaciones, este método es apropiado porque la superficie del agua libre es más suave que la batimetría, por lo que se puede usar una cuadrícula más gruesa para calcular la variabilidad espacial en la elevación de la superficie libre.

En la figura que se presenta a continuación, la cuadrícula fina está representada por la cuadrícula cartesiana en gris y la cuadrícula computacional se muestra en azul.



La integral volumétrica triple de la ecuación anterior representa el volumen Ω de una región delimitada horizontalmente. Suponiendo que es una función de la elevación de la superficie del agua H, el primer término de la ecuación se discretiza como:

$$\frac{\partial}{\partial t}\iiint_{\Omega} d\Omega=\frac{\Omega\left(H^{n+1}\right)-\Omega\left(H^{n}\right)}{\Delta t}$$

(Ec.4)

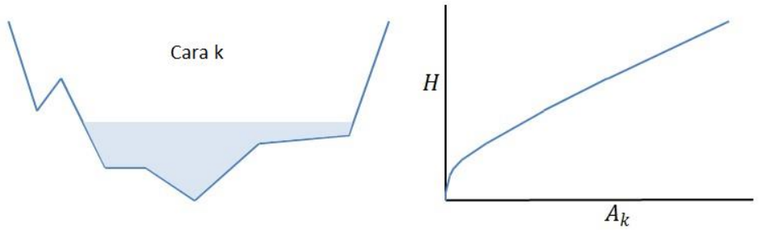
donde los superíndices se utilizan para indexar pasos de tiempo y la diferencia entre dos pasos de tiempo consecutivos es Δt.

Si se supone que las celdas tienen una forma poligonal, la integral doble del límite de la ecuación 3 se puede escribir como una suma sobre las caras verticales de la región volumétrica

$$\int\int V \bullet ndS=\sum V_k \bullet n_k A_k\left(H\right)$$

(Ec.5)

donde V_k y n_k son la velocidad promedio y el vector normal unitario en la cara k y A_k (H) es el área de la cara k en función de la elevación del agua, en el espíritu de la técnica de batimetría de sub-rejilla. En la Figura siguiente, la imagen de la izquierda representa la forma de una cara como se ve en la rejilla fina y la función correspondiente para el área de la cara A_k en términos de la elevación de la superficie del agua H.



Las ecuaciones 4 y 5 se pueden reemplazar de nuevo en la ecuación 3 para obtener la ecuación de conservación de la masa de batimetría de la cuadrícula:

$$\frac{\Omega\left(H^{n+1}\right)-\Omega\left(H^{n}\right)}{\Delta t}+\sum_{k} V_k \bullet n_k A_k\left(H\right)+Q=0 \qquad \text{(Ec.6)}$$

Algunas consideraciones especiales serán necesarias para las células secas. Se observa que en el caso de que el volumen de la celda zero sea cero, las celdas secas permanecen secas hasta que obtienen una ganancia de volumen al equilibrar un flujo de entrada de una de sus caras o del término fuente.

B) <u>Convervación del momento:</u>

Cuando las escalas de longitud horizontal son mucho más grandes que la escala de longitud vertical, la conservación del volumen implica que la velocidad vertical es pequeña. La ecuación de momento vertical de Navier-Stokes se puede utilizar para justificar que la presión es casi hidrostática.

En ausencia de gradientes de presión baroclínica (densidad variable), fuerte fuerza del viento y fuerzas no hidrostáticas, es adecuada una versión de la ecuación de momento promediada verticalmente. Los términos de velocidad vertical y derivada vertical se pueden ignorar de forma segura (en las ecuaciones de masa y de momento).

Se obtienen las ecuaciones de aguas poco profundas:

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=-g\frac{\partial H}{\partial x}+v_t\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)-c_f u+fv \qquad \text{(Ec.7)}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}=-g\frac{\partial H}{\partial y}+v_t\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)-c_f v+fu \qquad \text{(Ec.8)}$$

Donde u y v son las velocidades en las direcciones cartesianas, g es la aceleración gravitacional, vt es el coeficiente de viscosidad de remolino horizontal, cf es el coeficiente de fricción del fondo, R es el radio hidráulico y f es el parámetro de Coriolis.

El lado izquierdo de la ecuación contiene los términos de aceleración. El lado derecho representa las fuerzas internas o externas que actúan sobre el fluido. Los términos del lado izquierdo y derecho suelen estar organizados de acuerdo con la segunda ley de Newton, de la cual se derivan finalmente las ecuaciones de impulso.

Las ecuaciones de impulso también se pueden representar como una forma vectorial diferencial única. La ventaja de esta presentación de la ecuación es que se vuelve más compacta y fácil de leer. La forma vectorial de la ecuación de momento es:

$$\frac{\partial V}{\partial t}+V\bullet\nabla V=-g\nabla H+v_t\nabla^2 V-c_f V+fk\times V \qquad \text{(Ec.9)}$$

donde el operador diferencial del (∇) es el vector de los operadores derivados parciales dado por ∇ = (∂ / ∂x, ∂ / ∂y) y k es el vector unitario en la dirección vertical.

De izquierda a derecha hay la aceleración inestable, la aceleración convectiva, el término de presión barotrópica, la difusión de Foucault, la fricción del fondo y el término de Coriolis.

Un análisis dimensional muestra que cuando la profundidad del agua es muy pequeña, el término de fricción inferior domina la ecuación. Como consecuencia, la ecuación 9 para células secas toma el límite de la forma V = 0. Las células secas se tratan computacionalmente como un caso especial, pero el resultado es continuo y físicamente consistente durante el proceso de humedecimiento o secado.

Aceleración. Los términos de aceleración de Euler a la izquierda se pueden condensar en un término de aceleración derivado de Lagrangiano tomado a lo largo del recorrido que se mueve con el término de velocidad:

$$\frac{DV}{Dt} = \frac{\partial V}{\partial t} + V \bullet \nabla V \qquad \text{(Ec.10)}$$

El uso del derivado de Lagrangiano reduce las restricciones de número de Courant y proporciona un método de solución más robusto.

Gravedad. Si la superficie de flujo no es horizontal, el peso de las columnas de agua contiguas con diferentes alturas producirá un gradiente de presión al que se hace referencia en el caso de densidad uniforme como un gradiente de presión barotrópico. Esto se expresa mediante el primer término en el lado derecho de la ecuación 9.

La latitud afecta el valor de g en tanto como ± 0.3%, debido a la rotación de la Tierra y la protuberancia ecuatorial. Según la fórmula de Somigliana:

donde φ es latitud, g_0 = 9,7803267715 m/s^2 es la aceleración gravitacional en el ecuador, k = 0,0019318514 es la constante de gravedad normal y e = 0,0066943800 es el cuadrado de la excentricidad de la Tierra.

$$g = g_o\left(\frac{1 + k\sin^2\varphi}{\sqrt{1 - e^2\sin^2\varphi}}\right) \qquad \text{(Ec.11)}$$

Viscosidad Eddy. La turbulencia es un fenómeno complejo de movimiento caótico (turbulento) fluido y remolinos que abarcan una amplia gama de escalas de longitud. Muchas de estas escalas son demasiado pequeñas para ser resueltas de manera factible mediante un modelo numérico discreto, por lo que la mezcla de flujo turbulento se modela como un proceso de difusión de gradiente. En este enfoque, la tasa de difusión se establece como el coeficiente de viscosidad de Foucault v_t.

Su parametrización es la siguiente:

$$v_t = Dhu_* \qquad \text{(Ec.12)}$$

Donde D es una constante empírica no dimensional y u * es la velocidad de corte, que se puede calcular como:

$$u_* = \sqrt{gRS} = \frac{\sqrt{g}}{C}|V| = \frac{n\sqrt{g}}{R^{1/6}}|V| \qquad \text{(Ec.13)}$$

R es el radio hidráulico y S denota la pendiente de energía, que se puede calcular con la fórmula de Chézy en la siguiente sección, y se puede simplificar aún más con la fórmula de Manning, que también se explica más adelante.

Se asume que la difusión es isotrópica. Se asume que los valores empíricos DL y DT son idénticos. El coeficiente de mezcla D es un valor empírico que varía con la geometría y la superficie del fondo / pared.

Fricción inferior. Usando la fórmula de Chézy, el coeficiente de fricción inferior está dado por:

$$c_f = \frac{g|V|}{C^2R} \qquad \text{(Ec.14)}$$

Los resultados empíricos muestran que el coeficiente de Chézy se puede aproximar utilizando la fórmula de GaucklerManning-Strickler, o la fórmula de Manning para abreviar. Esta relación indica que el coeficiente de Chézy C está relacionado con el radio hidráulico R por la fórmula C=R$^{1/6}$/n, donde n es un coeficiente de rugosidad derivado empíricamente conocido como n de Manning. Como se esperaba, el coeficiente n no es independiente de las unidades y generalmente se mide en s/m$^{1/3}$ en el sistema SI. Para transformar al sistema habitual de los Estados Unidos, la constante de conversión es 1,48592 (ft/m)$^{1/3.}$. Usando la fórmula de Manning, el coeficiente de fricción inferior ahora viene dado por:

$$c_f = \frac{n^2 g|V|}{R^{4/3}} \qquad \text{(Ec.15)}$$

Efecto Coriolis. El último término de la ecuación de momento se relaciona con el efecto Coriolis. Esto explica el hecho de que el marco de referencia de la ecuación está unido a la Tierra, que gira alrededor de su eje. El componente vertical del término Coriolis se ignora de acuerdo con los supuestos de aguas poco profundas. La fuerza horizontal aparente sentida por cualquier objeto en el marco giratorio es proporcional al parámetro de Coriolis dado por:

$$f = 2\omega\sin\varphi \qquad \text{(Ec.16)}$$

donde ω = 0,00007292115855306587 / s es la velocidad angular sideral de la Tierra y φ es la latitud.

C) <u>Aproximación de onda de difusión de las ecuaciones de aguas someras:</u>

En la sección anterior, se utilizó la fórmula de Manning para estimar el coeficiente de Chézy. Si se asumen más restricciones en la física del flujo, se obtiene una relación entre el gradiente de presión barotrópica y la fricción del fondo a partir de la forma de onda de difusión de la ecuación de momento. Esta relación es extremadamente útil debido a su simplicidad. Sin embargo, se debe tener en cuenta que solo se puede aplicar en un alcance más estrecho que la ecuación de momento más general que se estudió anteriormente. Bajo las condiciones descritas en esta sección, la ecuación de onda de difusión se puede usar en lugar de la ecuación de momento. Se verá en secciones subsiguientes que el modelo correspondiente se convierte en un modelo de una ecuación conocido como la aproximación de onda de difusión de las ecuaciones de aguas someras (DSW).

Hasta este punto, hemos descrito la hidráulica para el momento. A partir de ahora, la discusión se orientará hacia la formulación y los valores numéricos de la solución. Será conveniente denotar el radio hidráulico y las áreas de la sección transversal de la cara en función de la elevación de la superficie del agua H, por lo que R = R (H), A = A (H).

Forma de onda de difusión de la ecuación del momento. Con poca fricción y flujo controlado por gravedad; Los términos de inestabilidad, advección, turbulencia y Coriolis de la ecuación de momento pueden ser ignorados para llegar a una versión simplificada. El movimiento del flujo es impulsado por un gradiente de presión barotrópico equilibrado por la fricción del fondo simplificando los resultados de la ecuación de momento en:

$$\frac{n^2|V|V}{(R(H))^{4/3}} = -\nabla H \qquad \text{(Ec.17)}$$

Dividiendo ambos lados de la ecuación por la raíz cuadrada de su norma, la ecuación se puede reorganizar en la forma más clásica.

$$V = \frac{-(R(H))^{2/3}}{n}\frac{\nabla H}{|\nabla H|^{1/2}} \qquad \text{(Ec.18)}$$

Donde V es el vector de velocidad, R es el radio hidráulico, ∇ H es el gradiente de elevación de la superficie y n es la n de Manning derivada empíricamente.

Onda de difusión para **la aproximación de las ecuaciones de aguas poco profundas.** Cuando la velocidad se determina por un balance entre el gradiente de presión barotrópica y la fricción del fondo, la forma de onda de difusión de la ecuación de momento (19) se puede usar en lugar de la ecuación de momento completo y el sistema de ecuaciones correspondiente se puede simplificar de hecho a una un modelo de ecuación La sustitución directa de la ecuación de la onda de difusión (19) en la ecuación de conservación de masa (2) produce la forma diferencial clásica de las ecuaciones de aproximación de la onda de difusión de las aguas poco profundas (DSW):

$$\frac{\partial H}{\partial t} - \nabla \bullet \beta \nabla H + q = 0 \qquad \text{(Ec.19)}$$

Donde: $\beta = \frac{(R(H))^{5/3}}{n|\nabla H|^{1/2}}$

Si la información de batimetría es de interés, la ecuación de la onda de difusión (18) también se puede sustituir en la forma de batimetría de la sub-rejilla de la ecuación de continuidad (6) para obtener la ecuación:

$$\frac{\Omega(H^{n+1}) - \Omega(H^n)}{\Delta t} - \sum_k \alpha \nabla H \bullet n + Q = 0 \qquad \text{(Ec.20)}$$

Donde:

$$\alpha = \alpha(H) = \frac{(R(H))^{2/3} A_k(H)}{n|\nabla H|^{1/2}} \qquad \text{(Ec.21)}$$

Como se ve en la ecuación (6), Ω (Hn) es la celda en el tiempo n y Ak (h) es el área de la cara k, como funciones de la elevación del agua.

Una vez resuelta la ecuación de DSW, las velocidades se pueden recuperar sustituyendo la elevación del agua en la ecuación (19) de la onda de difusión.

D) <u>Condiciones de contorno:</u>

En todos los intervalos de tiempo durante el cálculo, las condiciones de contorno deben darse en todos los bordes del dominio. Dentro de HEC-RAS pueden ser de tres tipos diferentes.

- Elevación de la superficie del agua: El valor de la elevación de la superficie del agua H = Hb se da en uno de los bordes delimitadores.
- Gradiente de la superficie del agua: se impone la pendiente de la superficie del agua Sb en la dirección normal al límite. Esta condición se expresa como:

$$\nabla H \bullet n = Sb \qquad \text{(Ec. 22)}$$

- Flujo: se proporciona el flujo Qb que cruza el límite. En la ecuación de continuidad (3), esta condición se implementa mediante la sustitución directa en la fórmula de flujo de las caras de borde correspondientes. La integral de superficie en la ecuación (3) está limitada por la condición:

$$\iint_b V \bullet n\, dS = Q_b \qquad \text{(Ec. 23)}$$

4.3.2.2 MÉTODO NUMÉRICO

Se utiliza un esquema de discretización híbrido que combina diferencias finitas y volúmenes finitos para aprovechar la ortogonalidad en las cuadrículas. La solución discreta para las ecuaciones hidráulicas se calcula utilizando una técnica de solución similar a la de Newton que se explica más adelante.

A) <u>Aproximaciones de diferencias finitas:</u>

Un esquema de diferencias finitas expresa un derivado como la diferencia de dos cantidades. Esta técnica ya se ha utilizado tácitamente en la ecuación (6), para discretizar la derivada de volumen en el tiempo como la diferencia de los volúmenes en los momentos n y n + 1 y dividida por el paso de tiempo Δt,

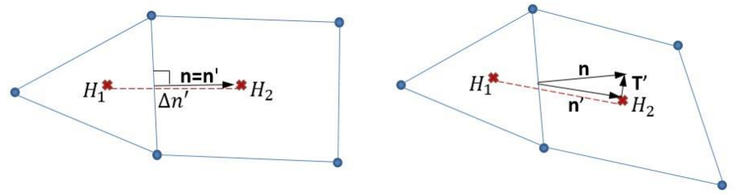
$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} \approx \frac{\Omega\left(H^{n+1}\right) - \Omega\left(H^{n}\right)}{\Delta t} \qquad \text{(Ec. 24)}$$

Las diferencias finitas en el espacio funcionan de manera idéntica. Dadas dos celdas adyacentes j1 y j2 con elevación de la superficie del agua H1 y H2 respectivamente, la derivada direccional en la dirección n 'determinada por los centros de las celdas se aproxima por:

$$\nabla H \bullet n' = \frac{\partial H}{\partial n'} \approx \frac{H_2 - H_1}{\Delta n'} \qquad \text{(Ec. 24)}$$

donde Δn ' es la distancia entre los centros celulares.

La orientación de la derivada es importante. En el siguiente ejemplo, la derivada está orientada desde la celda i1 a la celda i2, en la derecha de la imagen.



Si la dirección n ' es ortogonal a la cara entre las celdas, se dice que la cuadrícula es ortogonal localmente en esta cara. Esta es la situación que se muestra en la imagen de la izquierda en la imagen anterior. En este caso, la fórmula anterior es suficiente para calcular la derivada normal de la superficie del agua de la ecuación (20). En general, esta condición no se satisface y la técnica de diferencias finitas se complementa con una técnica de volumen finito, como se verá pronto

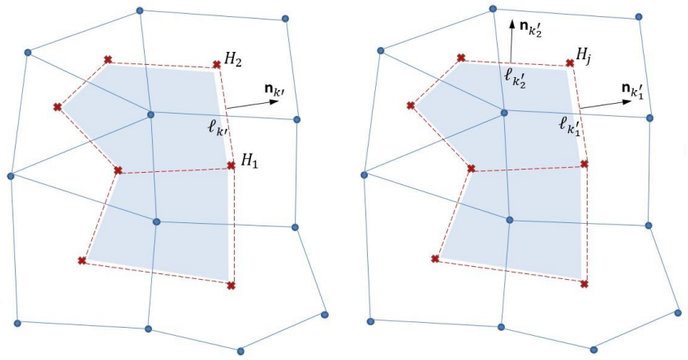
B) <u>Aproximaciones finitas de volúmenes:</u>

Se utiliza un enfoque de volumen finito para discretizar la ecuación (20) cuando la cuadrícula no es ortogonal local. Además, la técnica de volumen finito también se utilizará para aproximar otros términos diferenciales, como la viscosidad de Foucault.

En el espíritu de la técnica de volumen finito, el valor del término gradiente ∇ H en una cara de cuadrícula se aproxima como un promedio sobre celdas duales y se aplica el teorema de divergencia de Gauss para obtener la fórmula.

$$\nabla H \approx \frac{\oint_L H\, n\, dL}{A'} \qquad \text{(Ec. 25)}$$

Donde L es el límite de las celdas duales y A' es el área de las celdas duales, sombreada en la siguiente imagen. Como las celdas duales forman un polígono, la integral de línea se puede escribir como una suma sobre las caras de las celdas duales. La cara dual k' que une los nodos duales j_1 y j_2 contribuye con un término $n_{k'}\, l_{k'}$ (H1 + H2)/2 a la integral de línea, donde $l_{k'}$ es la longitud de la cara dual k ', $n_{k'}$ es el vector normal exterior de la unidad en la cara dual k 'y H1, H2 son los valores de elevación del agua en los centros de las celdas j1 y j2 como se muestra en la figura de la izquierda.



Agrupando los términos por el índice de celda j, la aproximación de volumen finito del gradiente se convierte en la fórmula multi-lineal

$$\nabla H \approx \sum_j c_j H_j$$

(Ec. 26)

Donde la suma está sobre todas las celdas (nodos duales) alrededor de la cara de cálculo, Hj es el valor de la elevación del agua en la celda j y las constantes vectoriales cj = ($n_{k1'} l_{k1'} + n_{k2'} l_{k2'}$) / 2A' dependen de la geometría de la cuadrícula local en las caras duales k'1 y k'2 vecino dual nodo (celda) j y el área dual A ', como se ve en la figura. Los valores $l_{k1'}$, $l_{k2'}$ y los vectores unitarios $n_{k1'}$, $n_{k2'}$ representan respectivamente la longitud y la normal hacia el exterior de las caras duales k'1 y k'2.

Las derivadas direccionales en una dirección arbitraria T 'se calculan fácilmente mediante la fórmula.

$$\frac{\partial H}{\partial T'} = \nabla H \bullet T' \approx \sum_j c'_j H_j$$

(Ec. 27)

Donde las constantes escalares $c'_j = (n_{k1'} l_{k1'} + n_{k2'} l_{k2'}) \bullet T' / (2A')$ absorbieron el producto de puntos con T'.

Aplicando un argumento similar en la cuadrícula en lugar de la cuadrícula dual, el gradiente de la velocidad ∇V se puede calcular en una celda de cuadrícula. El argumento se puede repetir secuencialmente para calcular las derivadas de orden superior. Por ejemplo, una vez que se conoce ∇V en todas las celdas de la cuadrícula, los términos laplacianos $\nabla^2 V$ se pueden calcular en los nodos de la cuadrícula mediante el proceso descrito anteriormente.

C) <u>Discretización híbrida</u>

Como ha visto en las secciones anteriores, las derivadas normales en las caras de una cuadrícula ortogonal se pueden aproximar utilizando diferencias finitas. Si la cuadrícula no es localmente ortogonal, la derivada normal debe dividirse como la suma de una diferencia finita y una aproximación de volumen finito.

D) <u>Solucionador numérico para ecuaciones ecuaciones de onda de difusión (DSW).</u>

Las diferencias finitas se usan para discretizar derivadas de tiempo y las aproximaciones híbridas se usan para discretizar derivadas espaciales. El método generalizado de Crank-Nicolson se utiliza para ponderar la contribución de las variables en los pasos de tiempo n y n + 1.

E) <u>Solucionador numérico para ecuaciones ecuaciones en aguas poco profundas (SW).</u>

Las ecuaciones SW expresan el volumen y la conservación del momento. La ecuación de continuidad se discretiza utilizando aproximaciones de volumen finito. Para la ecuación de impulso, el tipo de discretización variará según el término. El método Crank-Nicolson también se usa para ponderar la contribución de las variables (Coriolis, Viscosidad, Rozamiento con el fondo…) en los pasos de tiempo n y n + 1. Sin embargo, la naturaleza diferente de las ecuaciones requerirá el uso de un esquema de solución más elaborado.

4.3.3 METODOLOGÍA DE CÁLCULO PARA LOS PASOS/CAÑOS.

HEC-RAS calcula las pérdidas de energía, causadas por estructuras como caños en tres partes. La primera parte consiste en pérdidas que ocurren en el alcance inmediatamente aguas abajo de la estructura, donde se produce una expansión del flujo. La segunda parte consiste en pérdidas que ocurren cuando el flujo viaja hacia adentro, a través y fuera de la alcantarilla. La última parte consiste en pérdidas que ocurren en el alcance inmediatamente aguas arriba de la estructura, donde el flujo se contrae hacia la apertura de la alcantarilla.

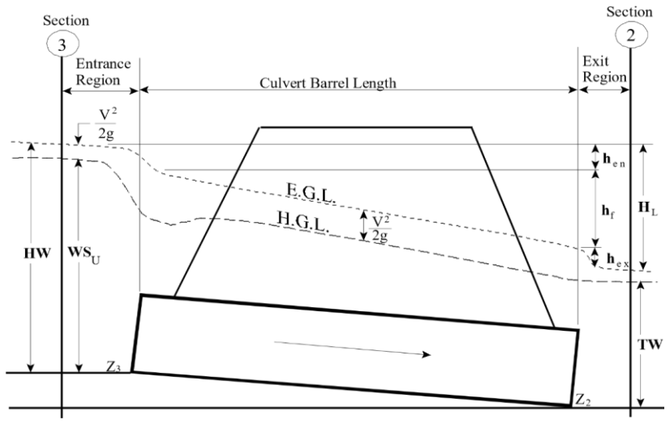
Los caños se componen de tres partes diferenciadas, una **entrada** que dota al caño de caudal, el propio **caño** que es una conducción completamente estanca en cuanto a sus paredes, y una **sálida** donde los caudales en el interior son evacuados.

El "Tailwater" (TW**)** o agua de cola es la altura de agua que existe aguas abajo del caño modelizado en su punto más bajo. Este factor depende del flujo por el interior del caño y las condiciones hidraulicas aguas abajo.

"Headwater" (HW) o agua de cabecera es la altura de agua en la entrada del caño en términos de energía (aplicado el $V^2/2g$). Representa la cantidad de energía que el flujo a su paso por el caño recibirá.

The **Upstream Water Surface (WSU)** es la altura aguas arriba del caño junto a su zona de entrada.

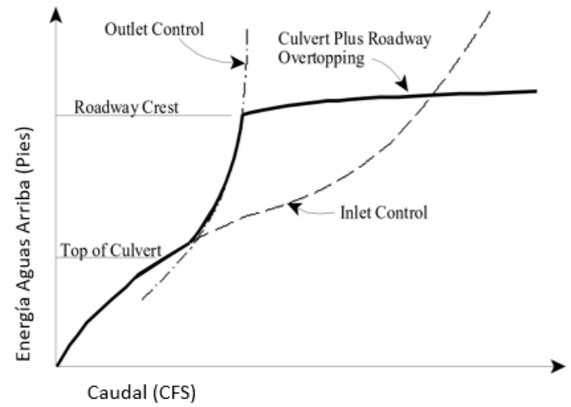
La energía total es la suma de las fuerzas estáticas de altura de agua (potenciales), más las fuerzas relacionadas con la cinemática y por tanto de la velocidad del flujo. Esto se cumple para cualquier punto de del cálculo.



Análisis Del Flujo Para Caños:

El análisis del flujo en caños es bastante complicado. Es común utilizar los conceptos de "control de entrada" y "control de salida" para simplificar el análisis. El flujo de control de entrada se produce cuando la capacidad de flujo de la entrada de los caños es menor que la capacidad de flujo de dentro del mismo. Para el control de entrada, la energía aguas arriba requerida se calcula al asumir que la entrada de los caños actúa como una compuerta o un vertedero. Por lo tanto, la capacidad de control de entrada depende principalmente de la geometría de la entrada de los caños.

El flujo de control de salida se produce cuando la capacidad de flujo de los caños está limitada por las condiciones aguas abajo (agua de alto caudal) o por la capacidad de flujo del interior del caño. Las rutinas de caños de HEC-RAS calculan la energía ascendente requerida para producir un caudal dado en relación a las condiciones de control de entrada y las condiciones de control de salida. En general, la energía "aguas arriba" controla y determina el tipo de flujo en los caños para un caudal y una condición de agua de cola determinados. Las rutinas de los caños de HEC-RAS consideran las pérdidas de entrada, las pérdidas por fricción en el interior de los caños y las pérdidas de salida en la salida al calcular el agua de salida de control de los caños.



Durante los cálculos, si la respuesta del control de entrada es superior a la respuesta del control de salida, el programa realizará algunos cálculos adicionales para evaluar si la respuesta del control de entrada puede persistir a través de el caño sin presionar el interior de los caños. El supuesto de control de entrada es que el flujo pasa a través de la profundidad crítica cerca de la entrada de el caño y las transiciones en flujo supercrítico. Si el flujo persiste como flujo bajo a través de la longitud de el caño, se asume que el control de entrada es válido. Si el flujo pasa a través de un salto hidráulico dentro del caño y se desarrolla completamente en toda el área del caño, se supone que esta condición hará que la tubería se presurice. Si esto ocurre, entonces se usa la respuesta de control de salida (bajo el supuesto de caudal máximo) en lugar de la respuesta de control de entrada.

Control de entrada del agua de cabecera:

Para las condiciones de control de entrada, la capacidad de el caño está limitada por la capacidad de apertura de el caño, en lugar de por las condiciones más alejadas de la corriente. Las exhaustivas pruebas de the National Bureau of Standards y the Bureau of Public Roads, así como otras entidades, resultaron en una serie de ecuaciones que describen el agua de cabecera de control de entrada en diversas condiciones. Estas ecuaciones forman la base de los nomogramas de control de entrada FHWA que se muestran en la publicación "Hydraulic Desing of Highway Culverts" [FHWA, 1985]. Las ecuaciones de control de entrada de FHWA son utilizadas por las rutinas de los caños de HEC-RAS

en el cálculo de la energía ascendente. Las ecuaciones de control de entrada se desarrollaron para condiciones de entrada sumergidas y no sumergidas. Estas ecuaciones son:

Entrada no sumergida:

$$\frac{HW_i}{D} = \frac{H_c}{D} + K\left[\frac{Q}{AD^{0.5}}\right]^M - 0.5S$$

$$\frac{HW_i}{D} = K\left[\frac{Q}{AD^{0.5}}\right]^M$$

Entrada sumergida:

$$\frac{HW_i}{D} = c\left[\frac{Q}{AD^{0.5}}\right]^2 + Y - 0.5S$$

Donde:

- HW_i = Profundidad de energía del agua de cabeza por encima de la inversión del
- entrada de los caños, pies
- D = Altura interior del cañón de el caño, pies
- Hc = Cabezal específico en profundidad crítica (dc + Vc2 / 2g), pies
- Q = Descarga a través de el caño, cfs.
- A = Área de sección transversal completa del cañón de el caño, pies^2
- S = Pendiente del cañón de los caños, pies / pies
- K, M, c, Y = Constantes de ecuación, que varían según la forma de el caño y las condiciones de entrada

Existen dos ecuaciones para la no sumergida, la primera está mas contrastada, pero, sin embargo, no es apicable a todos los tipos de caños que ofrece el programa, por lo que es necesario aplicar la segunda ecuación para ciertas formas de caños dado que es la única que está realmente contrastada para esos casos específicos.

Computación de control de salida de agua:

Para el flujo de control de salida, la energía aguas arriba requerida para pasar el flujo, debe computarse considerando varias condiciones dentro de el caño y aguas abajo de el caño. Los cálculos de control de salida se basan en la energía. La ecuación utilizada por el programa es la siguiente:

$$Z_3 + Y_3 + \frac{a_3 V_3^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} + H_L$$

Donde:

- Z3 = Elevación invertida aguas arriba de el caño
- Y3 = La profundidad del agua sobre la entrada de el caño aguas arriba
- V3 = La velocidad promedio aguas arriba de el caño
- a3 = El coeficiente de ponderación de la velocidad corriente arriba de el caño
- g = La aceleración de la gravedad.
- Z2 = Elevación invertida corriente abajo de el caño
- Y2 = La profundidad del agua sobre la entrada de el caño aguas abajo
- V2 = La velocidad promedio aguas abajo de el caño a2 = El coeficiente de ponderación de la velocidad aguas abajo de el caño
- HL = Pérdida total de energía a través de el caño (de la sección 2 a 3

Calado Normal en caño:

La profundidad normal es la profundidad a la que se producirá un flujo uniforme en un canal abierto. En otras palabras, para un canal uniforme de longitud infinita, que lleva un caudal constante, el flujo en el canal estaría a una profundidad constante en todos los puntos a lo largo del canal, y esta sería la profundidad normal.

La profundidad normal a menudo representa una buena aproximación de la profundidad real del flujo dentro de un segmento de canal. El programa calcula la profundidad normal utilizando un enfoque iterativo para llegar a un valor, que satisfaga la ecuación de Manning:

$$Q = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} S_f^{1/2}$$

Donde:

- Q = caudal en el canal (cfs) n = coeficiente de rugosidad de Manning
- A = área de flujo (pies cuadrados)
- R = radio hidráulico (pies)
- S f = pendiente de la línea de grado energético (pies por pie)

Calado crítico en caño:

La profundidad crítica se produce cuando el flujo en un canal tiene una energía específica mínima. La energía específica se refiere a la suma de la profundidad de flujo y la velocidad de la cabeza. La profundidad crítica depende de la forma del canal y del caudal.

Se asume que la profundidad del flujo en la salida de el caño es igual a la profundidad crítica para los caños que operan bajo el control de la salida con agua de cola baja. La profundidad crítica también puede influir en el agua de cabecera de control de entrada para condiciones no sumergidas.

Las rutinas de los caños calculan la profundidad crítica en el caño mediante un procedimiento iterativo, que llega a un valor que satisface la siguiente ecuación:

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T}$$

Donde:

- Q = tasa de flujo en el canal (cfs)
- g = aceleración debido a la gravedad (32,2 ft / sec2)
- A = área de flujo transversal (pies cuadrados)
- T = ancho superior del flujo (pies)

La profundidad crítica para los caños de caja se puede resolver directamente con la siguiente ecuación [AISI, 1980]:

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

Donde:

- yc = profundidad crítica (pies)
- q = descarga de la unidad por pie lineal de ancho (cfs / ft)
- g = aceleración debida a la gravedad

Flujo por el Caño:

La primera solución a través de el caño está bajo el supuesto de que todo el flujo está pasando por los caños. Una vez que se obtiene una energía final aguas arriba, el programa verifica si la elevación de energía es mayor que la elevación mínima para que ocurra el flujo de vertedero. Si la energía calculada es menor que la elevación mínima para el flujo de vertedero, entonces la solución es definitiva. Si la energía calculada es mayor que la elevación mínima para el flujo de la presa, el programa realiza un procedimiento iterativo para determinar la cantidad de flujo sobre la presa y a través de los caños. Durante este procedimiento iterativo, el programa recalcula las soluciones de los caños de control de entrada y salida para cada estimación del flujo de los caños. En general, el más alto de los dos se usa para la porción de los caños de la solución, a menos que el programa sienta que el control de entrada no se puede mantener. El programa continuará iterando hasta que encuentre una división de flujo que produzca la misma energía corriente arriba (dentro de la tolerancia de error) tanto para el flujo de vertedero como de los caños.

Coeficientes reductores de entrada:

Las pérdidas de entrada se calculan como una función de la de la velocidad en cabecera dentro de el caño en el extremo corriente arriba. La pérdida de entrada para el caño se calcula como:

$$h_{en} = k_{en} \frac{V_{en}^2}{2g}$$

Donde:

- h_{en} = Pérdida de energía debido a la entrada.
- K_{en} = coeficiente de pérdida de entrada
- V_{en} = Velocidad de flujo dentro de el caño en la entrada
- g = Aceleración debido a la gravedad

La velocidad en cabecera se multiplica por el coeficiente de pérdida de entrada para estimar la cantidad de energía perdida cuando el flujo ingresa a el caño. Un valor más alto para el coeficiente da una mayor pérdida de carga. Los coeficientes recomendados varían en función de la tipología de las embocaduras. Desde 0,2 para caños con embocaduras con angulos de aletas favorables hasta 0,5 para aletas dispuestas en formas mas desfavorables.

Coeficientes de salida:

Las pérdidas de salida se calculan como un coeficiente multiplicado por el cambio en la altura de la velocidad desde justo dentro de el caño, en el extremo corriente abajo, hasta la sección transversal justo corriente abajo de el caño. La ecuación para calcular las pérdidas de salida es la siguiente:

$$h_{ex} = k_{ex}\left(\frac{a_{ex}V_{ex}^2}{2g} - \frac{a_2V_2^2}{2g}\right)$$

Dónde:

- h_{ex} = pérdida de energía debido a la salida k_{ex} = coeficiente de pérdida de salida
- V_{ex} = Velocidad dentro de el caño en la salida
- V_2 = Velocidad fuera de el caño en la sección transversal aguas abajo

Para una expansión repentina del flujo, como en un caño típico, el coeficiente de pérdida de salida (k_{ex}) normalmente se establece en 1.0 (FHWA, 1985). En general, los coeficientes de pérdida de salida pueden variar entre 0,3 y 1,0. El coeficiente de pérdida de salida debe reducirse ya que la transición se vuelve menos abrupta.

4.4 CARTOGRAFÍA EMPLEADA

La modelización de la brecha y el análisis de la rotura se ha realizado con el software de modelado en 2D HEC-RAS 5.0.5, desarrollado por el Army Corps of Engineers Norte Americano. Dicho software requiere de la introducción de un modelo digital del terreno para su posterior cálculo.

Dichos modelos topográficos han sido introducidos gracias a los modelos digitales del terreno (MDT02) facilitados por el Instituno Geografico Nacional en su centro de descargas:

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA · INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

Centro de Descargas
ORGANISMO AUTÓNOMO CENTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

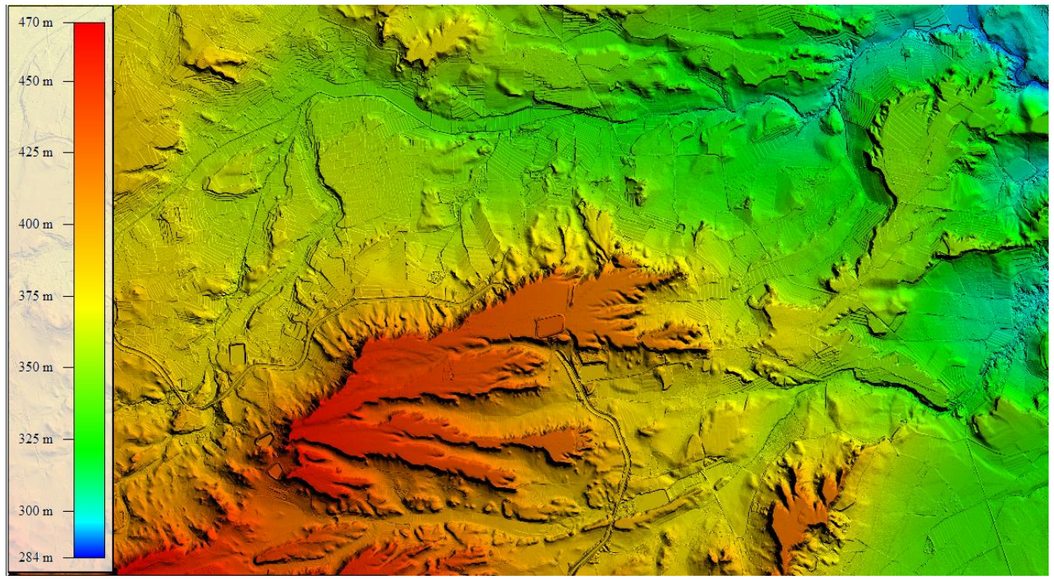
Modelo digital del terreno 2ª Cobertura (2015-Actualidad) con paso de malla de 2 m:

MDT02 2ª COBERTURA

ETRS89 en la Península, Islas Baleares, Ceuta y Melilla, y REGCAN95 en las Islas Canarias (ambos sistemas compatibles con WGS84). Proyección UTM en el huso correspondiente. Alturas ortométricas.

Dicho modelo ha sido obtenido por interpolación a partir de la clase terreno de los vuelos LIDAR de la segunda cobertura del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), a excepción de las hojas de Ceuta, Melilla e Isla de Alborán (1110, 1111, 1078B) obtenidas por estereocorrelación automática de vuelos fotogramétricos PNOA con resolución de 25 a 50 cm/píxel, revisada e interpolada con líneas de ruptura donde fuera viable.

A continuación, se presenta el modelo digital del terreno de la zona objeto de la presente clasificación:



La topografía, una vez procesada, se introduce en el formato cartográfico utilizado por HEC-RAS, HDF (Hierarchical Data Format) con una precisión en la malla de generación del archivo de 2 metros.

4.5 RUGOSIDAD APLICADA

En los modelos hidráulicos debe introducirse como dato de partida los valores del coeficiente de rugosidad o rozamiento de los terrenos de cauce y márgenes contenidos en la zona inundable por la rotura de la presa. Dichos valores dependen de un buen número de factores, como: rugosidad de la superficie, vegetación, irregularidades del cauce, sinuosidad del cauce, erosión y sedimentación, obstrucciones, tamaño y forma del cauce, sólidos en suspensión, etc.

En primer término, los tipos de cobertura del suelo en la zona de estudio se pueden identificar empleando la información contenida en el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de

España (SIOSE), cuyo objetivo es integrar la información de las bases de datos de coberturas y usos del suelo de las Comunidades Autónomas y de la Administración General del Estado. El SIOSE se enmarca dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio en España (PNOT), que coordina y gestiona el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).

Una vez identificadas las distintas coberturas del terreno, los valores del coeficiente de rozamiento se podrán obtener de la bibliografía disponible, como por ejemplo las conocidas tablas de Ven Te Chow, incluidas en su publicación *Open Channel Hydraulics*.

Para identificar las coberturas del terreno, resulta muy útil el empleo de la tabla nº 1 del Anejo V de la *Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables*, editada en el año 2011 por el entonces Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. En dicha tabla se relacionan los valores del coeficiente de rugosidad de Manning en función de las diversas coberturas del suelo clasificadas en el SIOSE y en el CORINE Land Cover (antecedente del SIOSE).

CODIIGE	DESCRIPCIÓN	manning
111	Casco	0,1
112	Ensanche	0,1
113	Discontinuo	0,09
114	Zona verde urbana	0,09
121	Instalación agrícola y/o ganadera	0,04
122	Instalación forestal	0,09
123	Extracción minera	0,04
130	Industrial	0,1
140	Servicio dotacional	0,1
150	Asentamiento agrícola y huerta	0,04
161	Red viaria o ferroviaria	0,1
162	Puerto	0,1
163	Aeropuerto	0,1
171	Infraestructura de suministro	0,1
172	Infraestructura de residuos	0,1
210	Cultivo herbáceo	0,04
220	Invernadero	0,1
231	Frutal cítrico	0,06
232	Frutal no cítrico	0,06
233	Viñedo	0,06
234	Olivar	0,06
235	Otros cultivos leñosos	0,06
236	Combinación de cultivos leñosos	0,06
240	Prado	0,035
250	Combinación de cultivos	0,05
260	Combinación de cultivos con vegetación	0,0425
311	Bosque de frondosas	0,07
313	Bosque mixto	0,07
312	Bosque de coníferas	0,07
320	Pastizal o herbazal	0,035
330	Matorral	0,0625
340	Combinación de vegetación	0,04875
351	Playa, duna o arenal	0,025
352	Roquedo	0,03
353	Temporalmente desarbolado por incendios	0,04
354	Suelo desnudo	0,03
411	Zona húmeda y pantanosa	0,04
412	Turbera	0,04
413	Marisma	0,04
414	Salina	0,04
514	Lámina de agua artificial	0,025
511	Curso de agua	0,04
512	Lago o laguna	0,025
513	Embalse	0,025
515	Mar	0,025
516	Glaciar y/o nieve perpetua	0,025

5 POSIBLES ESCENARIOS DE ROTURA

De acuerdo a la NST1, se considerarán distintos escenarios de posibles roturas de la presa, identificando en cada uno de ellos los riesgos potenciales, asignándose como clasificación aquélla que corresponda al escenario más desfavorable. En este apartado se analizará cuales de los escenarios expuestos en la norma deben ser considerados en función de las caracteristicas de la presa y sus afecciones aguas abajo.

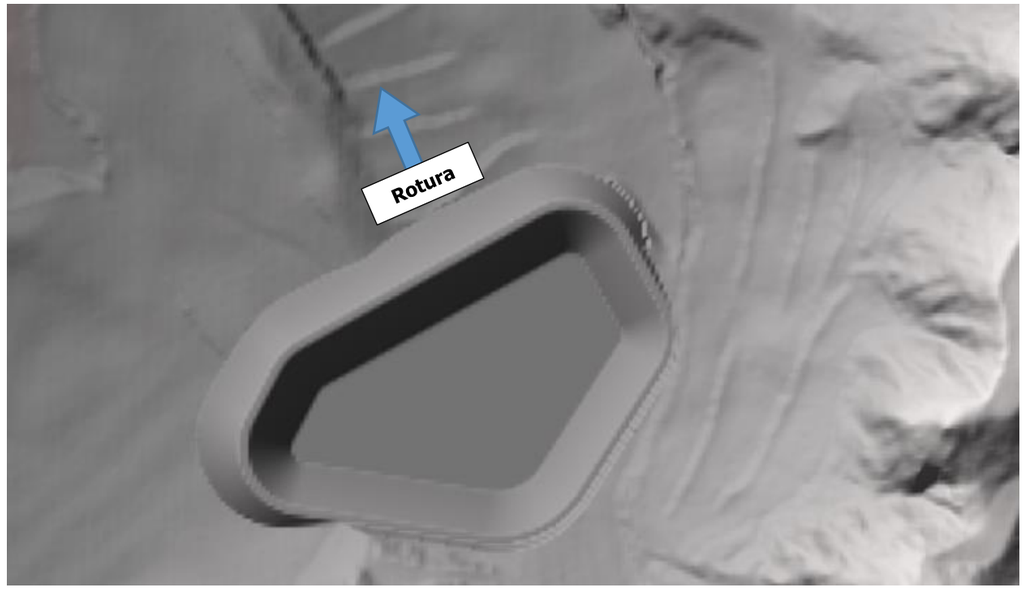
ESCENARIO	TIPO	ANALISIS
Rotura Individual	Escenario sin avenida	Siempre Procede
	Escenario Límite (con avenida)	No procede al tratarse de una Balsa
Rotura Encadenada	Recepción en N.A.M.O.	No procede al no encontrar presas aguas abajo
	Recepción en Escenario Límite	

De acuerdo a los posibles escenarios de rotura, se analizará la rotura individual en los sucesivos apartados. Variando únicamente la cota a la que se encuentra la lámina de agua, bien sea a cota N.A.M.O. o a cota de Coronación.

6 ESCENARIO DE ROTURA INDIVIDUAL SIN AVENIDA N.A.M.O.

Con el fin de analizar correctamente el riesgo potencial que se puediera derivarse de la rotura de la presente balsa, se realiza la simulación por el talud más desfavorable. En la siguiente imagen se recoge el punto más desfavorable para la rotura, así como su perfil.

Punto de rotura más desfavorable (Perfil 0+125)



6.1 PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN

6.1.1 CONDICIONES INICIALES

Las condiciones iniciales del modelo propuesto antes de producirse la simulación de la rotura, son las siguientes:

El terreno se considera en condiciones secas y sin ningún tipo de acumulación previa de agua en la malla de calculo. Este parámetro de "humedad" del suelo debe ser cero dado que el programa no tiene en cuenta los efectos de infiltración, y, este hecho, ya de por sí, genera un resultado aguas abajo superior al esperado realmente.

El nivel de agua en la presa objeto de la clasificación se situa en la cota N.A.M.O. 424,00 m.s.n.m. de acuerdo a lo establecido en la norma para roturas individuales sin avenida.

6.1.2 CONDICIONES DE CONTORNO

Existen dos condiciones de contorno dentro de la modelización en el software de cálculo, una de entrada y otra de salida:

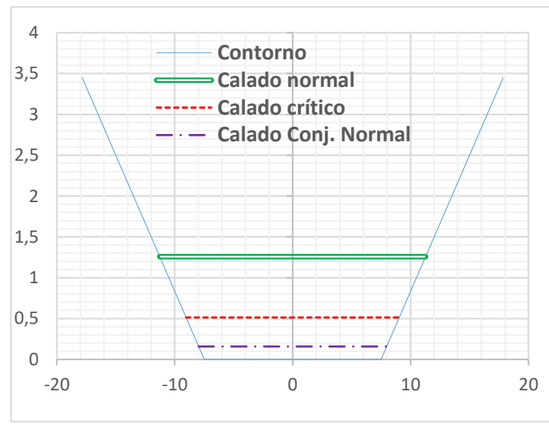
<u>Las condiciones de contorno de entrada serán de dos tipos:</u>

- Las condiciones generadas por la simulación de la brecha a partir de los datos introducidos en el programa de cálculo y generados a partir de las fórmulas expuestas por la guía técnica para su dimensionado.

- En adición a los caudales generados por el cálculo de la brecha, se determina un caudal de entrada en el Canal de Monegros en su capacidad habitual en las campañas de riego 55 m^3/s. Este caudal circulante por el canal de monegros será constante a lo largo de toda la simulación y tiene como fin determinar fielmente los efectos que aplica el canal lleno en su nivel de explotación, en su encuentro con la avenida provocada por la rotura de la balsa. Como se verá posteriormente en los sucesivos apartados, los caudales procedentes de la hipotética rotura de la balsa por su parte más desfavorable, se dirigen hacia dicho canal. Debido a que los modelos digitales del terreno, reflejan las masas de agua y por lo tanto su nivel, el caudal circulante en la simulación será menor al tener que restarle el nivel observado del canal respecto al fondo (388,0m - 386,75m = 1,25m). El nivel de 1,25 corresponde según la formula de manning a 18,5 m^3/s según las dimensiones del canal de Monegros.

Características Canal

Sección		
B	15	m
z1	3	m
z2	3	m
Altura máxima	3,45	m
Rugosidad n		
Rugosidad n	0,013	
Pendiente i		
Pendiente i	0,01	%
Caudal Q (1,25 m)		
Caudal Q	18,5	m^3/s



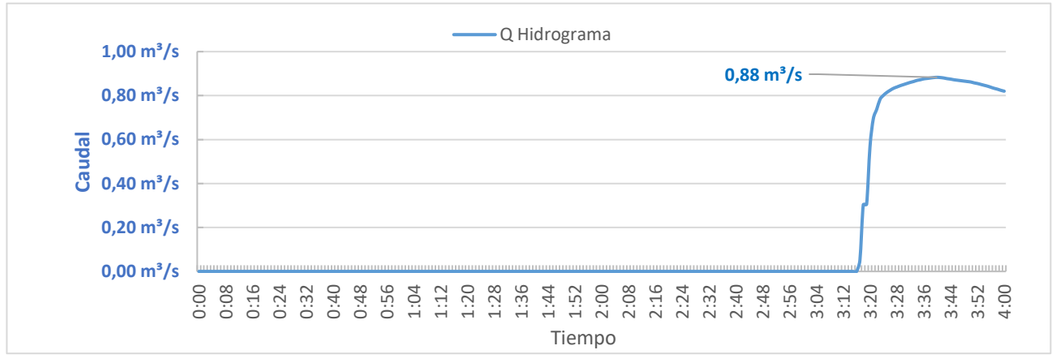
- De esta manera el caudal circulante a la entrada para la simulación será de 36,5 m^3/s.

De la misma manera, las condiciones de contorno de salida serán de dos tipos:

La primera condición de contorno de salida se sitúa en la parte baja del Canal de Monegros con el fin de simular la continuidad del mismo aguas abajo. Se coloca suficientemente aguas abajo de la zona de estudio para que la simulación pueda realizarse aguas arriba y adoptar el calado que corresponda (Subcrítico/Crítico/Supercrítico). La condición de contorno está representada en color azul en la siguiente imagen.



La segunda condición de contorno de salida se sitúa en el Barranco de la Sardeta. Se decide que el fin de la simulación en este punto es suficiente puesto que, por más que se alarge el avance de la avenida es mínimo y completamente encauzado. Como se puede comprobar en la gráfica expuesta a continuación, el pico máximo de los caudales que llegan hasta la mencionada condición de salida es de 0,88 m^3/s, muy inferior al primer punto de control situado aguas abajo en el mismo desagüe obtenido para un periodo de retorno de 3,5 años determinado en 9 m^3/s. En este punto (X=720.287; Y=4.637.103) se conoce el caudal máximo de la crecida ordinaria del cuace gracias a la aplicación CAUMAX desarrollada por el CEDEX.



La condición de contono se coloca suficientemente aguas debajo de la zona de estudio para que la simulación pueda realizarse hacia aguas arriba y adoptar el calado que corresponda (Subcrítico/Crítico/Supercrítico).

6.1.3 PARÁMETROS DE TIEMPO

Se han empleado los siguientes parámetros temporales para la simulación de la rotura.

PARÁMETROS DE TIEMPO	
Inicio de la simulación	0 horas y 0 minutos
Inicio de entrada de caudales en el Canal de Monegros	0 horas y 0 minutos
Inicio de la formación de la brecha*	0 horas y 30 minutos
Tiempo máximo de la simulación	4 horas y 00 minutos
Intervalos de resultados	60 segundos
Intervalos de computación	1 segundo

* La brecha se produce a la media hora de simulación para permitir que el caudal circulante por el Canal de Monegros se estabilice. De esta manera, se producirá la situación más desfavorable de concurrencia de eventos: Rotura de la balsa coincidente con el Canal de Monegros en su nivel normal de explotación.

6.1.4 CARACTERISTICAS DE LA BRECHA DE LA ROTURA

La tipología de la balsa a clasificar se encuentra recogida dentro de la categoría de presas de materiales sueltos.

- Tiempo de rotura (T, en h): a efectos de clasificación se define como tiempo de rotura de la presa el tiempo de desarrollo de la brecha, que es el tiempo que transcurre desde que se ha iniciado la brecha (o tubificación) hasta que ésta llega a su sección final. En este tiempo se produce la erosión y arrastre de material que dan lugar al agrandamiento progresivo de la rotura. Puede determinarse mediante la siguiente fórmula:

$$T = 5{,}62\ \frac{\sqrt{V_w}}{H_b}\ \textit{(Froehlich, 2008)}$$

  - Siendo V_W el volumen de agua almacenado en el embalse en el momento de la rotura (en hm^3) y Hb la altura de la brecha (en m). A efectos de la aplicación de esta fórmula se considerará que la altura de la brecha es igual a la altura de la presa sobre el cauce.

- Forma de la brecha: trapecial. De manera genérica se considerará 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 el citado 1H/1V en materiales no cohesivos hasta 0,33H/1V en materiales cohesivos.

$$B = 22{,}46\ K_0 {V_w}^{0{,}32} {H_b}^{0{,}04}\ \textit{(Froehlich, 2008)}$$

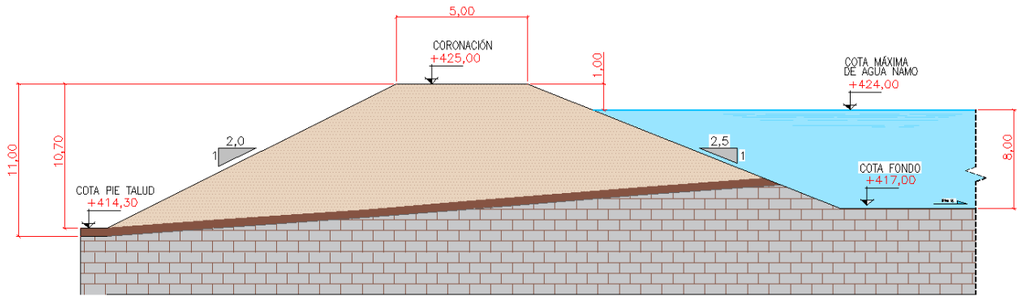
Donde Ko es un coeficiente que depende de la causa que origina la rotura de la presa (K_0=1,3 para roturas por sobrevertido y K_0=1 para el resto de roturas), V_W es el volumen de agua almacenado en el embalse en el momento de la rotura (en hm^3) y H_b la altura de la brecha (en m).

En la aplicación de esta fórmula se utilizará K_0=1 para el análisis del escenario sin avenida y K_0=1,3 para el escenario límite y para el análisis de la rotura encadenada de presas de materiales sueltos situadas aguas abajo de la de estudio; y se considerará que la altura de la brecha es igual a la altura de la presa sobre el cauce (H_b=H).

El volumen máximo movilizable es el volumen utilizado para la simulación de la posible rotura de la balsa analizada. El volumen máximo movilizable considerado, es el comprendido entre la altura máxima hasta que podría elevarse el embalse en situaciones de episodios de precipitaciones extremas, y la cota de altura máxima sobre los cimientos, dado que, si se produjese una rotura, el agua almacenada entre la cota de fondo y la de los cimientos permanecería embalsada.

Volumen máximo movilizable = Volumen Cota NAMO – Volumen Cota Cimiento

Volumen máximo **movilizable** = 97.536 m^3 – 0 m^3 = **97.536 m^3**



A continuación, se presenta la cubicación completa de la balsa hasta la cota NAMO:

Descripción		Cotas (m)	Superficie (m^2)	Volumen acumulado (m^3)
Cota Fondo		417,00	10.015,9	0,00
Movilizable		418,00	11.062,3	10.539
		419,00	12.148,0	22.144
		420,00	13.273,0	34.855
		421,00	14.437,3	48.710
		422,00	15.640,8	63.749
		423,00	16.883,7	80.011
	NAMO	424,00	18.165,7	97.536

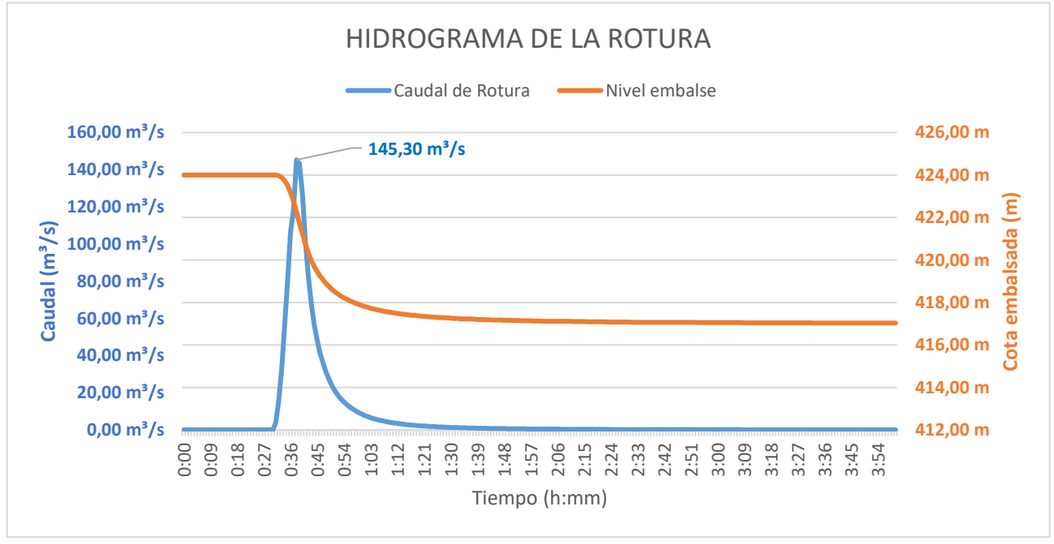
Dichos parámetros (tiempo de formación y ancho de la brecha), han sido introducidos debidamente en el apartado para simulación de brechas del software de cálculo HEC-RAS 5.0.5. La formación de la brecha en el programa de cálculo considera al igual que la citada Guía que la formación será trapecial. La rotura analizada según el riesgo potencial se recoge a continuación:

Dimensiones de la brecha de la rotura (FORMA DE ROTURA: Trapecial)		
Localización	**Cota (m)**	**Ancho (m)**
Zona superior de la brecha	425,00	22,738 m
Zona media de la brecha	419,50	11,738 m
Zona inferior de la brecha	414,00	0,738 m
Tiempo de rotura		
h	**min**	**S**
0,160	9,57	574
Volumen rotura (m^3)	**97.535,98**	
Altura sobre cimientos (m)	**11,00**	
Cimiento (m.s.n.m.)	**414,00**	
Coronación (m.s.n.m.)	**425,00**	

6.2 RESULTADOS DE LA ROTURA

6.2.1 HIDROGRAMA DE LA ROTURA

La avenida obtenida según las características de la balsa analizada corresponde con el siguiente gráfico de evolución de caudales.



En la siguiente tabla se recogen los datos numéricos de los valores de caudal y tiempo que definen el hidrograma anterior.

Tiempo (h:min)	Caudal (m^3/s)	Nivel del agua embalsada
0:00	0,00	424,00
0:01	0,00	424,00
0:02	0,00	424,00
0:03	0,00	424,00
0:04	0,00	424,00
0:05	0,00	424,00
0:06	0,00	424,00
0:07	0,00	424,00
0:08	0,00	424,00
0:09	0,00	424,00
0:10	0,00	424,00
0:11	0,00	424,00
0:12	0,00	424,00
0:13	0,00	424,00
0:14	0,00	424,00
0:15	0,00	424,00
0:16	0,00	424,00
0:17	0,00	424,00
0:18	0,00	424,00
0:19	0,00	424,00
0:20	0,00	424,00
0:21	0,00	424,00
0:22	0,00	424,00
0:23	0,00	424,00
0:24	0,00	424,00
0:25	0,00	424,00
0:26	0,00	424,00
0:27	0,00	424,00
0:28	0,00	424,00
0:29	0,00	424,00
0:30	0,00	424,00
0:31	3,77	424,00
0:32	15,05	423,97
0:33	32,90	423,89
0:34	55,44	423,74
0:35	80,87	423,50
0:36	106,46	423,18
0:37	117,70	422,77
0:38	**145,30**	**422,28**
0:39	143,39	421,74
0:40	126,69	421,23
0:41	101,93	420,75
0:42	82,10	420,32
0:43	67,77	419,98
0:44	56,61	419,69
0:45	47,98	419,45
0:46	41,16	419,24
0:47	35,68	419,06
0:48	30,96	418,89
0:49	26,98	418,74
0:50	23,70	418,61
0:51	20,97	418,50
0:52	18,67	418,40
0:53	16,72	418,30
0:54	15,04	418,22
0:55	13,60	418,15
0:56	12,34	418,08
0:57	11,25	418,02
0:58	10,23	417,96
0:59	9,30	417,91
1:00	8,49	417,86
2:00	0,45	417,13
3:00	0,11	417,05
4:00	0,04	417,03

6.2.2 LLANURA DE INUNDACIÓN

A continuación, se presenta la simulación realizada y se analizan los resultados obtenidos.

La llanura de inundación es generada tras la rotura de la balsa por su muro de tierras situado en el este. El talud de este muro, es el que más desarrollo posee y por tanto genera una rotura más desfavorable. Se puede visualizar en la siguiente imagen y en los planos que se incluyen en el Anexo N.º3.



Los resultados obtenidos en cuanto a calados y velocidades máximas pueden ser consultados en el Anexo N.º3

Aguas abajo de la balsa la orografía muestra una ligera pendiente siguiendo la dirección norte, de aproximadamente 4 % de media hasta llegar a la obra de drenaje transversal situada en la intersección del barranco con el Canal de Monegros. Dicha obra de drenaje transversal, no será capaz de gestionar la totalidad de los caudales aportados por la avenida de la rotura, por lo que, finalmente, gran parte del volumen del agua acabará en el interior del Canal de Monegros desbordándose ligeramente en la primera curva situada aguas abajo no superando el 1m^3/s.

Como se ha mencionado, la avenida continuará en la medida de lo posible a través de la obra de drenaje transversal, la cual conseguirá evacuar un máximo de 5m^3/s. Este caudal dicurriá en dirección norte por el desagüe D-46-6-hasta alcanzar el desagüe principal D-46.

Por su parte el desagüe D-46 discurre en dirección este, con una pendiente similar a la de sus afluentes a lo largo de 6 km hasta el punto de control donde la avenida ordinaria determinada por el CEDEX para un periodo de retorno de 3,5 años es de 9 m^3/s. Si bien la avenida finaliza unos 4 km antes del punto de control, se determina que, debido a los bajos caudales transportados (inferiores a 1m^3/s), su escaso avance en el tiempo y su poca entidad respecto a la capacidad del barranco para una crecida ordinaria, no se requiere alargar más la simulación.

En los siguientes apartados se analizarán las afecciones derivadas de la rotura en función de las distintas categorías que marca la guía técnica.

6.2.3 AFECCIONES

A continuación, se recogen los criterios de valoración del daño provocado por la rotura de una balsa, recogidos en la Guía Técnica de Clasificación de presas de noviembre de 2021:

Siguiendo con las indicaciones del apartado 2.2 de la Guía Técnica para la definición de las categorías:

- Categoría A: presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede afectar gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales, o producir daños materiales o medioambientales muy importantes.
- Categoría B: presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños materiales o medioambientales importantes o afectar a un reducido número de viviendas.
- Categoría C: presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede producir daños materiales de moderada importancia y sólo incidentalmente pérdida de vidas humanas. En todo caso a esta categoría pertenecerán todas las presas no incluidas en las Categorías A o B.

Los aspectos que deben ser considerados en el proceso de valoración según la Guía son:

- Riesgo potencial a vidas humanas. Población en riesgo.
- Afecciones a servicios esenciales
- Daños materiales
- Daños medioambientales

Se evaluarán los daños potenciales para cada uno de los citados 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.

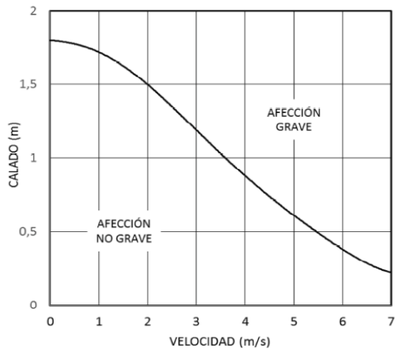
6.2.3.1 AFECCIÓN POTENCIAL A LAS VIDAS HUMANAS

De acuerdo con lo expuesto en la guía técnica se define el riesgo potencial para las vidas humanas en función de la población en riesgo a lo largo de la avenida. La guía expone tres definiciones correspondientes con cada una de las categorías de clasificación:

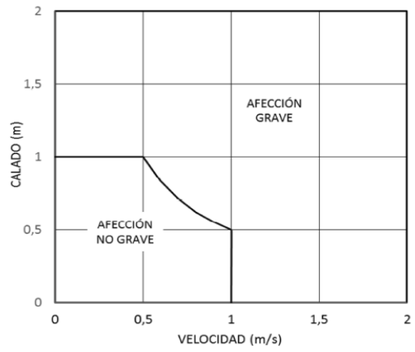
CATEGORÍA	DEFINICIÓN RIESGO
A	Se asignará la categoría A cuando se produzca "afección grave" a más de cinco viviendas
B	Se asignará la categoría B cuando se produzca "afección grave" a un número comprendido entre una y cinco viviendas.
C	El calificativo de incidental -asociado a la clasificación en la categoría C- se aplicará a la presencia ocasional, y no previsible en el tiempo, de personas en la llanura de inundación. No podrá admitirse 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.

La categoría de afección grave o no grave se aplicará en función de los parámetros de calado y velocidad recogidos en la "Figura 1. Evaluación de la gravedad de las afecciones en núcleos de población y en viviendas aisladas" de la mencionada guía

a) Núcleos de población



b) Viviendas aisladas



Una vez analizado con detalle las posibles edificaciones habitables, y habiendo comprobado que en la trayectoria del flujo del agua procedente de la balsa no se encuentra con ninguna vivienda, y a su vez, con ninguna zona de acampada estable o zona en la que se produzcan aglomeraciones de personas de manera habitual, se puede determinar que **solo podría causar pérdida de vidas humanas de manera incidental.**

6.2.3.2 AFECCIÓN A SERVICIOS ESENCIALES

Se entenderán como tales 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.
- Sistema de comunicaciones.
- Sistema de transporte

La guía expone la siguiente clasificación, en función de las afecciones a servicios senciales:

CATEGORÍA	DEFINICIÓN RIESGO
A	La "afección grave" a un servicio esencial dará lugar a la clasificación en la categoría A.
NO A	No se producen "afecciones graves" a servicios esenciales

La asignación del calificativo "grave" se efectuará en función del calado y la velocidad de la onda de rotura en el punto de afección, de acuerdo al criterio recogido en la "Figura 2. Evaluación de la gravedad de las afecciones del tipo servicios esenciales, daños materiales, aspectos medioambientales, histórico-artísticos o culturales u otros". Dicha figura Corresponde con la ya presentada anteriormente para las afecciones sobre viviendas aisaldas (Art. 9.2 del RDPH.).

El Canal de Monegros no se considera como servicio esencial debido a que su mal funcionamiento no afectaría a poblaciones mayores de 10.000 habitantes. Para realizar este análisis se realiza un estudio de las poblaciones situadas aguas abajo constatando que, de la suma de las 17 poblaciones que se verían afectadas, apenas se alcanzarían los 6.500 habitantes. A continuación, se presenta la relación de los habitantes por población:

Población	Habitantes
Bujaraloz	1.005
La Almolda	567
Pallaruelo	105
Cartuja de Monegros	259
Lanaja	1.202
Robres	541
Senés de Alcubierre	41
Frula	309
Torralba de Aragón	103
Valfonda de Santa Ana	215
Torres de Barbués	266
Almuniente	471
Montesusín	241
Algayón	239
Orillena	205
San juan de flumen	343
Cantalobos	101
Totales	**6.213**

La población de Sariñena no se incluye en el listado anterior al no abastecerse desde el canal de Monegros. Su abastecimiento natural corresponde a la captación ubicada en la Acequia de Valdera y, en caso de mal funcionamiento, desde el Canal del Flumen.

Respecto a las afecciones sobre servicios esenciales, la avenida **NO produce afecciones graves a ningún servicio esencial a lo largo de su recorrido.**

6.2.3.3 DAÑOS MATERIALES

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

Los daños materiales se evaluarán en función de los siguientes grupos:

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

La guía expone tres definiciones correspondientes con cada una de las categorías de clasificación:

CATEGORÍA	DEFINICIÓN RIESGO
A	tendrán la consideración de daños muy importantes -clasificación en la categoría A- la afección grave a más de 50 instalaciones/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.
B	Tendrán la consideración de daños importantes -clasificación en la categoría B- la afección grave a más de 10 instalaciones/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.
C	Los daños materiales que no rebasen estos últimos umbrales tendrán la consideración de moderados -clasificación en la categoría C-.

La asignación del calificativo "grave" se efectuará en función del calado y la velocidad de la onda de rotura en el punto de afección, de acuerdo al criterio recogido en la "Figura 2. Evaluación de la gravedad de las afecciones del tipo servicios esenciales, daños materiales, aspectos medioambientales, histórico-artísticos o culturales u otros". Dicha figura Corresponde con la ya presentada anteriormente para las afecciones sobre viviendas aisaldas (Art. 9.2 del RDPH.)

La llanura de inundación afecta a una superficie inferiror 1.000 hectáreas por lo que los daños materiales son de carácter moderado.

En relación a las infraestructuras, no se ve afectada ninguna a lo largo del recorrido de la avenida

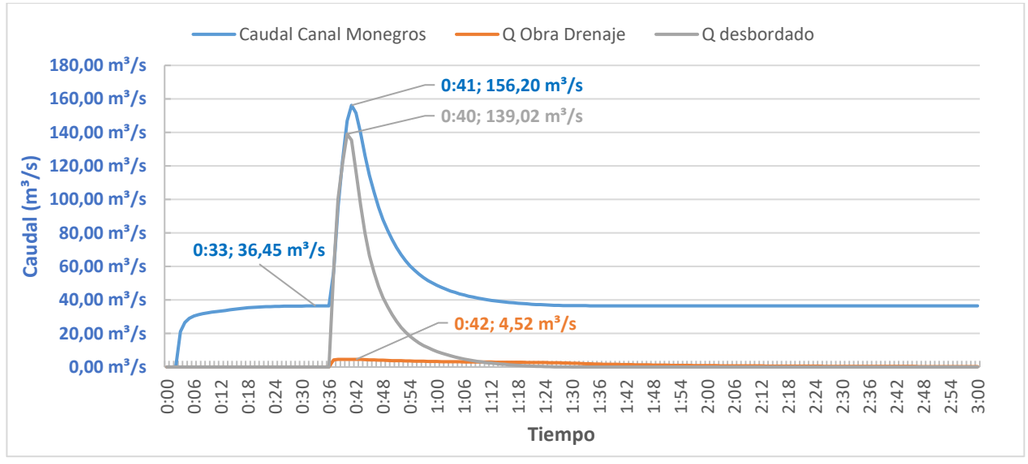
La llanura de inundación no afecta a ninguna propiedad rústica, pero sin embargo se considerará como daño material las afecciones sobre el camino de servicio sobre el Canal de Monegros al no poder incluirse en otra categoría.

Se exponen los datos correspondientes a la interacción de la avenida con el drenaje transversal del Canal de Monegros y su posterior vertido sobre este, con el fin de justificar que dicha infraestructura es capaz de gestionar las avenidas que provocaría la hipótesis de rotura y que, por lo tanto, no se producirían afecciones. Para ello se establece, además del punto de control propio del drenaje transversal, un punto aguas abajo del canal con el fin de conocer los caudales que circulan por el mismo.



El mencionado drenaje transversal, consiste en un marco prefabricado abovedado de hormigón de 2,2 metros de ancho por 0,75 metros de alto en su parte más alta. Dicha obra se encuentra ubicada tanto en el "Anexo 3 Planos de la avenida" como en el "Anexo 1 Reportaje fotográfico" denominándose en ambos "ODT 1".

En el siguiente gráfico se representan los datos obetenidos de la simulación:



Como se puede apreciar en el anterior gráfico, el caudal circulante a través del drenaje transversal corresponde con su capacidad máxima (4,52 m^3/s) dado que no es capaz de absorber toda la onda procedente de la avenida. La diferencia entre el caudal circulante por el drenaje transversal, y el caudal de la avenida, se vierte sobre el Canal de Monegros (139,02 m^3/s). Este hecho se puede comprobar en los crecimientos de caudal observados en el punto de control representado inmediatamente aguas abajo. En los primeros instantes circula un caudal de 36,5 m^3/s hasta el minuto 33 correspondientes con el caudal de entrada definido en las condiciones de contorno de entrada anteriormente. En el momento que se produce el sobrevertido aumenta hasta el minuto 41 hasta alcanzar los 156,20 m^3/s.

Respecto a las afecciones sobre el camino, se considera una afección grave sobre una propiedad rústica o instalación y, al tratarse de la única que se produce debido a la avenida, se considera afecciones de carácter moderado.

6.2.3.4 DAÑOS MEDIOAMBIENTALES, HISTÓRICO-ARTÍSTICOS O 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 Naturales, Parques Regionales u otros). De esta manera, la guía expone tres definiciones correspondientes con cada una de las categorías de clasificación:

CATEGORÍA	DEFINICIÓN RIESGO
A	Tendrán la consideración de daños muy importantes -clasificación en la categoría A- la afección "grave" a elementos con figuras de protección a nivel estatal.
B	Tendrán la consideración de daños importantes -clasificación en la categoría B- la afección "grave" a elementos catalogados a nivel autonómico.
C	Los daños materiales que no rebasen estos últimos umbrales tendrán la consideración de moderados -clasificación en la categoría C-.

La asignación del calificativo "grave" se efectuará en función del calado y la velocidad de la onda de rotura cuando se se supere el umbral representando en "Figura 2. Evaluación de la gravedad de las afecciones del tipo servicios esenciales, daños materiales, aspectos medioambientales, histórico-artísticos o culturales u otros" en una superficie superior a 1.000 ha. Dicha figura corresponde con la ya presentada anteriormente para las afecciones sobre viviendas aisaldas (Art. 9.2 del RDPH)

Han sido consultadas los bienes de interés cultural de la zona se ha podido comprobar que no existe una zona de afección sobre el mismo a lo largo de la avenida.

De la misma manera, han sido consultadas las zonas protegidas medioambientalmente y se ha podido comprobar que no existe ninguna zona protegida. Las afeciones catalogadas como graves son mínimas y no se supera en ningún caso las 1.000 ha.

No se producen afecciones de carácter general superiores a las 1.000 ha por lo que no se producirá una afección de caracter grave en ningún caso.

6.3 PLANOS DEL ANÁLISIS DE LA AVENIDA

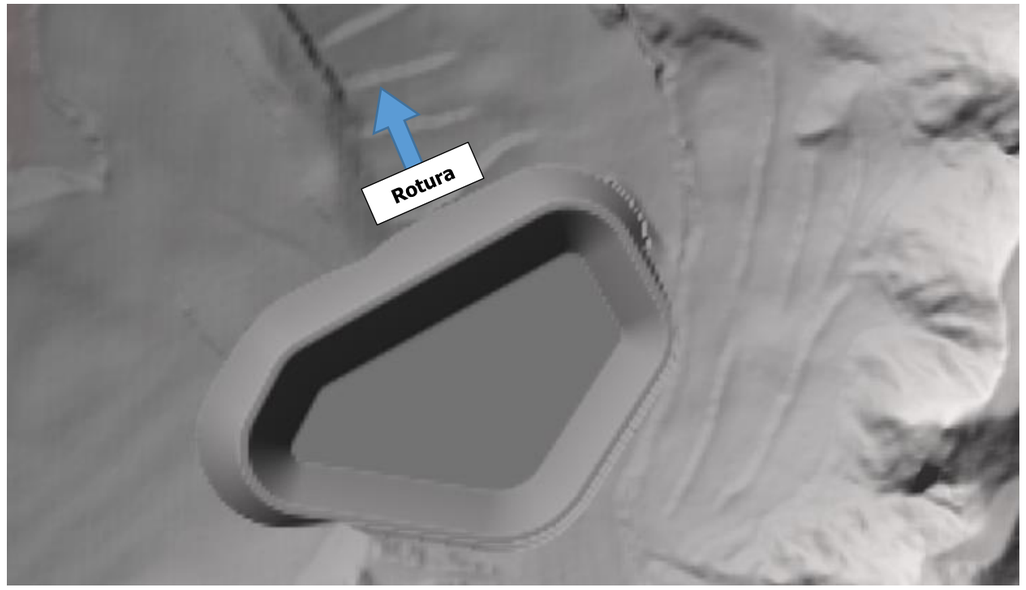
En el Anexo 3. Planos del análisis de la avenida que se adjunta con el presente informe, se incluyen los siguientes planos con el objeto de complementar la descripción de las afecciones:

- Plano de calados de la avenida.
- Plano de velocidades de la avenida.
- Plano de tiempos de llegada de la avenida

7 ESCENARIO DE ROTURA INDIVIDUAL A CORONACIÓM

Con el fin de analizar correctamente el riesgo potencial que se puediera derivarse de la rotura de la presente balsa, se realiza la simulación por el talud más desfavorable. En la siguiente imagen se recoge el punto más desfavorable para la rotura, así como su perfil.

Punto de rotura más desfavorable (Perfil 0+125)



7.1 PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN

7.1.1 CONDICIONES INICIALES

Las condiciones iniciales del modelo propuesto antes de producirse la simulación de la rotura, son las siguientes:

El terreno se considera en condiciones secas y sin ningún tipo de acumulación previa de agua en la malla de calculo. Este parámetro de "humedad" del suelo debe ser cero dado que el programa no tiene en cuenta los efectos de infiltración, y, este hecho, ya de por sí, genera un resultado aguas abajo superior al esperado realmente.

El nivel de agua en la presa objeto de la clasificación se situa en la cota Coronación. 425,00 m.s.n.m. de acuerdo a lo establecido en la norma para roturas individuales sin avenida.

7.1.2 CONDICIONES DE CONTORNO

Existen dos condiciones de contorno dentro de la modelización en el software de cálculo, una de entrada y otra de salida:

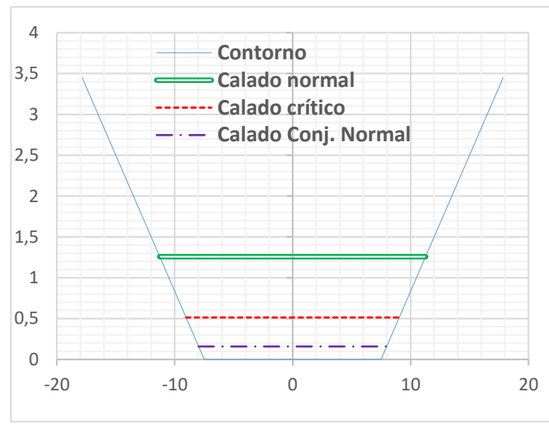
<u>Las condiciones de contorno de entrada serán de dos tipos:</u>

- Las condiciones generadas por la simulación de la brecha a partir de los datos introducidos en el programa de cálculo y generados a partir de las fórmulas expuestas por la guía técnica para su dimensionado.

- En adición a los caudales generados por el cálculo de la brecha, se determina un caudal de entrada en el Canal de Monegros en su capacidad habitual en las campañas de riego 55 m^3/s. Este caudal circulante por el canal de monegros será constante a lo largo de toda la simulación y tiene como fin determinar fielmente los efectos que aplica el canal lleno en su nivel de explotación, en su encuentro con la avenida provocada por la rotura de la balsa. Como se verá posteriormente en los sucesivos apartados, los caudales procedentes de la hipotética rotura de la balsa por su parte más desfavorable, se dirigen hacia dicho canal. Debido a que los modelos digitales del terreno, reflejan las masas de agua y por lo tanto su nivel, el caudal circulante en la simulación será menor al tener que restarle el nivel observado del canal respecto al fondo (388,0m - 386,75m = 1,25m). El nivel de 1,25 corresponde según la formula de manning a 18,5 m^3/s según las dimensiones del canal de Monegros.

Características Canal

Sección		
B	15	m
z1	3	m
z2	3	m
Altura máxima	3,45	m
Rugosidad n		
Rugosidad n	0,013	
Pendiente i		
Pendiente i	0,01	%
Caudal Q (1,25 m)		
Caudal Q	18,5	m^3/s



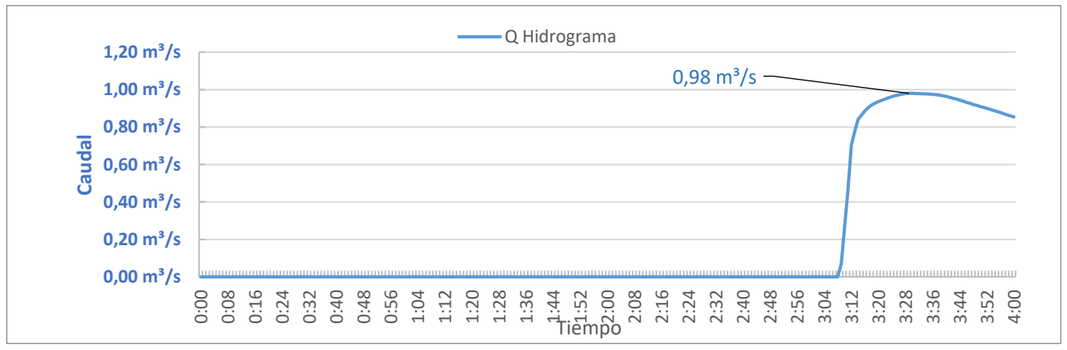
- De esta manera el caudal circulante a la entrada para la simulación será de 36,5 m^3/s.

De la misma manera, las condiciones de contorno de salida serán de dos tipos:

La primera condición de contorno de salida se sitúa en la parte baja del Canal de Monegros con el fin de simular la continuidad del mismo aguas abajo. Se coloca suficientemente aguas abajo de la zona de estudio para que la simulación pueda realizarse aguas arriba y adoptar el calado que corresponda (Subcrítico/Crítico/Supercrítico). La condición de contorno está representada en color azul en la siguiente imagen.



La segunda condición de contorno de salida se sitúa en el Barranco de la Sardeta. Se decide que el fin de la simulación en este punto es suficiente puesto que, por más que se alarge el avance de la avenida es mínimo y completamente encauzado. Como se puede comprobar en la gráfica expuesta a continuación, el pico máximo de los caudales que llegan hasta la mencionada condición de salida es de 0,98 m^3/s, muy inferior al primer punto de control situado aguas abajo en el mismo desagüe obtenido para un periodo de retorno de 3,5 años determinado en 9 m^3/s. En este punto (X=720.287; Y=4.637.103) se conoce el caudal máximo de la crecida ordinaria del cuace gracias a la aplicación CAUMAX desarrollada por el CEDEX.



La condición de contono se coloca suficientemente aguas debajo de la zona de estudio para que la simulación pueda realizarse hacia aguas arriba y adoptar el calado que corresponda (Subcrítico/Crítico/Supercrítico).

7.1.3 PARÁMETROS DE TIEMPO

Se han empleado los siguientes parámetros temporales para la simulación de la rotura.

PARÁMETROS DE TIEMPO	
Inicio de la simulación	0 horas y 0 minutos
Inicio de entrada de caudales en el Canal de Monegros	0 horas y 0 minutos
Inicio de la formación de la brecha*	0 horas y 30 minutos
Tiempo máximo de la simulación	4 horas y 00 minutos
Intervalos de resultados	60 segundos
Intervalos de computación	1 segundo

* La brecha se produce a la media hora de simulación para permitir que el caudal circulante por el Canal de Monegros se estabilice. De esta manera, se producirá la situación más desfavorable de concurrencia de eventos: Rotura de la balsa coincidente con el Canal de Monegros en su nivel normal de explotación.

7.1.4 CARACTERISTICAS DE LA BRECHA DE LA ROTURA

La tipología de la balsa a clasificar se encuentra recogida dentro de la categoría de presas de materiales sueltos.

- Tiempo de rotura (T, en h): a efectos de clasificación se define como tiempo de rotura de la presa el tiempo de desarrollo de la brecha, que es el tiempo que transcurre desde que se ha iniciado la brecha (o tubificación) hasta que ésta llega a su sección final. En este tiempo se produce la erosión y arrastre de material que dan lugar al agrandamiento progresivo de la rotura. Puede determinarse mediante la siguiente fórmula:

$$T = 5{,}62\ \frac{\sqrt{V_w}}{H_b}\ \textit{(Froehlich, 2008)}$$

  - Siendo V_W el volumen de agua almacenado en el embalse en el momento de la rotura (en hm^3) y Hb la altura de la brecha (en m). A efectos de la aplicación de esta fórmula se considerará que la altura de la brecha es igual a la altura de la presa sobre el cauce.

- Forma de la brecha: trapecial. De manera genérica se considerará 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 el citado 1H/1V en materiales no cohesivos hasta 0,33H/1V en materiales cohesivos.

$$B = 22{,}46\ K_0 {V_w}^{0{,}32} {H_b}^{0{,}04}\ \textit{(Froehlich, 2008)}$$

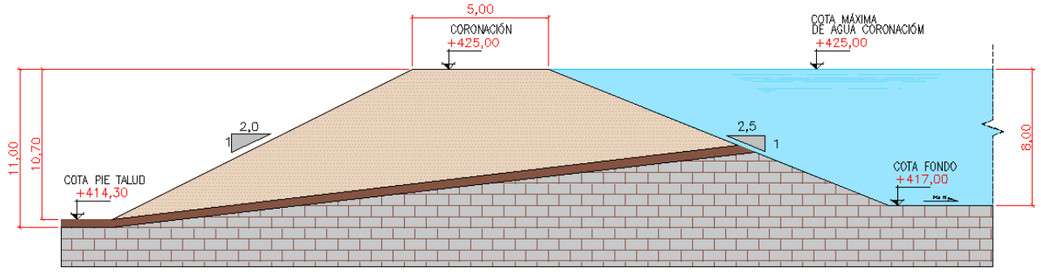
Donde Ko es un coeficiente que depende de la causa que origina la rotura de la presa (K_0=1,3 para roturas por sobrevertido y K_0=1 para el resto de roturas), V_W es el volumen de agua almacenado en el embalse en el momento de la rotura (en hm^3) y H_b la altura de la brecha (en m).

En la aplicación de esta fórmula se utilizará K_0=1 para el análisis del escenario sin avenida y K_0=1,3 para el escenario límite y para el análisis de la rotura encadenada de presas de materiales sueltos situadas aguas abajo de la de estudio; y se considerará que la altura de la brecha es igual a la altura de la presa sobre el cauce (H_b=H).

El volumen máximo movilizable es el volumen utilizado para la simulación de la posible rotura de la balsa analizada. El volumen máximo movilizable considerado, es el comprendido entre la altura máxima hasta que podría elevarse el embalse en situaciones de episodios de precipitaciones extremas, y la cota de altura máxima sobre los cimientos, dado que, si se produjese una rotura, el agua almacenada entre la cota de fondo y la de los cimientos permanecería embalsada.

Volumen máximo movilizable = Volumen Cota Coronación – Volumen Cota Cimiento

Volumen máximo **movilizable** = 116.362,39m^3 – 0 m^3 = **116.362,39 m^3**



A continuación, se presenta la cubicación completa de la balsa hasta la cota NAMO:

Descripción		Cotas (m)	Superficie (m^2)	Volumen acumulado (m^3)
Cota Fondo		417,00	10.015,9	0,00
Movilizable		418,00	11.062,3	10.539
		419,00	12.148,0	22.144
		420,00	13.273,0	34.855
		421,00	14.437,3	48.710
		422,00	15.640,8	63.749
		423,00	16.883,7	80.011
	NAMO	424,00	18.165,7	97.536
	CORO	425,00	19.487,1	116.362

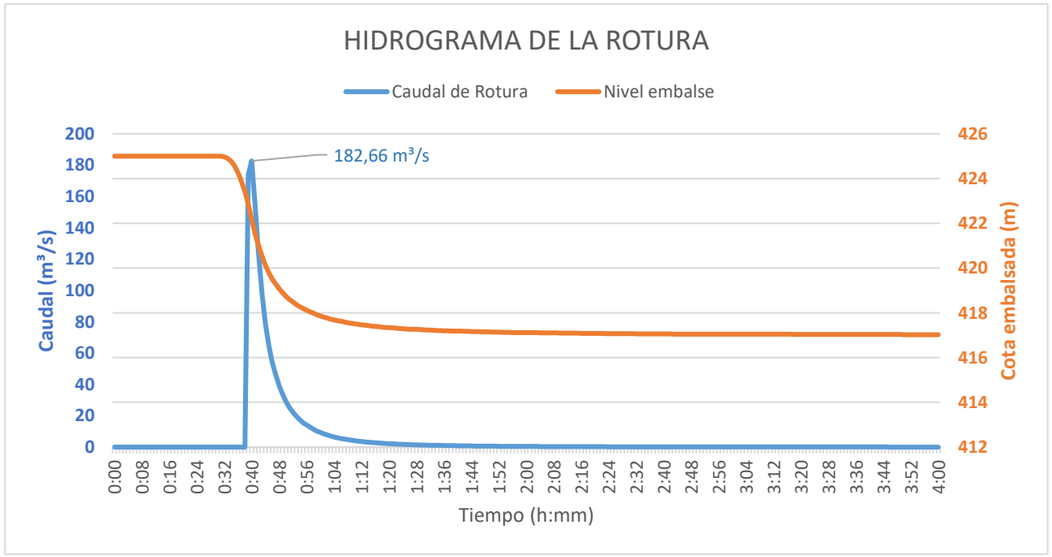
Dichos parámetros (tiempo de formación y ancho de la brecha), han sido introducidos debidamente en el apartado para simulación de brechas del software de cálculo HEC-RAS 5.0.5. La formación de la brecha en el programa de cálculo considera al igual que la citada Guía que la formación será trapecial. La rotura analizada según el riesgo potencial se recoge a continuación:

Dimensiones de la brecha de la rotura (FORMA DE ROTURA: Trapecial)		
Localización	**Cota (m)**	**Ancho (m)**
Zona superior de la brecha	425,00	23,420 m
Zona media de la brecha	419,50	12,420 m
Zona inferior de la brecha	414,00	1,420 m
Tiempo de rotura		
h	**min**	**S**
0,174	10,46	627
Volumen rotura (m^3)	**116.362,39**	
Altura sobre cimientos (m)	**11,00**	
Cimiento (m.s.n.m.)	**414,00**	
Coronación (m.s.n.m.)	**425,00**	

7.2 RESULTADOS DE LA ROTURA

7.2.1 HIDROGRAMA DE LA ROTURA

La avenida obtenida según las características de la balsa analizada corresponde con el siguiente gráfico de evolución de caudales.



En la siguiente tabla se recogen los datos numéricos de los valores de caudal y tiempo que definen el hidrograma anterior.

Tiempo (h:min)	Caudal (m^3/s)	Nivel del agua embalsada
0:00	0,00	425,00
0:01	0,00	425,00
0:02	0,00	425,00
0:03	0,00	425,00
0:04	0,00	425,00
0:05	0,00	425,00
0:06	0,00	425,00
0:07	0,00	425,00
0:08	0,00	425,00
0:09	0,00	425,00
0:10	0,00	425,00
0:11	0,00	425,00
0:12	0,00	425,00
0:13	0,00	425,00
0:14	0,00	425,00
0:15	0,00	425,00
0:16	0,00	425,00
0:17	0,00	425,00
0:18	0,00	425,00
0:19	0,00	425,00
0:20	0,00	425,00
0:21	0,00	425,00
0:22	0,00	425,00
0:23	0,00	425,00
0:24	0,00	425,00
0:25	0,00	425,00
0:26	0,00	425,00
0:27	0,00	425,00
0:28	0,00	425,00
0:29	0,00	425,00
0:30	0,00	425,00
0:31	0,00	425,00
0:32	0,00	424,97
0:33	0,00	424,90
0:34	0,00	424,77
0:35	0,00	424,57
0:36	0,00	424,28
0:37	0,00	423,89
0:38	0,00	423,41
0:39	174,08	422,86
0:40	**182,66**	**422,19**
0:41	154,81	421,55
0:42	124,35	421,03
0:43	97,84	420,53
0:44	78,76	420,12
0:45	64,87	419,79
0:46	54,13	419,51
0:47	45,82	419,28
0:48	39,25	419,08
0:49	33,72	418,90
0:50	29,09	418,74
0:51	25,32	418,60
0:52	22,22	418,48
0:53	19,63	418,37
0:54	17,46	418,27
0:55	15,61	418,19
0:56	14,03	418,11
0:57	12,66	418,04
0:58	11,44	417,98
0:59	10,31	417,92
1:00	9,34	417,86
2:00	0,42	417,11
3:00	0,10	417,04
4:00	0,04	417,02

7.2.2 LLANURA DE INUNDACIÓN

A continuación, se presenta la simulación realizada y se analizan los resultados obtenidos.

La llanura de inundación es generada tras la rotura de la balsa por su muro de tierras situado en el este. El talud de este muro, es el que más desarrollo posee y por tanto genera una rotura más desfavorable. Se puede visualizar en la siguiente imagen y en los planos que se incluyen en el Anexo N.º3.



Los resultados obtenidos en cuanto a calados y velocidades máximas pueden ser consultados en el Anexo N.º3

Aguas abajo de la balsa la orografía muestra una ligera pendiente siguiendo la dirección norte, de aproximadamente 4 % de media hasta llegar a la obra de drenaje transversal situada en la intersección del barranco con el Canal de Monegros. Dicha obra de drenaje transversal, no será capaz de gestionar la totalidad de los caudales aportados por la avenida de la rotura, por lo que, finalmente, gran parte del volumen del agua acabará en el interior del Canal de Monegros desbordándose ligeramente en la primera curva situada aguas abajo no superando el $1m^3/s$.

Como se ha mencionado, la avenida continuará en la medida de lo posible a través de la obra de drenaje transversal, la cual conseguirá evacuar un máximo de $5m^3/s$. Este caudal dicurriá en dirección norte por el desagüe D-46-6-hasta alcanzar el desagüe principal D-46.

Por su parte el desagüe D-46 discurre en dirección este, con una pendiente similar a la de sus afluentes a lo largo de 6 km hasta el punto de control donde la avenida ordinaria determinada por el CEDEX para un periodo de retorno de 3,5 años es de 9 m^3/s. Si bien la avenida finaliza unos 4 km antes del punto de control, se determina que, debido a los bajos caudales transportados (inferiores a $1m^3/s$), su escaso avance en el tiempo y su poca entidad respecto a la capacidad del barranco para una crecida ordinaria, no se requiere alargar más la simulación.

En los siguientes apartados se analizarán las afecciones derivadas de la rotura en función de las distintas categorías que marca la guía técnica.

7.2.3 AFECCIONES

A continuación, se recogen los criterios de valoración del daño provocado por la rotura de una balsa, recogidos en la Guía Técnica de Clasificación de presas de noviembre de 2021:

Siguiendo con las indicaciones del apartado 2.2 de la Guía Técnica para la definición de las categorías:

- Categoría A: presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede afectar gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales, o producir daños materiales o medioambientales muy importantes.
- Categoría B: presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños materiales o medioambientales importantes o afectar a un reducido número de viviendas.
- Categoría C: presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede producir daños materiales de moderada importancia y sólo incidentalmente pérdida de vidas humanas. En todo caso a esta categoría pertenecerán todas las presas no incluidas en las Categorías A o B.

Los aspectos que deben ser considerados en el proceso de valoración según la Guía son:

- Riesgo potencial a vidas humanas. Población en riesgo.
- Afecciones a servicios esenciales
- Daños materiales
- Daños medioambientales

Se evaluarán los daños potenciales para cada uno de los citados 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.

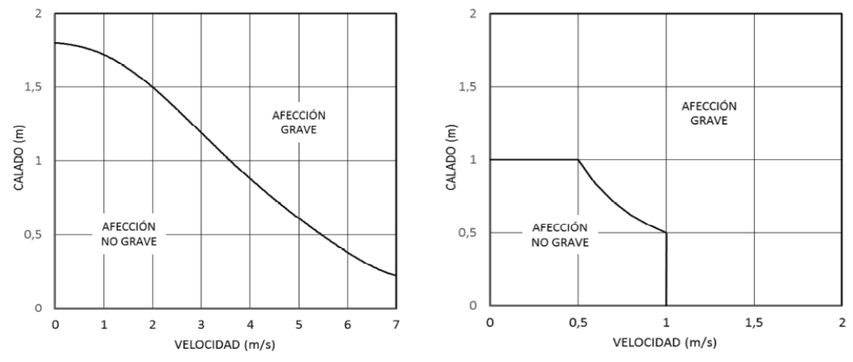
7.2.3.1 AFECCIÓN POTENCIAL A LAS VIDAS HUMANAS

De acuerdo con lo expuesto en la guía técnica se define el riesgo potencial para las vidas humanas en función de la población en riesgo a lo largo de la avenida. La guía expone tres definiciones correspondientes con cada una de las categorías de clasificación:

CATEGORÍA	DEFINICIÓN RIESGO
A	Se asignará la categoría A cuando se produzca "afección grave" a más de cinco viviendas
B	Se asignará la categoría B cuando se produzca "afección grave" a un número comprendido entre una y cinco viviendas.
C	El calificativo de incidental -asociado a la clasificación en la categoría C- se aplicará a la presencia ocasional, y no previsible en el tiempo, de personas en la llanura de inundación. No podrá admitirse 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.

La categoría de afección grave o no grave se aplicará en función de los parámetros de calado y velocidad recogidos en la "Figura 1. Evaluación de la gravedad de las afecciones en núcleos de población y en viviendas aisladas" de la mencionada guía

a) Núcleos de población *b) Viviendas aisladas*



Una vez analizado con detalle las posibles edificaciones habitables, y habiendo comprobado que en la trayectoria del flujo del agua procedente de la balsa no se encuentra con ninguna vivienda, y a su vez, con ninguna zona de acampada estable o zona en la que se produzcan aglomeraciones de personas de manera habitual, se puede determinar que **solo podría causar pérdida de vidas humanas de manera incidental.**

7.2.3.2 AFECCIÓN A SERVICIOS ESENCIALES

Se entenderán como tales 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.
- Sistema de comunicaciones.
- Sistema de transporte

La guía expone la siguiente clasificación, en función de las afecciones a servicios senciales:

CATEGORÍA	DEFINICIÓN RIESGO
A	La "afección grave" a un servicio esencial dará lugar a la clasificación en la categoría A.
NO A	No se producen "afecciones graves" a servicios esenciales

La asignación del calificativo "grave" se efectuará en función del calado y la velocidad de la onda de rotura en el punto de afección, de acuerdo al criterio recogido en la "Figura 2. Evaluación de la gravedad de las afecciones del tipo servicios esenciales, daños materiales, aspectos medioambientales, histórico-artísticos o culturales u otros". Dicha figura Corresponde con la ya presentada anteriormente para las afecciones sobre viviendas aisaldas (Art. 9.2 del RDPH.).

El Canal de Monegros no se considera como servicio esencial debido a que su mal funcionamiento no afectaría a poblaciones mayores de 10.000 habitantes. Para realizar este análisis se realiza un estudio de las poblaciones situadas aguas abajo constatando que, de la suma de las 17 poblaciones que se verían afectadas, apenas se alcanzarían los 6.500 habitantes. A continuación, se presenta la relación de los habitantes por población:

Población	Habitantes
Bujaraloz	1.005
La Almolda	567
Pallaruelo	105
Cartuja de Monegros	259
Lanaja	1.202
Robres	541
Senés de Alcubierre	41
Frula	309
Torralba de Aragón	103

Población	Habitantes
Valfonda de Santa Ana	215
Torres de Barbués	266
Almuniente	471
Montesusín	241
Algayón	239
Orillena	205
San juan de flumen	343
Cantalobos	101
Totales	**6.213**

La población de Sariñena no se incluye en el listado anterior al no abastecerse desde el canal de Monegros. Su abastecimiento natural corresponde a la captación ubicada en la Acequia de Valdera y, en caso de mal funcionamiento, desde el Canal del Flumen.

Respecto a las afecciones sobre servicios esenciales, la avenida **NO produce afecciones graves a ningún servicio esencial a lo largo de su recorrido.**

7.2.3.3 DAÑOS MATERIALES

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

Los daños materiales se evaluarán en función de los siguientes grupos:

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

La guía expone tres definiciones correspondientes con cada una de las categorías de clasificación:

CATEGORÍA	DEFINICIÓN RIESGO
A	tendrán la consideración de daños muy importantes -clasificación en la categoría A- la afección grave a más de 50 instalaciones/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 ferrocarriles de vía ancha o de alta velocidad.
B	Tendrán la consideración de daños importantes -clasificación en la categoría B- la afección grave a más de 10 instalaciones/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.
C	Los daños materiales que no rebasen estos últimos umbrales tendrán la consideración de moderados -clasificación en la categoría C-.

La asignación del calificativo "grave" se efectuará en función del calado y la velocidad de la onda de rotura en el punto de afección, de acuerdo al criterio recogido en la "Figura 2. Evaluación de la gravedad de las afecciones del tipo servicios esenciales, daños materiales, aspectos medioambientales, histórico-artísticos o culturales u otros". Dicha figura Corresponde con la ya presentada anteriormente para las afecciones sobre viviendas aisaldas (Art. 9.2 del RDPH.)

La llanura de inundación afecta a una superficie inferiror 1.000 hectáreas por lo que los daños materiales son de carácter moderado.

En relación a las infraestructuras, no se ve afectada ninguna a lo largo del recorrido de la avenida

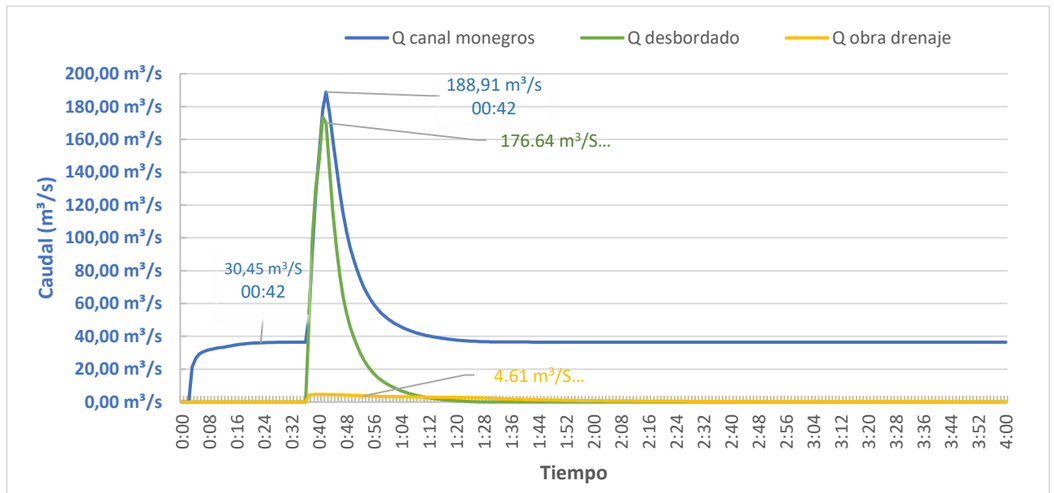
La llanura de inundación no afecta a ninguna propiedad rústica, pero sin embargo se considerará como daño material las afecciones sobre el camino de servicio sobre el Canal de Monegros al no poder incluirse en otra categoría.

Se exponen los datos correspondientes a la interacción de la avenida con el drenaje transversal del Canal de Monegros y su posterior vertido sobre este, con el fin de justificar que dicha infraestructura es capaz de gestionar las avenidas que provocaría la hipótesis de rotura y que, por lo tanto, no se producirían afecciones. Para ello se establece, además del punto de control propio del drenaje transversal, un punto aguas abajo del canal con el fin de conocer los caudales que circulan por el mismo.



El mencionado drenaje transversal, consiste en un marco prefabricado abovedado de hormigón de 2,2 metros de ancho por 0,75 metros de alto en su parte más alta. Dicha obra se encuentra ubicada tanto en el "Anexo 3 Planos de la avenida" como en el "Anexo 1 Reportaje fotográfico" denominándose en ambos "ODT 1".

En el siguiente gráfico se representan los datos obetenidos de la simulación:



Como se puede apreciar en el anterior gráfico, el caudal circulante a través del drenaje transversal corresponde con su capacidad máxima (4,61 m^3/s) dado que no es capaz de absorber toda la onda procedente de la avenida. La diferencia entre el caudal circulante por el drenaje transversal, y el caudal de la avenida, se vierte sobre el Canal de Monegros (176,64 m^3/s). Este hecho se puede comprobar en los crecimientos de caudal observados en el punto de control representado inmediatamente aguas abajo. En los primeros instantes circula un caudal de 36,5 m^3/s hasta el minuto 33 correspondientes con el caudal de entrada definido en las condiciones de contorno de entrada anteriormente. En el momento que se produce el sobrevertido aumenta hasta el minuto 42 hasta alcanzar los 188,91 m^3/s.

Respecto a las afecciones sobre el camino, se considera una afección grave sobre una propiedad rústica o instalación y, al tratarse de la única que se produce debido a la avenida, se considera afecciones de carácter moderado.

7.2.3.4 DAÑOS MEDIOAMBIENTALES, HISTÓRICO-ARTÍSTICOS O 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 Naturales, Parques Regionales u otros). De esta manera, la guía expone tres definiciones correspondientes con cada una de las categorías de clasificación:

CATEGORÍA	DEFINICIÓN RIESGO
A	Tendrán la consideración de daños muy importantes -clasificación en la categoría A- la afección "grave" a elementos con figuras de protección a nivel estatal.
B	Tendrán la consideración de daños importantes -clasificación en la categoría B- la afección "grave" a elementos catalogados a nivel autonómico.
C	Los daños materiales que no rebasen estos últimos umbrales tendrán la consideración de moderados -clasificación en la categoría C-.

La asignación del calificativo "grave" se efectuará en función del calado y la velocidad de la onda de rotura cuando se se supere el umbral representando en "Figura 2. Evaluación de la gravedad de las afecciones del tipo servicios esenciales, daños materiales, aspectos medioambientales, histórico-artísticos o culturales u otros" en una superficie superior a 1.000 ha. Dicha figura corresponde con la ya presentada anteriormente para las afecciones sobre viviendas aisaldas (Art. 9.2 del RDPH)

Han sido consultadas los bienes de interés cultural de la zona se ha podido comprobar que no existe una zona de afección sobre el mismo a lo largo de la avenida.

De la misma manera, han sido consultadas las zonas protegidas medioambientalmente y se ha podido comprobar que no existe ninguna zona protegida. Las afeciones catalogadas como graves son mínimas y no se supera en ningún caso las 1.000 ha.

No se producen afecciones de carácter general superiores a las 1.000 ha por lo que no se producirá una afección de caracter grave en ningún caso.

7.3 PLANOS DEL ANÁLISIS DE LA AVENIDA

En el Anexo 3. Planos del análisis de la avenida que se adjunta con el presente informe, se incluyen los siguientes planos con el objeto de complementar la descripción de las afecciones:

- Plano de calados de la avenida.
- Plano de velocidades de la avenida.
- Plano de tiempos de llegada de la avenida

8 PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN

A continuación, se recoge el cuadro resumen sobre las afecciones descritas con anterioridad:

AFECCIONES		CUANTIFICACIÓN	VALORACIÓN	CATEGORÍA
Riesgo potencial a vidas humanas. (Nº viviendas)		0	INCIDENTAL	C
Afecciones a servicios esenciales		0	NULA	NO es A
Daños materiales	Industrias, polígonos industriales y propiedades rusticas	1	MODERADA	C
	Superficie de cultivo	< 1.000 ha	MODERADA	C
	Carreteras	0	NULA	C
	Ferrocarriles	0	NULA	C
Daños medioambientales	Patrimonio (Nº BICs)	0	NULA	C
	Medioambiente (Nº figuras protegidas)	0	NULA	C

Por los mencionados criterios mencionados en los apartados desarrollados con anterioridad de acuerdo con la guía técnica para la clasificación de presas en fnción del riesgo potencial, se extraen las siguientes conclusiones.

- En cuanto a la afección potencial a las vidas humanas existe exclusivamente un riesgo incidental.
- No se producen afecciones graves sobre servicios esenciales.
- Los daños materiales son de carácter moderado.
- Los daños medioambientales son de carácter moderado y reversible.

Atendiendo a lo expuesto anteriormente, se puede concretar que queda suficientemente justificada la clasificación propuesta para la balsa estudiada de **Categoría C**, pues se cumplen con las condiciones exigibles para esta categoría.

Robres, noviembre de 2023

Por CINGRAL, S.L Empresa Consultora



D. Javier Mur Satué

Colegiado Nº 25.555 del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas

ANEXO 1.- REPORTAJE FOTOGRÁFICO

ÍNDICE

ANEXO 1.- REPORTAJE FOTOGRÁFICO

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PRESENTE APÉNDICE 1

2 FOTOGRAFÍAS DE LA ZONA DE ESTUDIO. 1

ANEXO 1.- REPORTAJE FOTOGRÁFICO

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PRESENTE APÉNDICE

En este apéndice se documentan de forma gráfica las características actuales de algunas de las infraestructuras o edificaciones existentes en la zona y que, de una u otra forma, pudieran verse afectadas por la avenida considerada en la hipótesis de rotura analizada en esta Propuesta de Clasificación.

Las fotografías han sido tomadas a lo largo de las distintas visitas realizadas al entorno de la zona de actuación.

2 FOTOGRAFÍAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.

0. Ubicación de la balsa



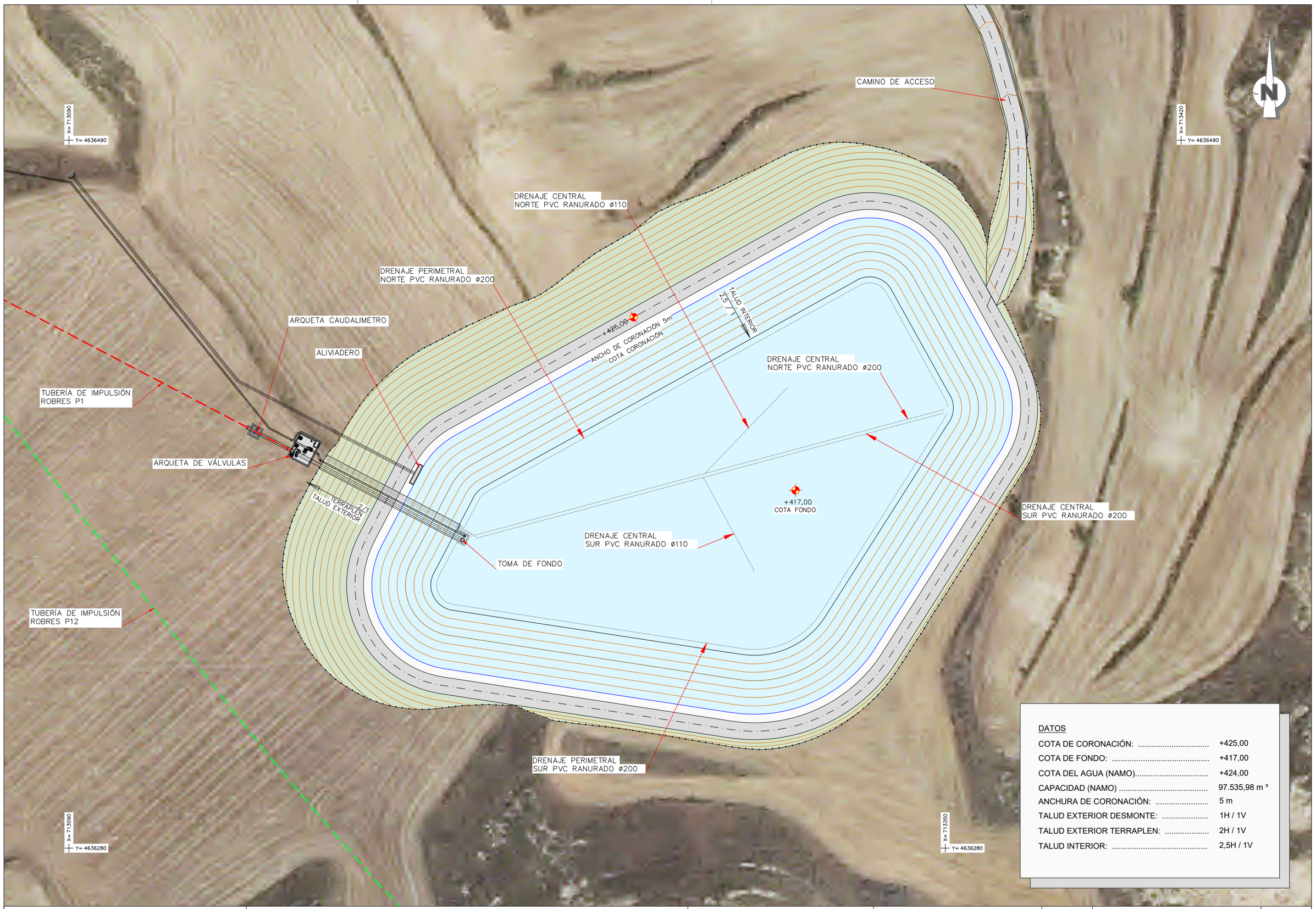
ODT 1. Obra Drenaje Transversal en Canal de Monegros



Elemento 1 Camino de Servicio en Canal de Monegros



ANEXO 2.- PLANOS: CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS



DATOS

COTA DE CORONACIÓN:	+425,00
COTA DE FONDO:	+417,00
COTA DEL AGUA (NAMO):	+424,00
CAPACIDAD (NAMO)	97.535,98 m ³
ANCHURA DE CORONACIÓN:	5 m
TALUD EXTERIOR DESMONTE:	1H / 1V
TALUD EXTERIOR TERRAPLEN:	2H / 1V
TALUD INTERIOR:	2,5H / 1V

PROMOTOR:
COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA

TITULO DEL PROYECTO:
PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA! COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA 1ª SECCIÓN (HUESCA)

CONSULTOR:
EL INGENIERO AGRÓNOMO
Fdo. DANIEL CAMEO MORENO
Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA

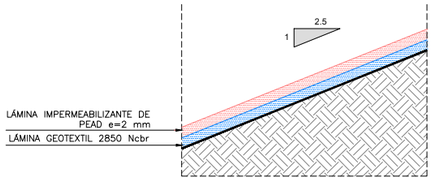
ESCALA: 1 : 1.000
0 5 10 15 20 m
UNE A3
GRÁFICAS

FECHA: NOVIEMBRE DE 2023
REFERENCIA: 22-009

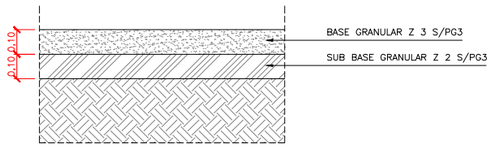
DESIGNACIÓN:
BALSA INTERMEDIA ROBRES
PLANTA GENERAL

Nº DE PLANO: 12.01
Nº DE HOJA: 1 de 1

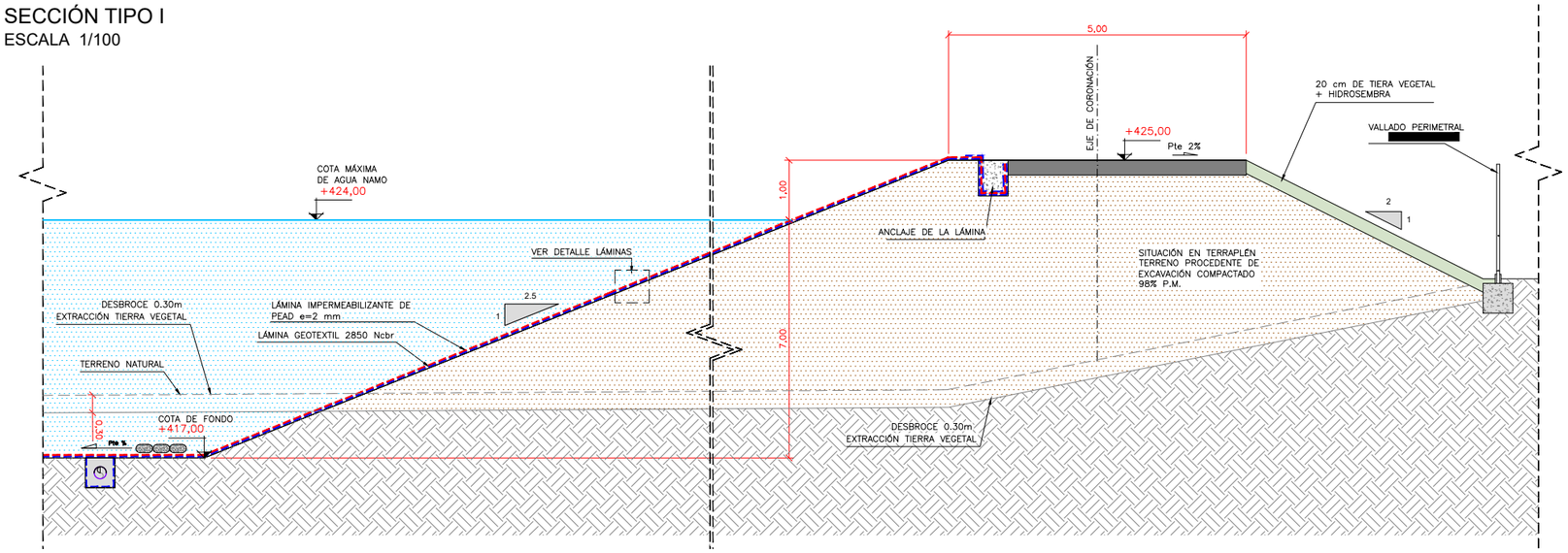
DETALLE DE LAS LÁMINAS
SIN ESCALA



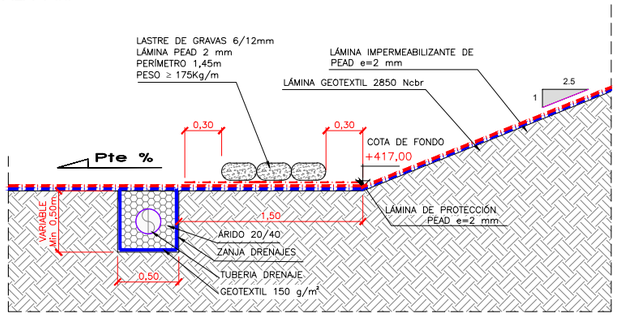
DETALLE DEL FIRME
SIN ESCALA



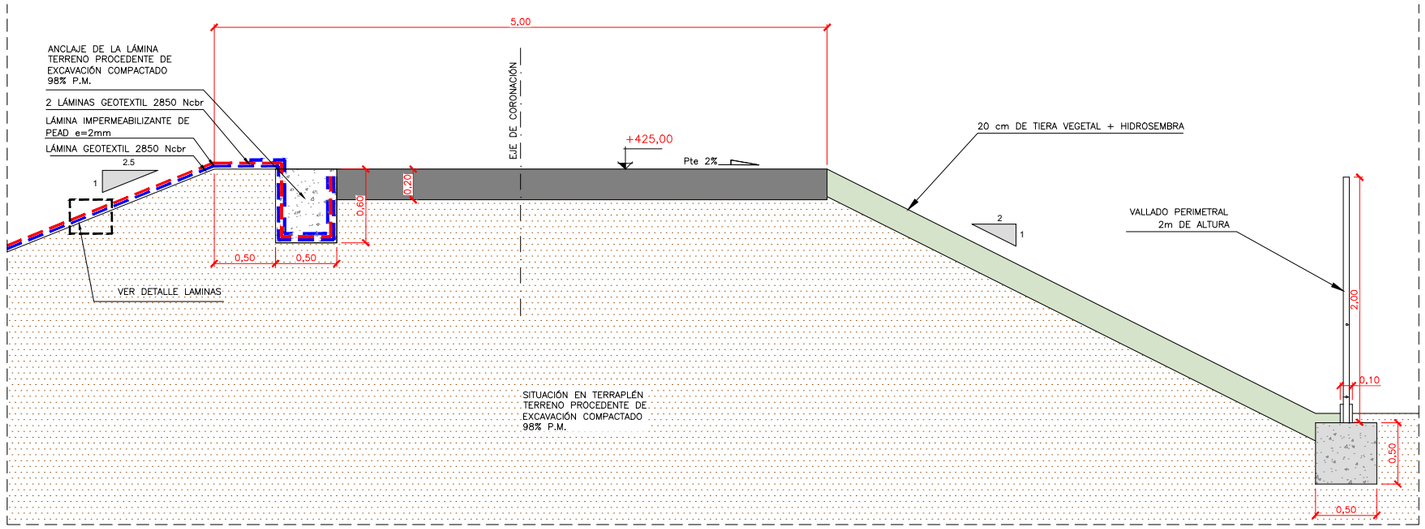
SECCIÓN TIPO I
ESCALA 1/100



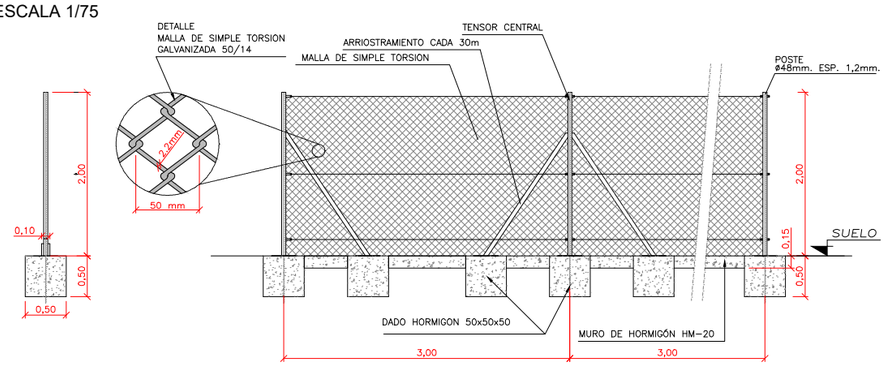
DETALLE ANCLAJE DE LA LÁMINA
ESCALA 1/50



DETALLE DE LA CORONACIÓN
ESCALA 1/50

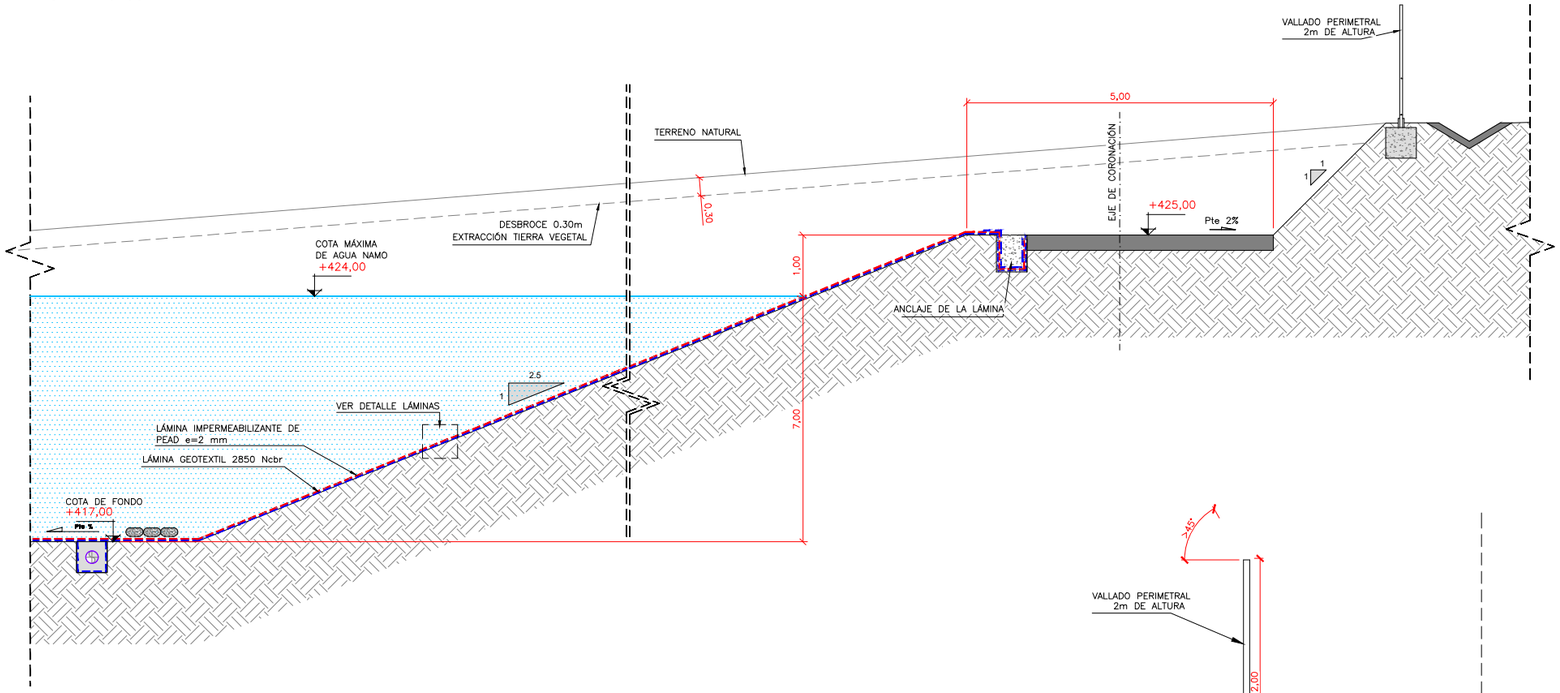


VALLADO PERIMETRAL
ALZADO
ESCALA 1/75

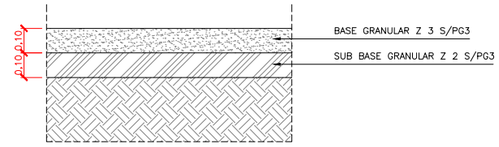


PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA! COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA 1ª SECCIÓN (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO AGRÓNOMO Fdo. DANIEL CAMEO MORENO Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: INDICADAS UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: BALSA INTERMEDIA ROBRES SECCION TIPO SECCION TIPO I	Nº DE PLANO: 12.07 Nº DE HOJA: 1 de 2

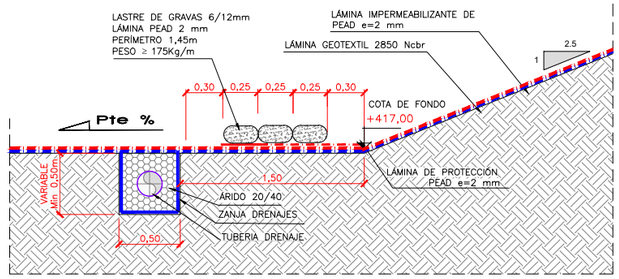
SECCIÓN TIPO II
ESCALA 1/100



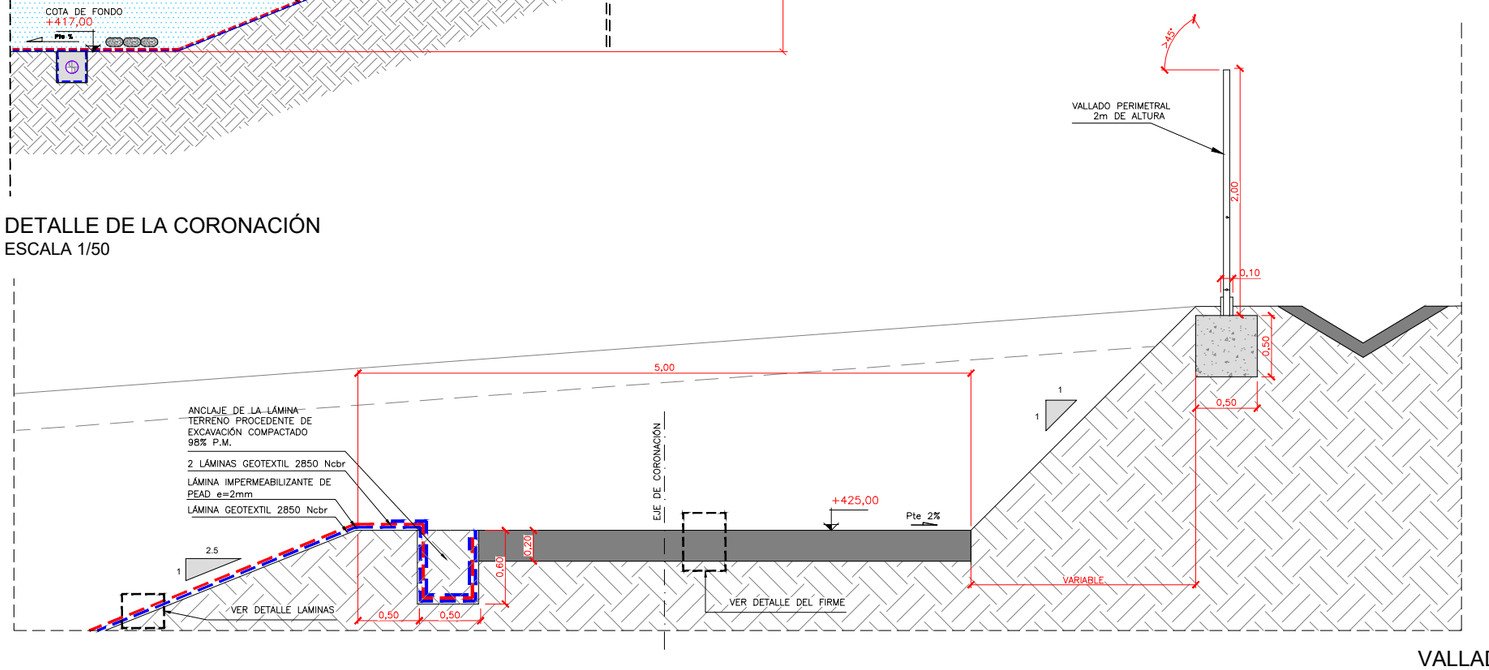
DETALLE DEL FIRME
SIN ESCALA



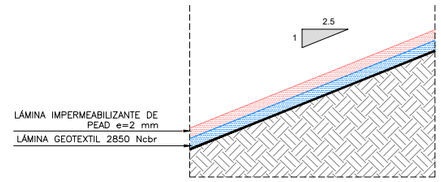
DETALLE ANCLAJE DE LA LÁMINA
ESCALA 1/50



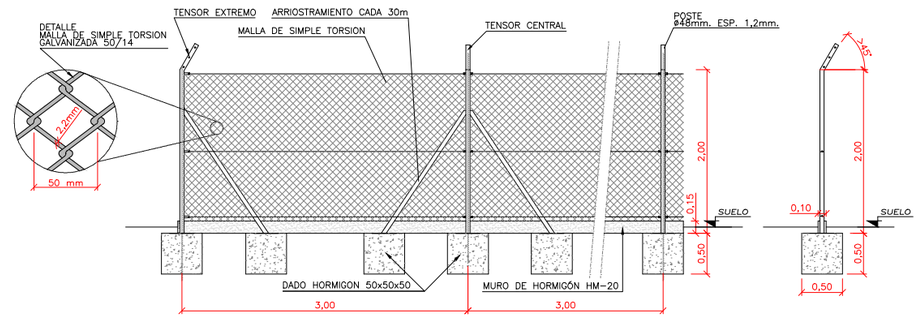
DETALLE DE LA CORONACIÓN
ESCALA 1/50



DETALLE DE LAS LÁMINAS
SIN ESCALA



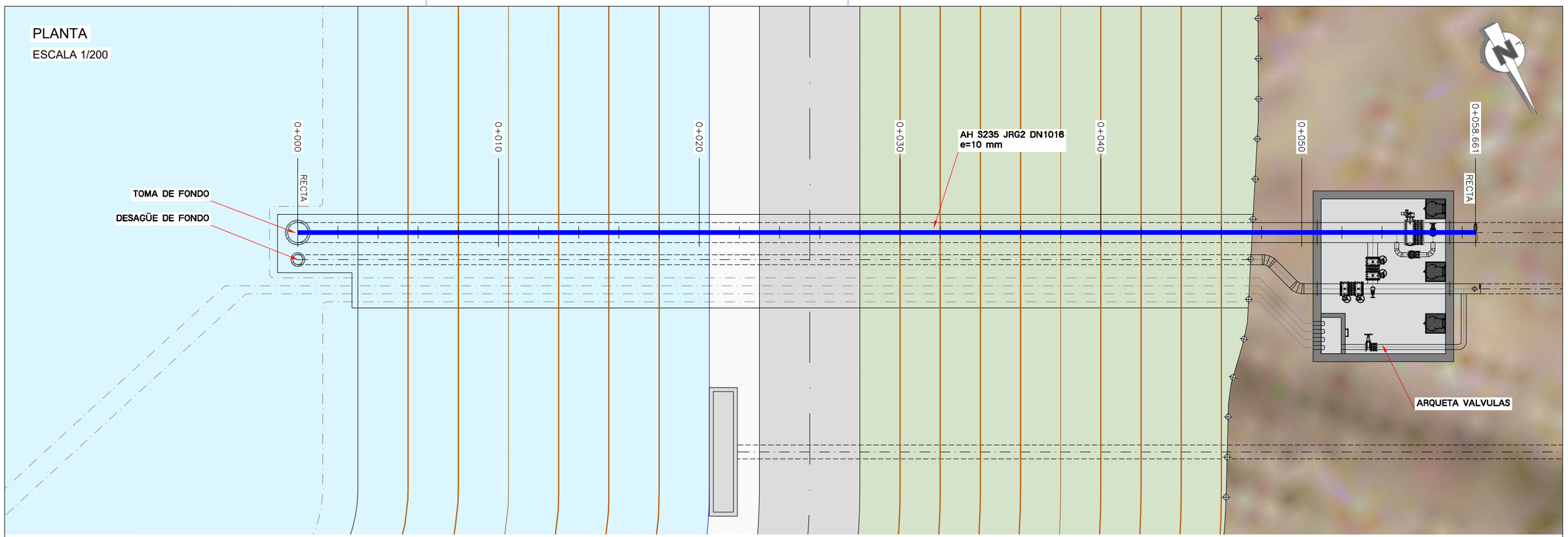
VALLADO PERIMETRAL
ALZADO
ESCALA 1/75



PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA! COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA 1ª SECCIÓN (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO AGRÓNOMO Fdo. DANIEL CAMEO MORENO Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: INDICADAS UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: BALSA INTERMEDIA ROBRES SECCION TIPO SECCION TIPO II	Nº DE PLANO: 12.07 Nº DE HOJA: 2 de 2

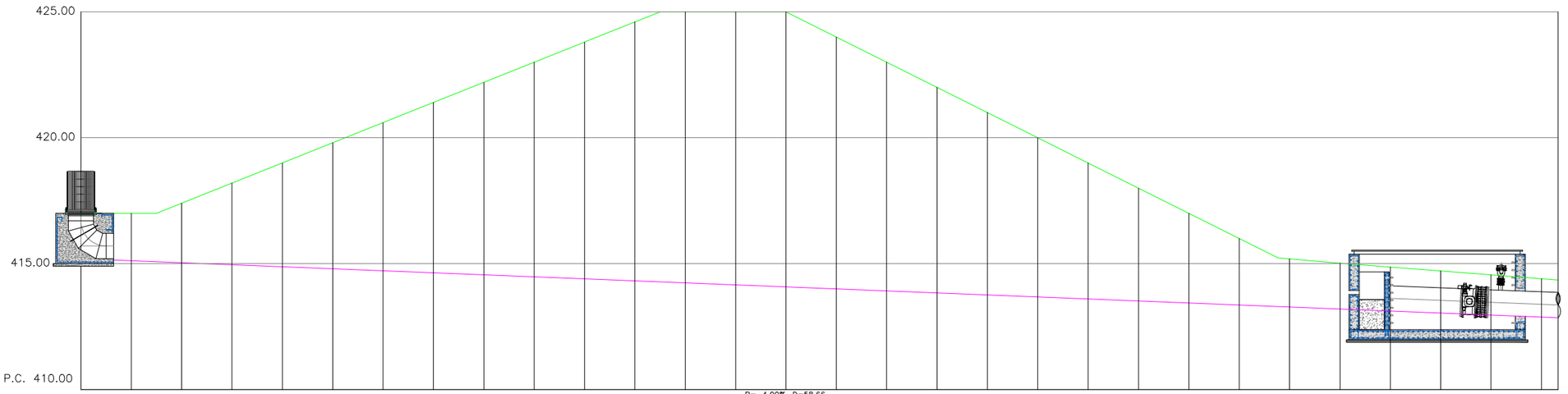
PLANTA

ESCALA 1/200



PERFIL LONGITUDINAL

ESCALAS { HORIZONTAL = 200 / VERTICAL = 200



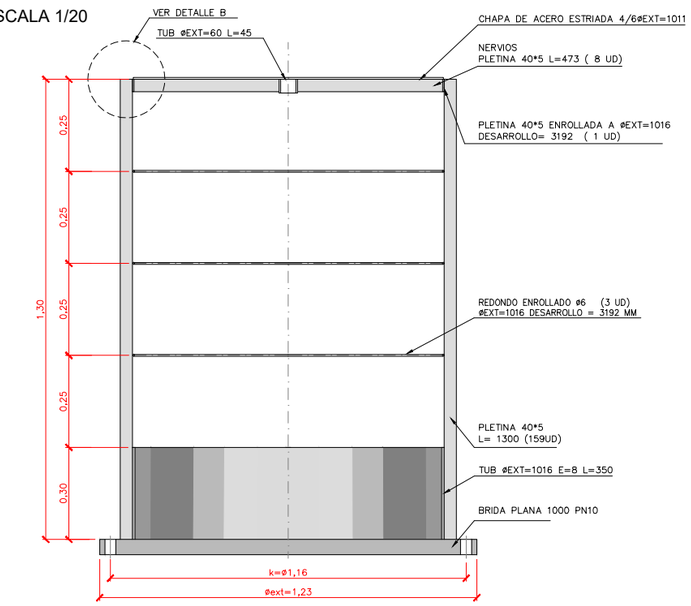
P=-4.00%, D=58.66.

AH S235 JRG2 DN1016 e=10 mm

| | | |

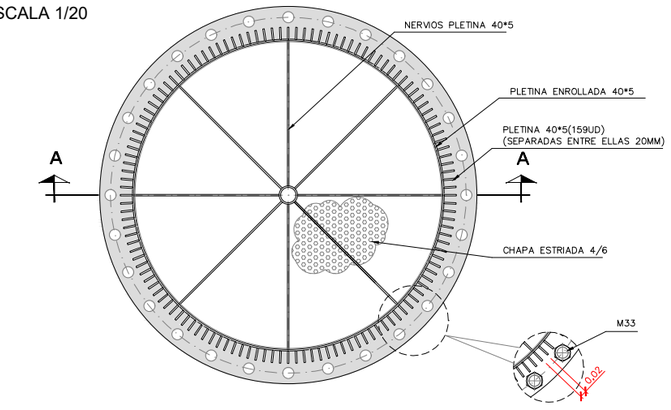
JAULA DE DESBASTE. SECCIÓN AA

ESCALA 1/20



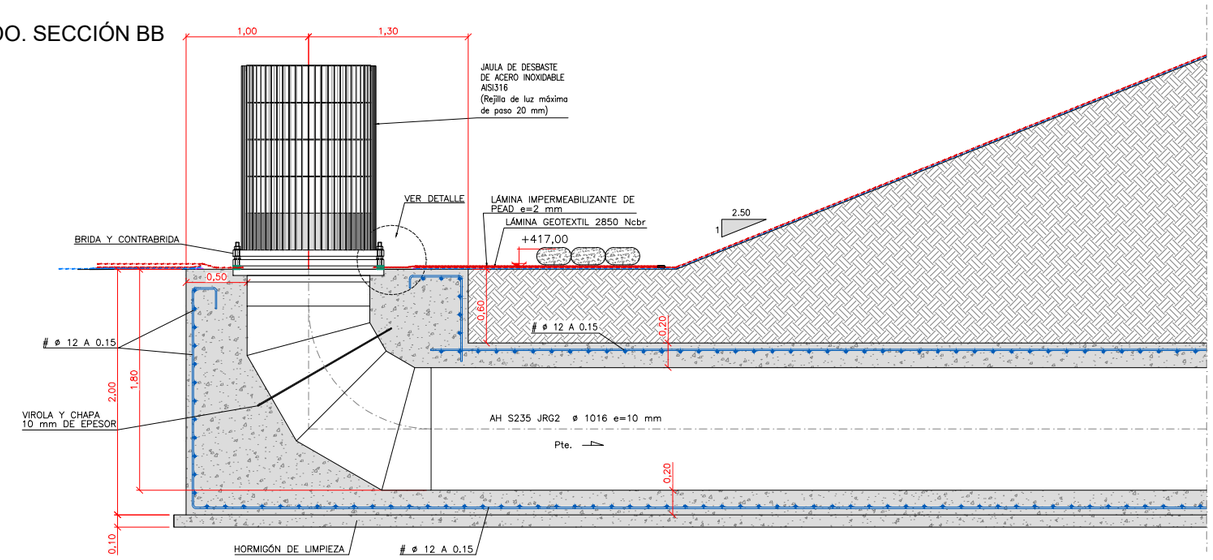
JAULA DE DESBASTE. PLANTA

ESCALA 1/20



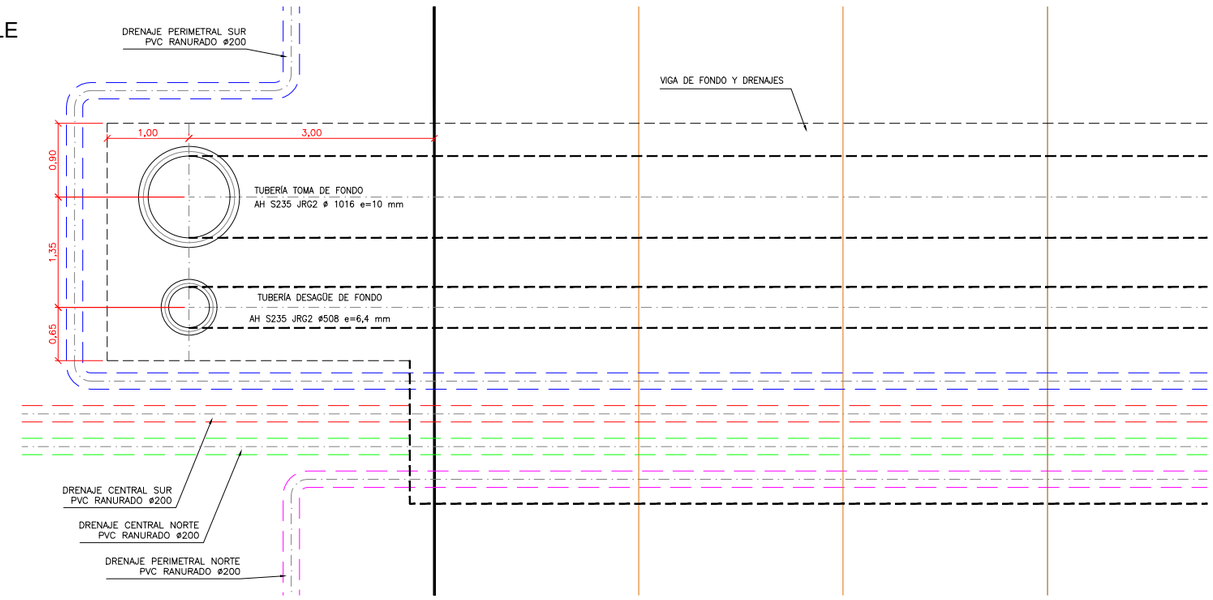
TOMA DE FONDO. SECCIÓN BB

ESCALA 1/50



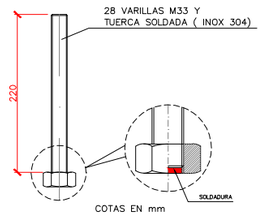
PLANTA. DETALLE

ESCALA 1/75



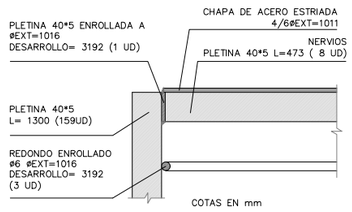
DETALLE ESPERAS

SIN ESCALA



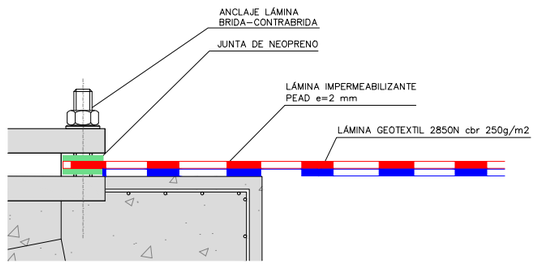
DETALLE A

SIN ESCALA



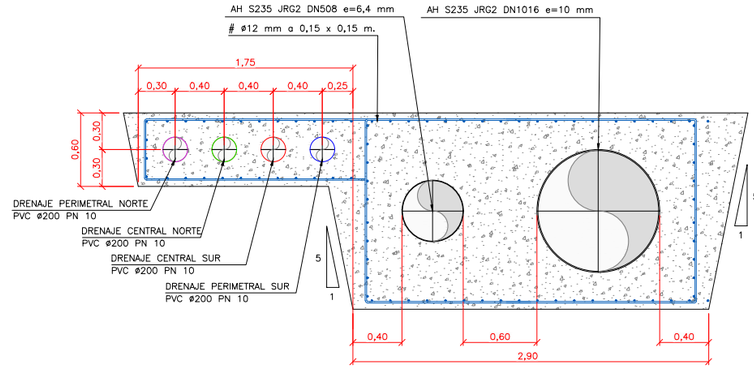
ANCLAJE DE LAMINAS. DETALLE

ESCALA 1/25



VIGA DE FONDO. SECCIÓN BB

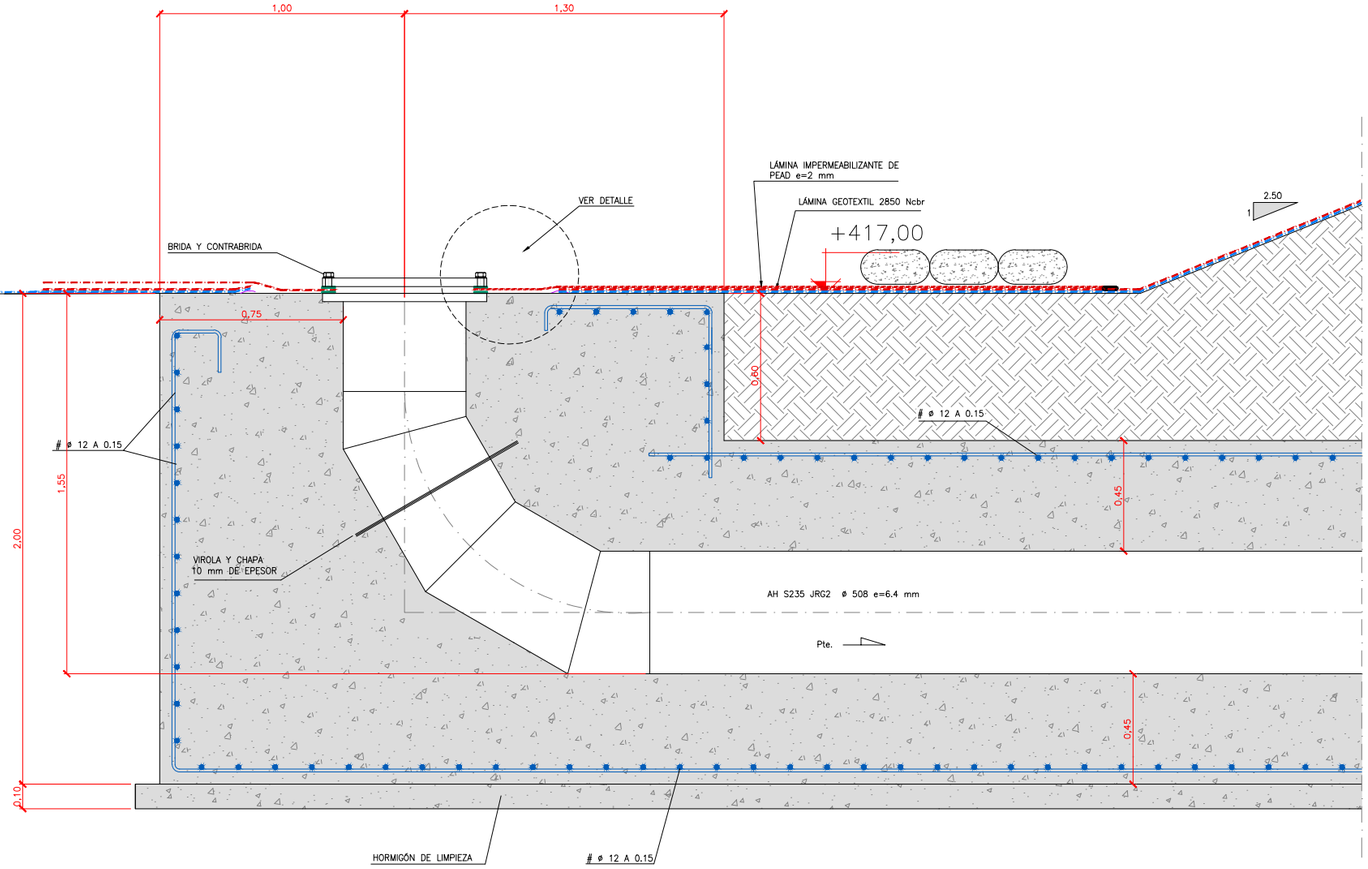
ESCALA 1/50



PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA! COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA1ª SECCIÓN (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO AGRÓNOMO Fdo. DANIEL CAMEO MORENO Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: INDICADAS UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: BALSA INTERMEDIA ROBRES OBRA DE ENTRADA Y TOMA DE FONDO	Nº DE PLANO: 12.08 Nº DE HOJA: 2 de 5

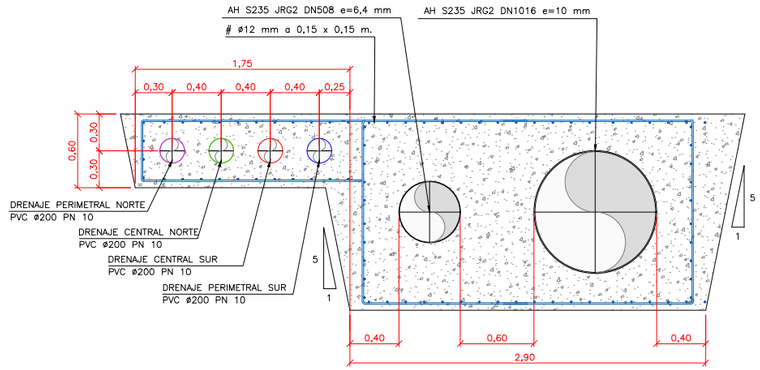
DETALLE SECCIÓN TOMA DE FONDO

ESCALA 1/25



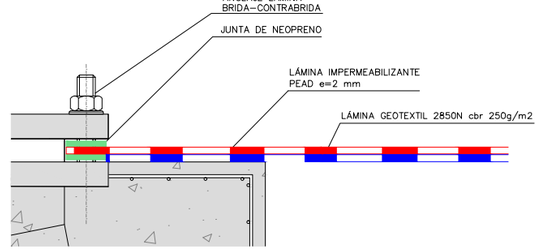
VIGA DE FONDO

ESCALA 1/50



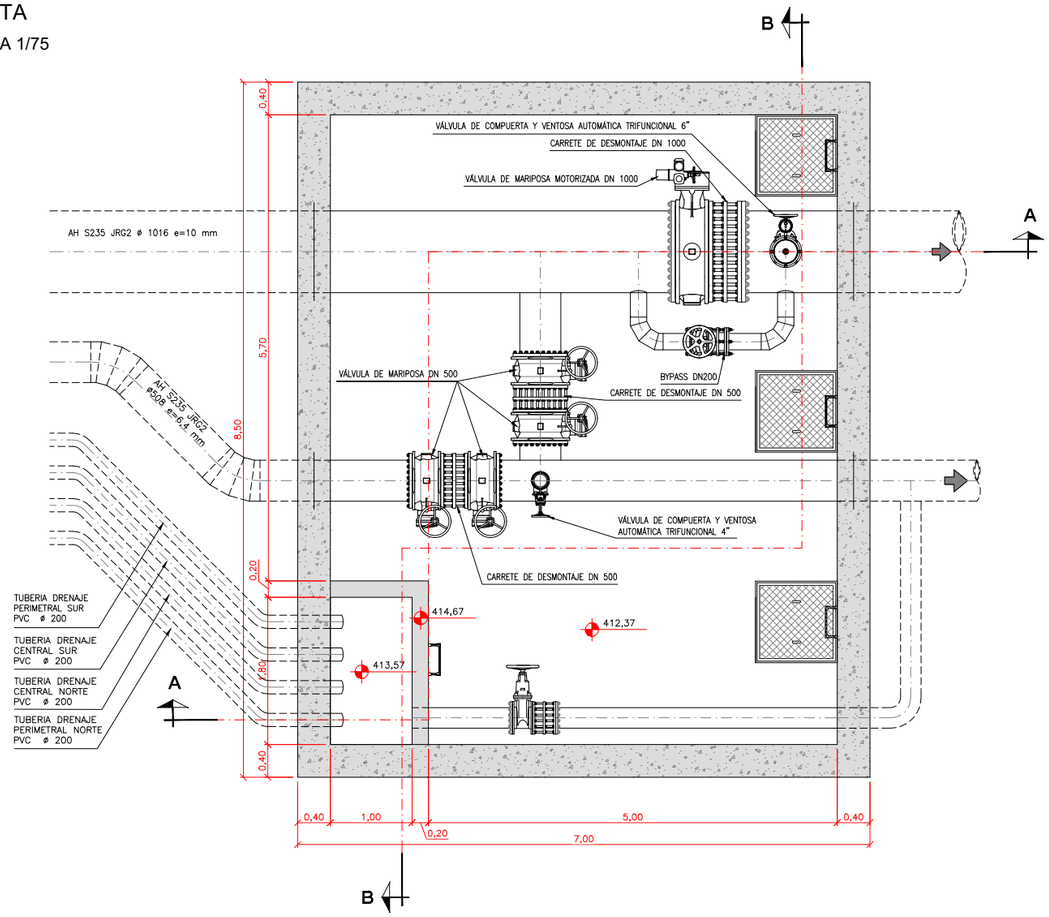
ANCLAJE DE LAMINAS. DETALLE

ESCALA 1/25

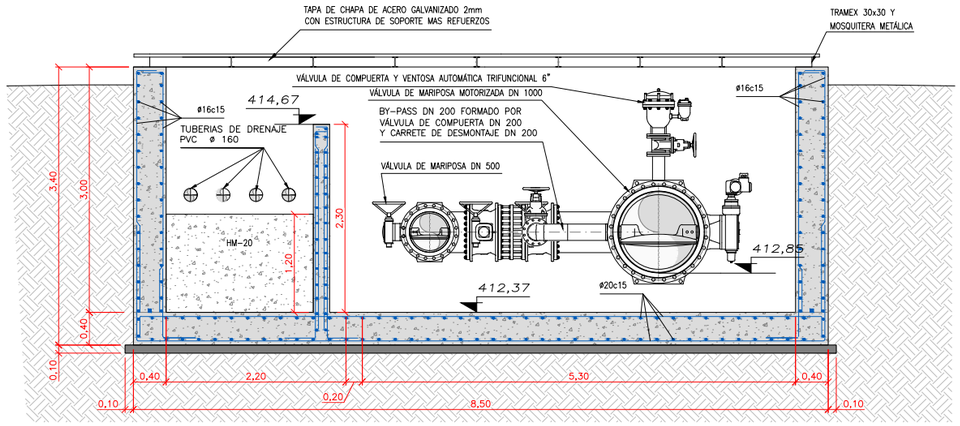


PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA! COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA 1ª SECCIÓN (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO AGRÓNOMO Fdo. DANIEL CAMEO MORENO Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: INDICADAS UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: BALSA INTERMEDIA ROBRES OBRA DE ENTRADA Y TOMA DE FONDO	Nº DE PLANO: 12.08 Nº DE HOJA: 3 de 5

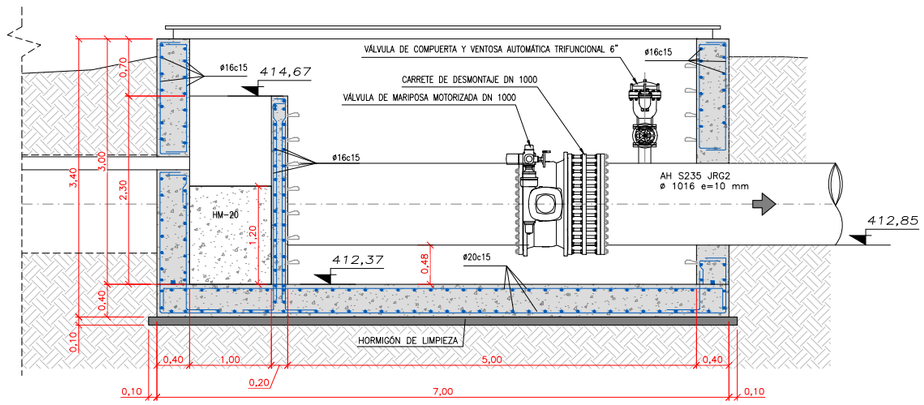
ARQUETA DE VÁLVULAS
PLANTA
ESCALA 1/75



ARQUETA DE VÁLVULAS
SECCIÓN BB
ESCALA 1/75



ARQUETA DE VÁLVULAS
SECCIÓN AA
ESCALA 1/75

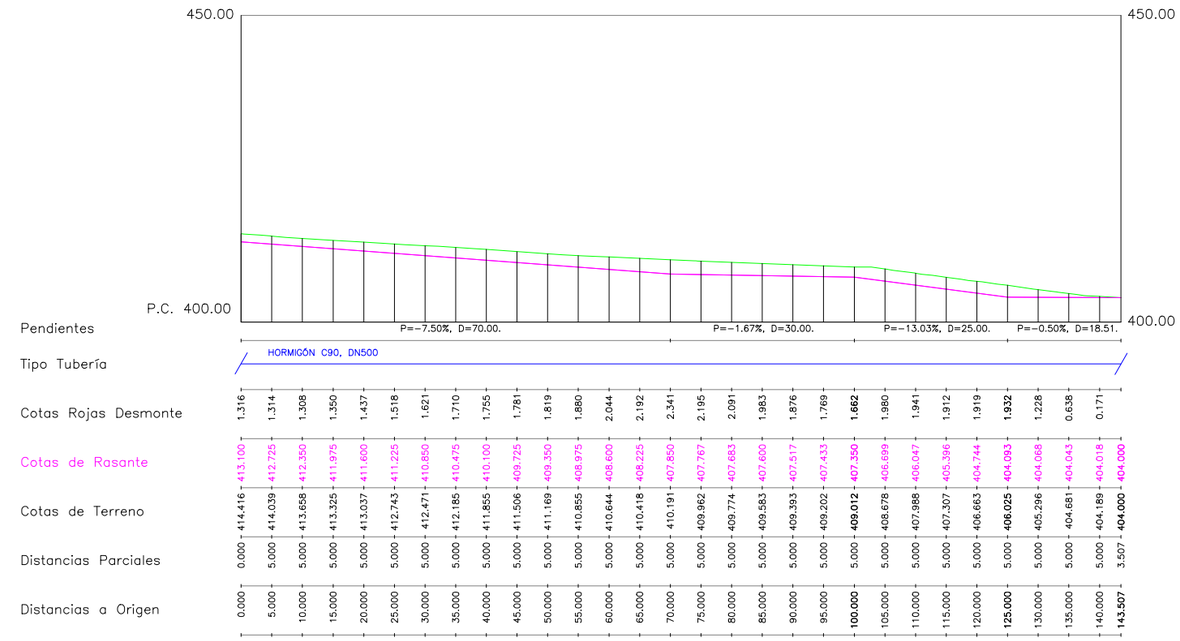


PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA! COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA 1ª SECCIÓN (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO AGRÓNOMO Fdo. DANIEL CAMEO MORENO Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 75 0 0,375 0,75 1,125 1,5 m UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: BALSA INTERMEDIA ROBRES OBRA DE ENTRADA Y TOMA DE FONDO	Nº DE PLANO: 12.08 Nº DE HOJA: 4 de 5



PERFIL LONGITUDINAL

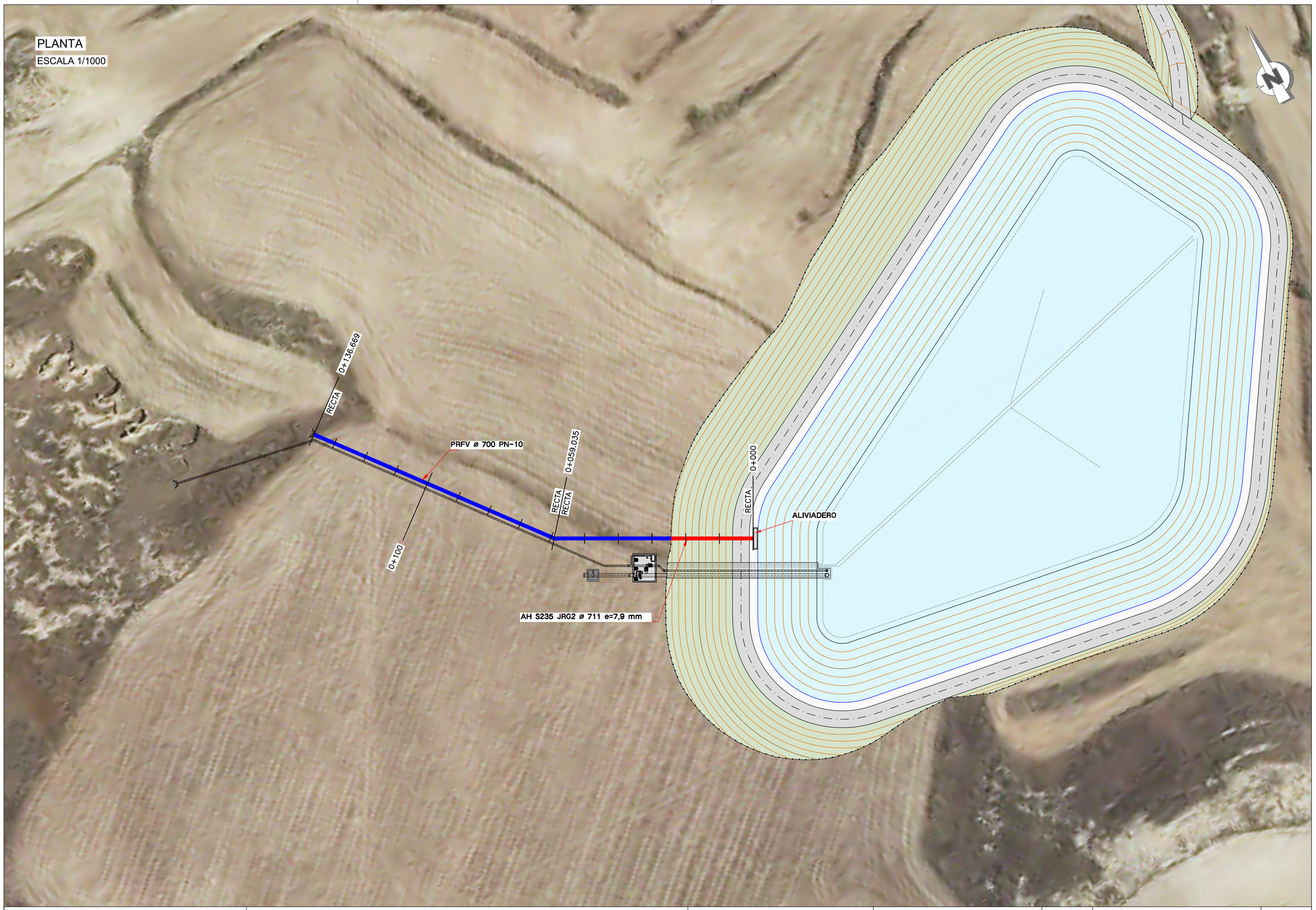
ESCALAS { HORIZONTAL = 200 / VERTICAL = 200



| | | |

PLANTA

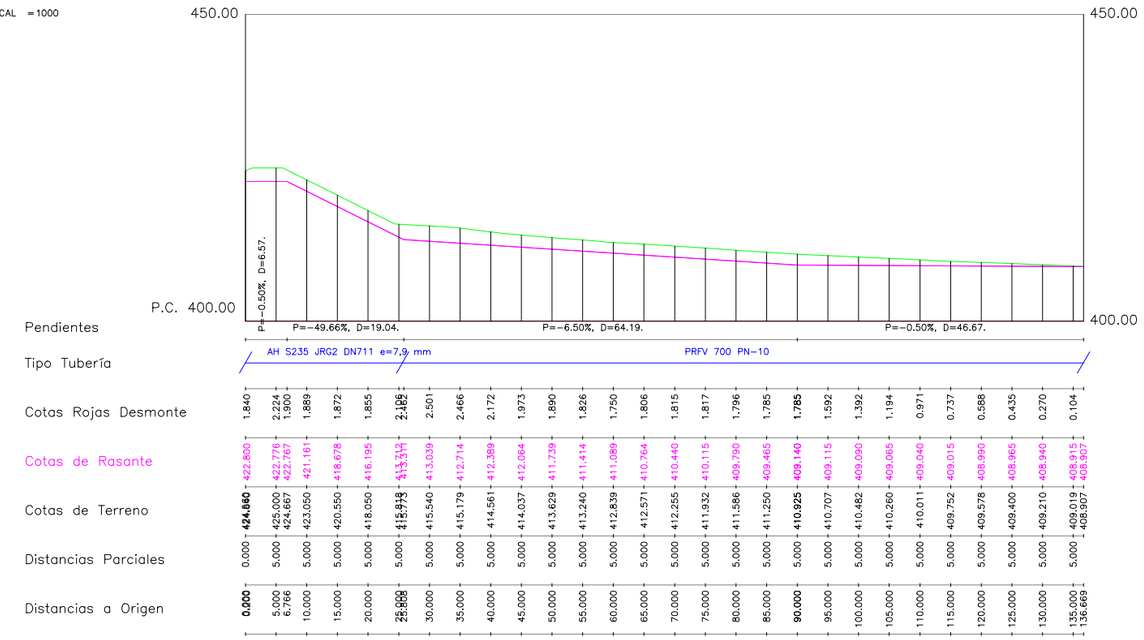
ESCALA 1/1000



PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA! COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA 1ª SECCIÓN (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO AGRÓNOMO Fdo. DANIEL CAMEO MORENO Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: INDICADAS UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: BALSA INTERMEDIA ROBRES ALIVIADERO	Nº DE PLANO: 12.09 Nº DE HOJA: 1 de 2

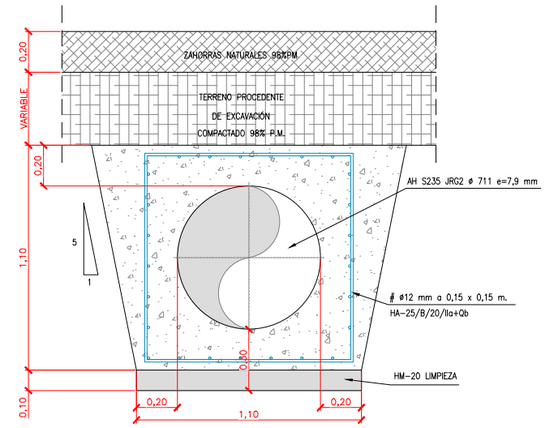
PERFIL LONGITUDINAL

ESCALAS { HORIZONTAL = 1000 / VERTICAL = 1000



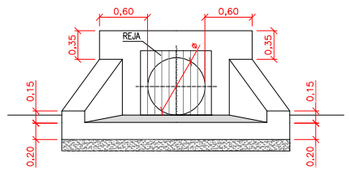
SECCIÓN BB

ESCALA 1/30



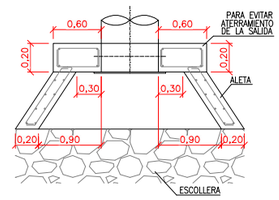
OBRA DE SALIDA ALIVIADERO, ALZADO

ESCALA 1/75



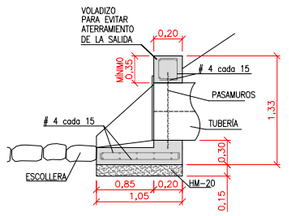
OBRA DE SALIDA ALIVIADERO, PLANTA

ESCALA 1/75



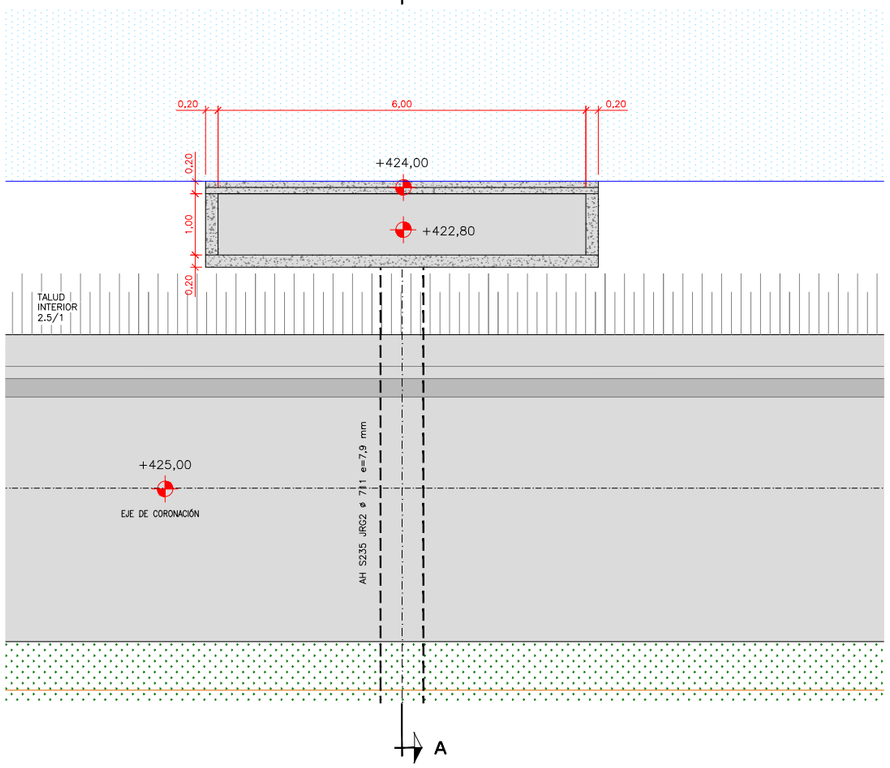
OBRA DE SALIDA ALIVIADERO, SECCIÓN

ESCALA 1/75



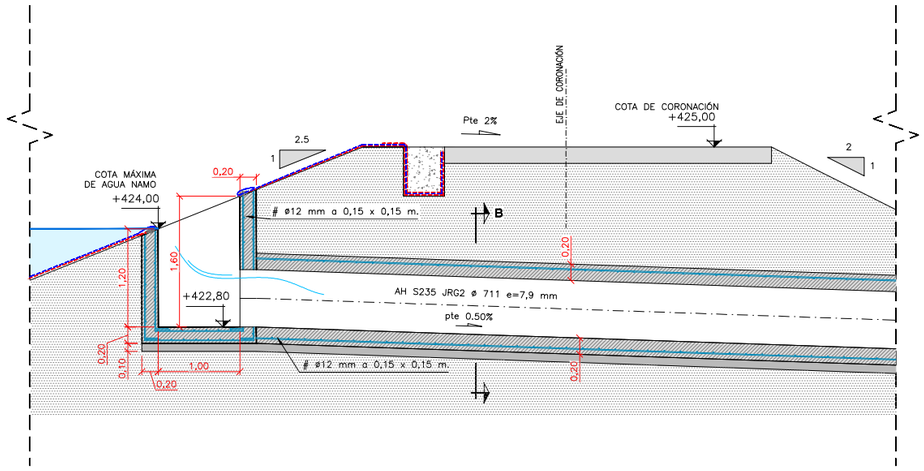
ALIVIADERO. PLANTA

ESCALA 1/100

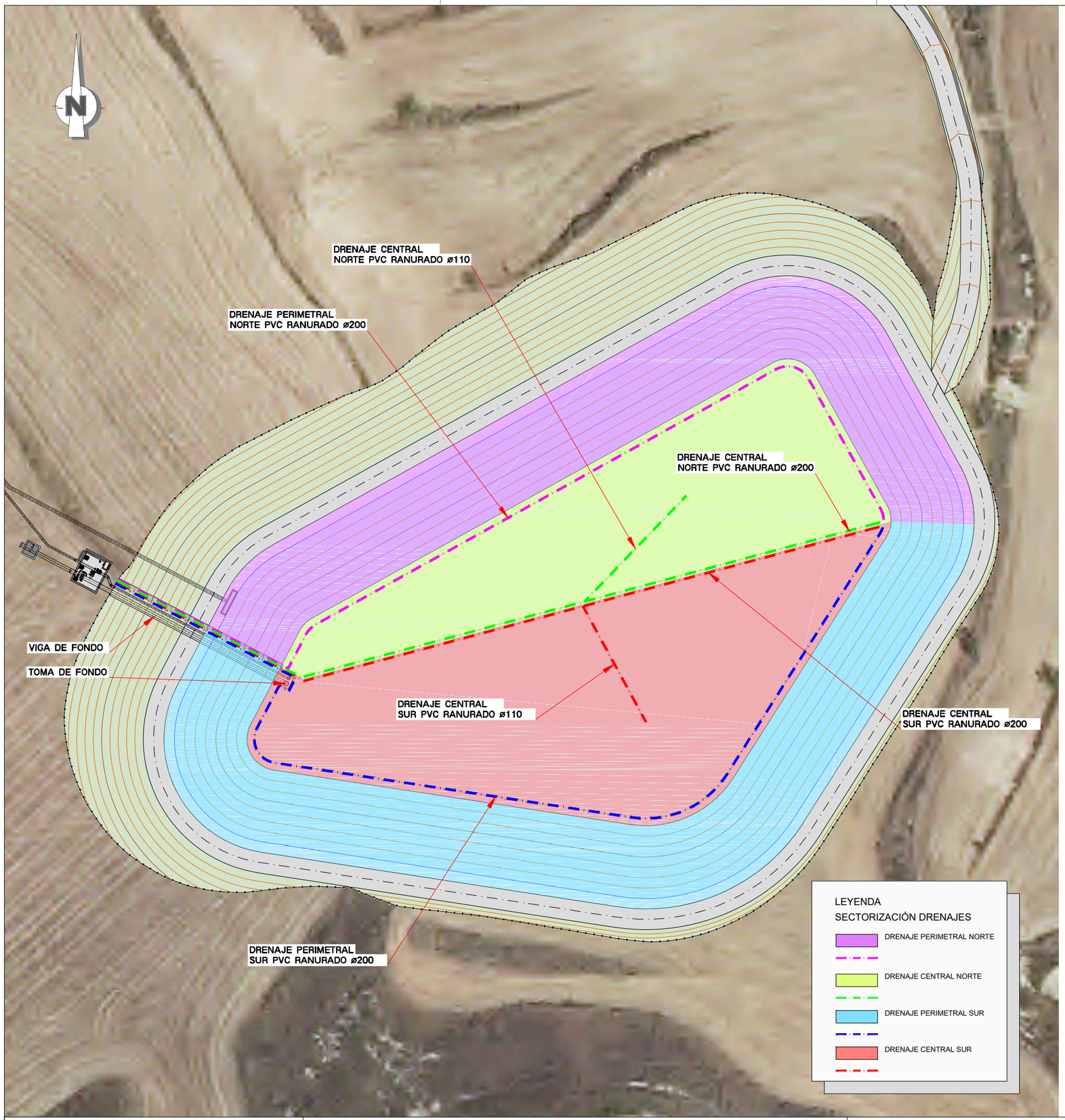


ALIVIADERO. SECCIÓN AA

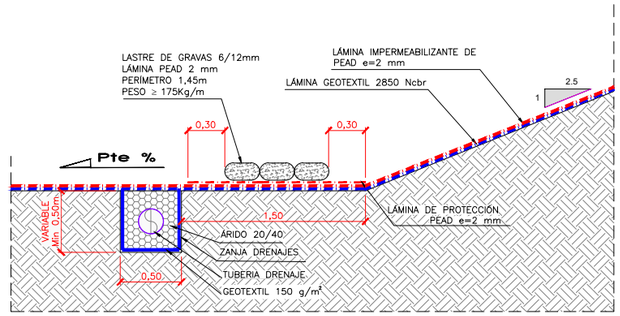
ESCALA 1/75



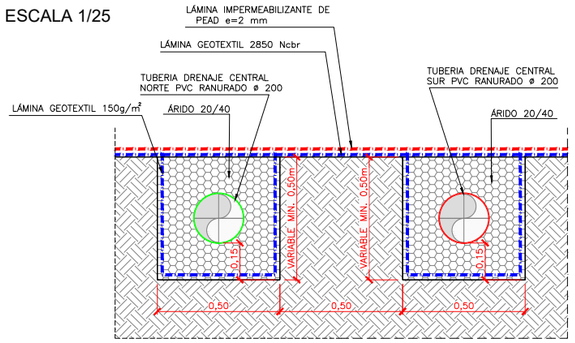
PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA! COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA 1ª SECCIÓN (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO AGRÓNOMO Fdo. DANIEL CAMEO MORENO Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: INDICADAS UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: BALSA INTERMEDIA ROBRES ALIVIADERO	Nº DE PLANO: 12.09 Nº DE HOJA: 2 de 2



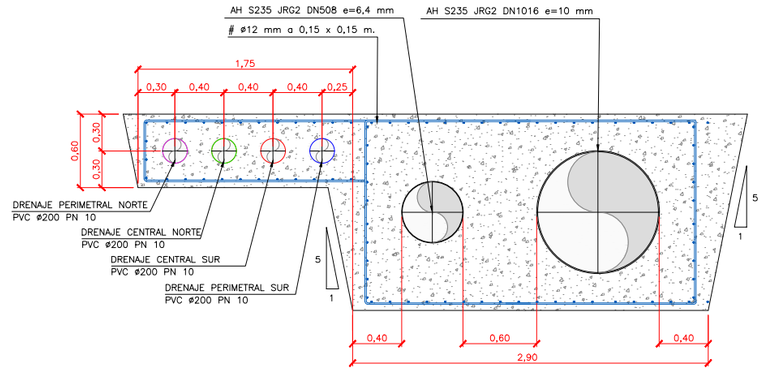
DRENAJE PERIMETRAL
SECCION TIPO
ESCALA 1/50



DRENAJE CENTRAL
SECCION TIPO
ESCALA 1/25

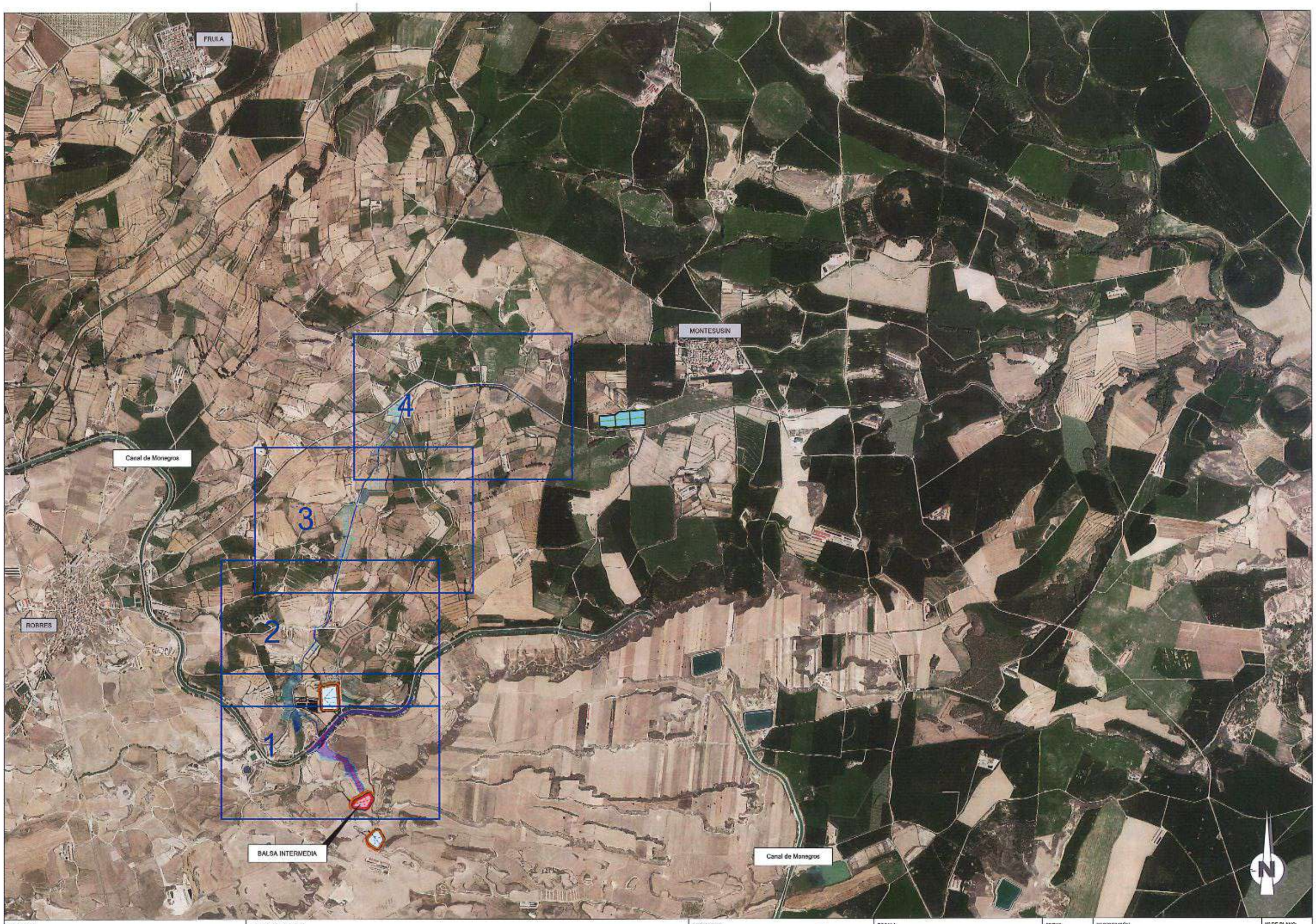


VIGA DE FONDO
ESCALA 1/50

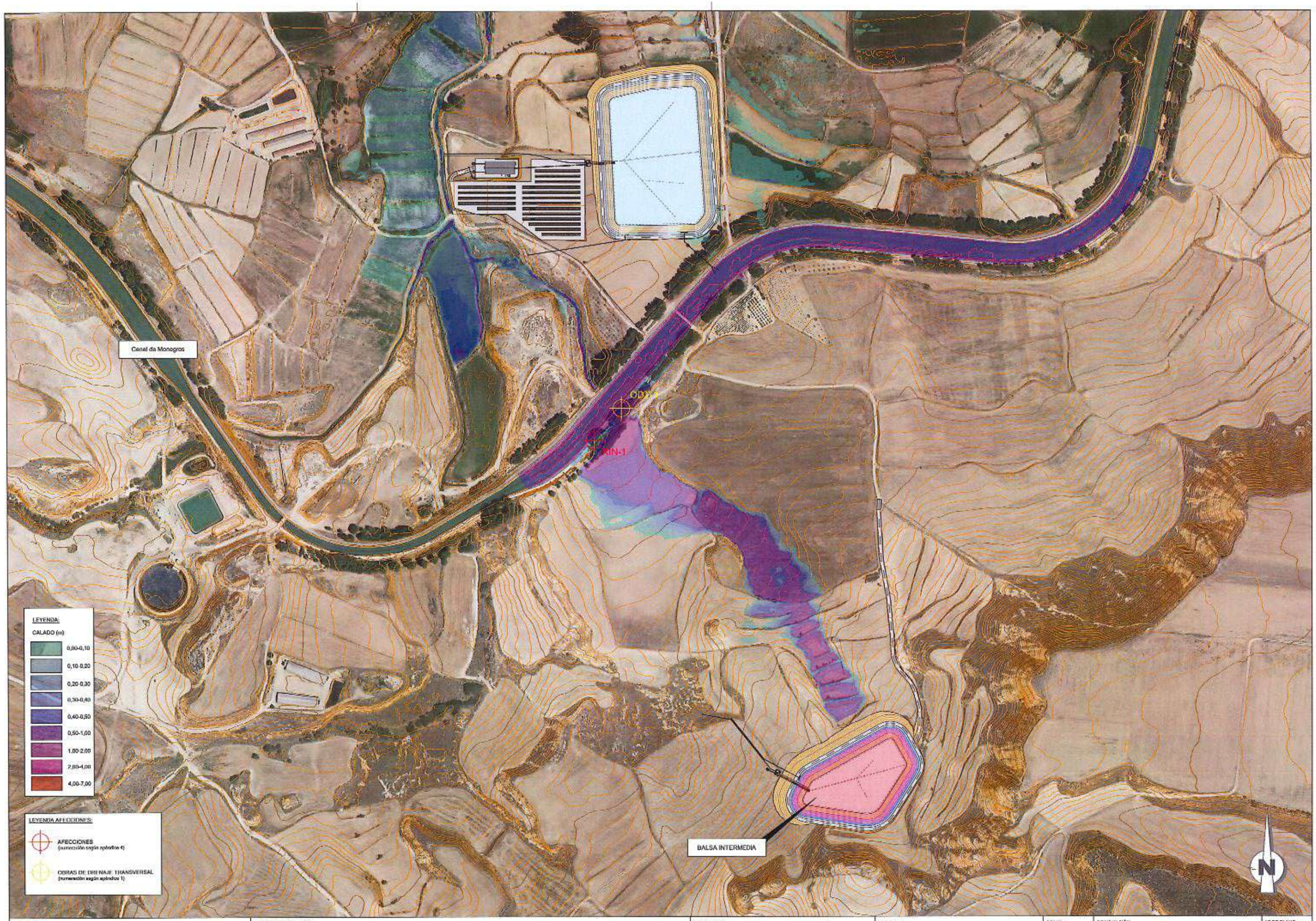


PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA! COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA 1ª SECCIÓN (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO AGRÓNOMO Fdo. DANIEL CAMEO MORENO — Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: INDICADAS UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: BALSA INTERMEDIA ROBRES DRENAJES	Nº DE PLANO: 12.10 Nº DE HOJA: 1 de 1

ANEXO 3.- PLANOS: ANÁLISIS DE LA AVENIDA



PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL — FDO. JAVIER MUR SATUÉ; Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 30.000 (0 150 300 450 600 m); UNE A3; GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023; REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN CALADO N.A.M.O. HEC-RAS	Nº DE PLANO: 01; Nº DE HOJA: 0 de 4



PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TÍTULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL — FDO. JAVIER MUR BATUÉ; Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 5.000 (0 25 50 75 100 m); UNE A3; GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023; REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN CALADO N.A.M.O. HEC-RAS	Nº DE PLANO: 01; Nº DE HOJA: 1 de 4

LEYENDA:

CALADO (m)

- 0,00-0,10
- 0,10-0,20
- 0,20-0,30
- 0,30-0,40
- 0,40-0,50
- 0,50-1,00
- 1,00-2,00
- 2,00-4,00
- 4,00-7,00

LEYENDA AFECCIONES:

- AFECCIONES (numeración según apéndice 4)
- OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL (numeración según apéndice 1)

N

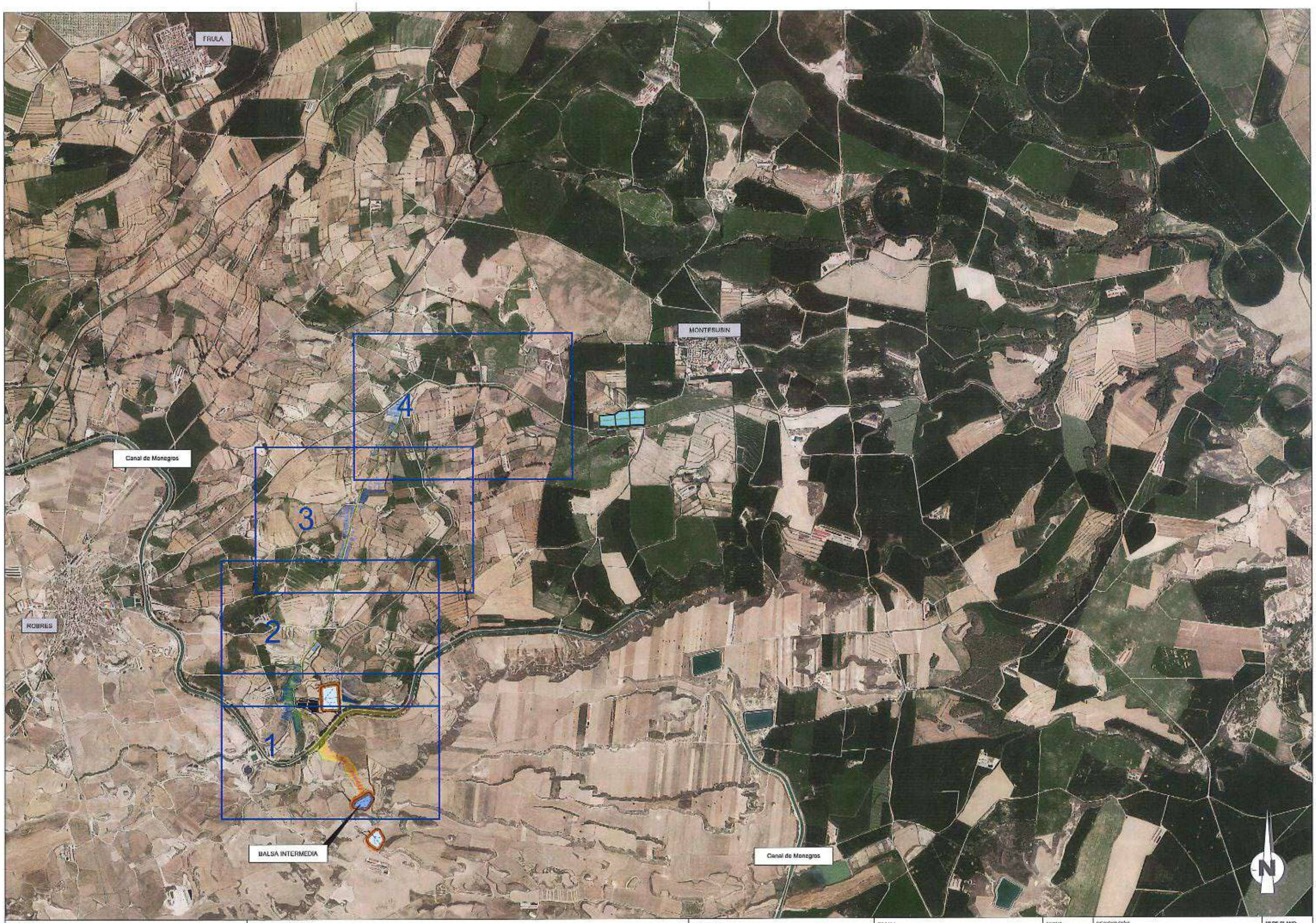
PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL. FDO. JAVIER MUR SATUÉ. Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 5.000 (0 25 50 75 100 m) UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023. REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN CALADO N.A.M.O. HEC-RAS	Nº DE PLANO: 01. Nº DE HOJA: 2 de 4



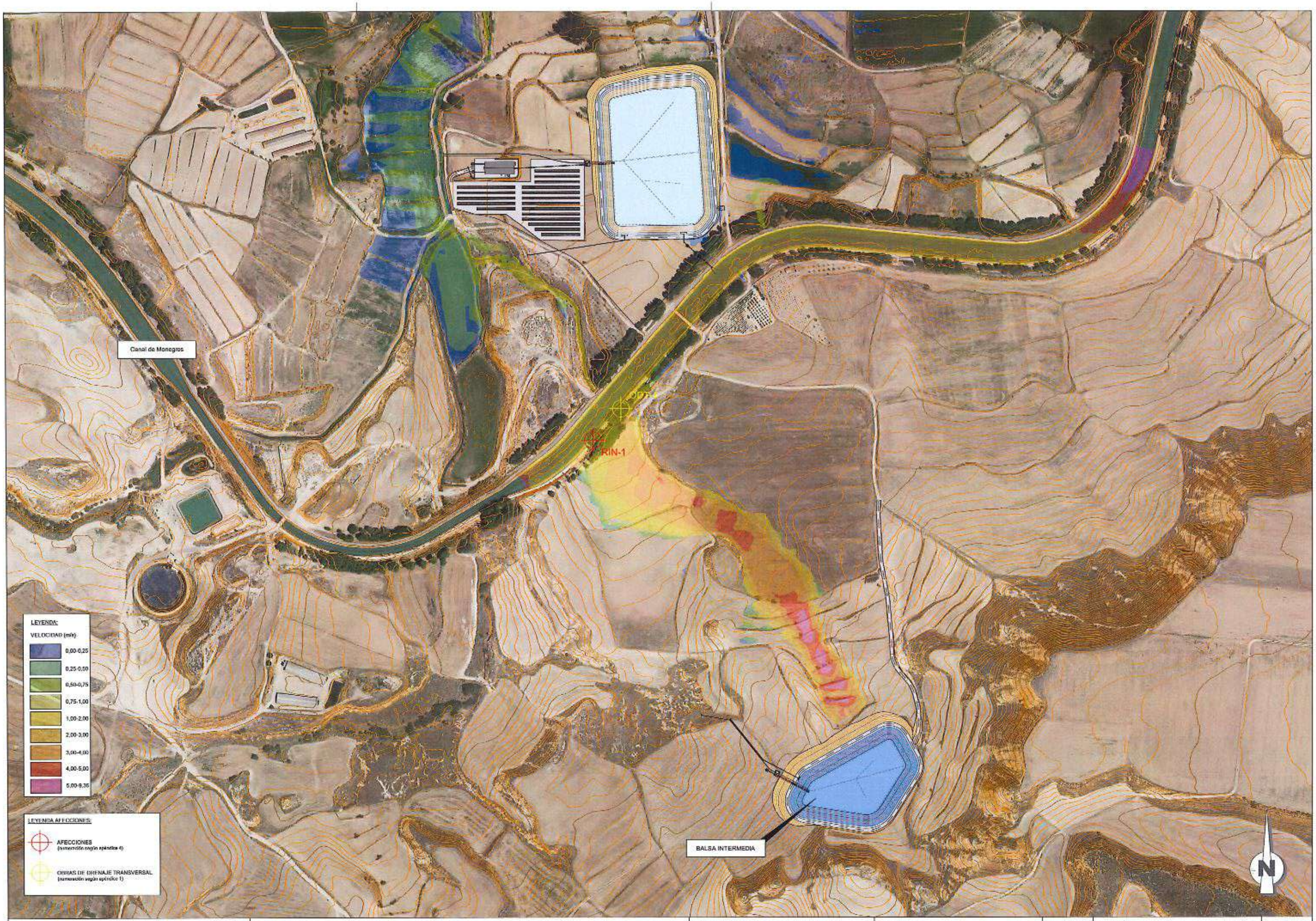
PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL — FCO. JAVIER MUR SATUÉ — Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 5.000 — UNE A3 — GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 — REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN CALADO N.A.M.O. HEC-RAS	Nº DE PLANO: 01 — Nº DE HOJA: 3 de 4



PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL. FDO. JAVIER MUR SATUÉ. Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 5.000 (0 25 50 75 100 m) LINE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023. REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN CALADO N.A.M.O. HEC-RAS	Nº DE PLANO: 01. Nº DE HOJA: 4 de 4



PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL FDO. JAVIER MUR BATUÉ Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 30.000 0 150 300 450 600 m UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN VELOCIDAD-N.A.M.O. HEC-RAS	Nº DE PLANO: 02 Nº DE HOJA: 0 de 4



PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL — FDO. JAVIER MUR SATUÉ — Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 5.000 — UNE A3 — GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 — REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN VELOCIDAD-N.A.M.O. HEC-RAS	Nº DE PLANO: 02 — Nº DE HOJA: 1 de 4



PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL FDO. JAVIER MUR SATUÉ — Cingral Consultoría de Ingeniería	ESCALA: 1 : 5.000 (0 25 50 75 100 m) — UNE A3 — GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 — REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN VELOCIDAD-N.A.M.O. HEC-RAS	Nº DE PLANO: 02 — Nº DE HOJA: 2 de 4

LEYENDA:

VELOCIDAD (m/s)

- 0,00-0,25
- 0,25-0,50
- 0,50-0,75
- 0,75-1,00
- 1,00-2,00
- 2,00-3,00
- 3,00-4,00
- 4,00-5,00
- 5,00-9,30

LEYENDA AFECCIONES:

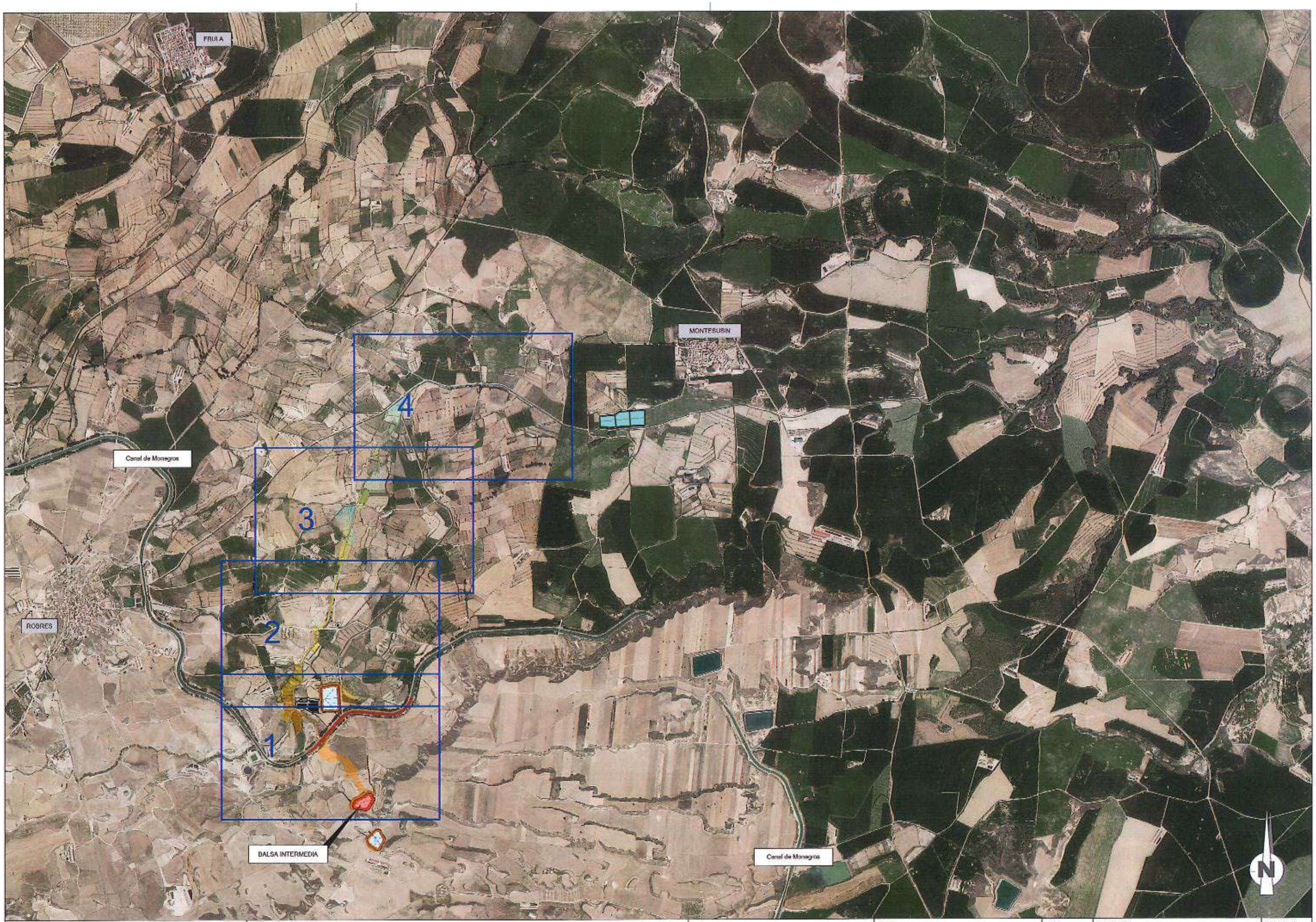
- AFECCIONES (numeración según apéndice 4)
- OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL (numeración según apéndice 1)

N

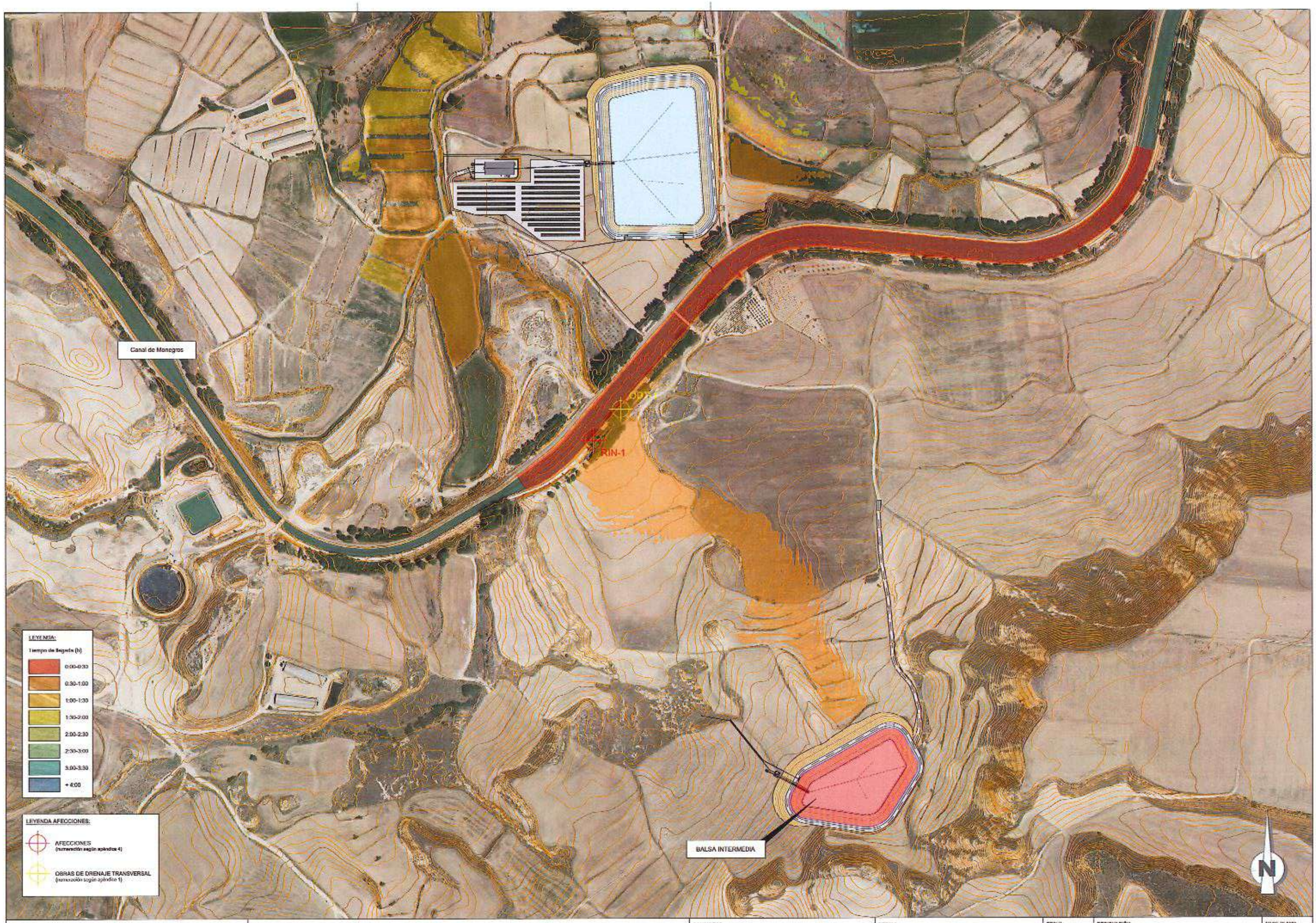
PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL FDO. JAVIER MUR BATUÉ · Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 5.000 · UNE A3 · GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 · REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN VELOCIDAD-N.A.M.O. HEC-RAS	Nº DE PLANO: 02 · Nº DE HOJA: 3 de 4



PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL FDO. JAVIER MUR BATUE — Clngral INGENIERÍA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 5.000 (0 25 50 75 100 m) UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN VELOCIDAD-N.A.M.O. HEC-RAS	Nº DE PLANO: 02 Nº DE HOJA: 4 de 4



PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL FDO. JAVIER MUR BATUE · Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 30.000 (0 150 300 450 600 m) UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22.009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN TIEMPO N.A.M.O. HEC-RAS	Nº DE PLANO: 03 Nº DE HOJA: 0 de 4



PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TÍTULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL — FDO. JAVIER MUR BATUÉ; Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 5.000; UNIDADES GRÁFICAS: UNE A3	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023; REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN TIEMPO N.A.M.O. HEC-RAS	Nº DE PLANO: 03; Nº DE HOJA: 1 de 4

LEYENDA:

Tiempo de llegada (h)

- 0:00-0:30
- 0:30-1:00
- 1:00-1:30
- 1:30-2:00
- 2:00-2:30
- 2:30-3:00
- 3:00-3:30
- + 4:00

LEYENDA AFECCIONES:

AFECCIONES
(numeración según apéndice 4)

OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL
(numeración según apéndice 1)

N

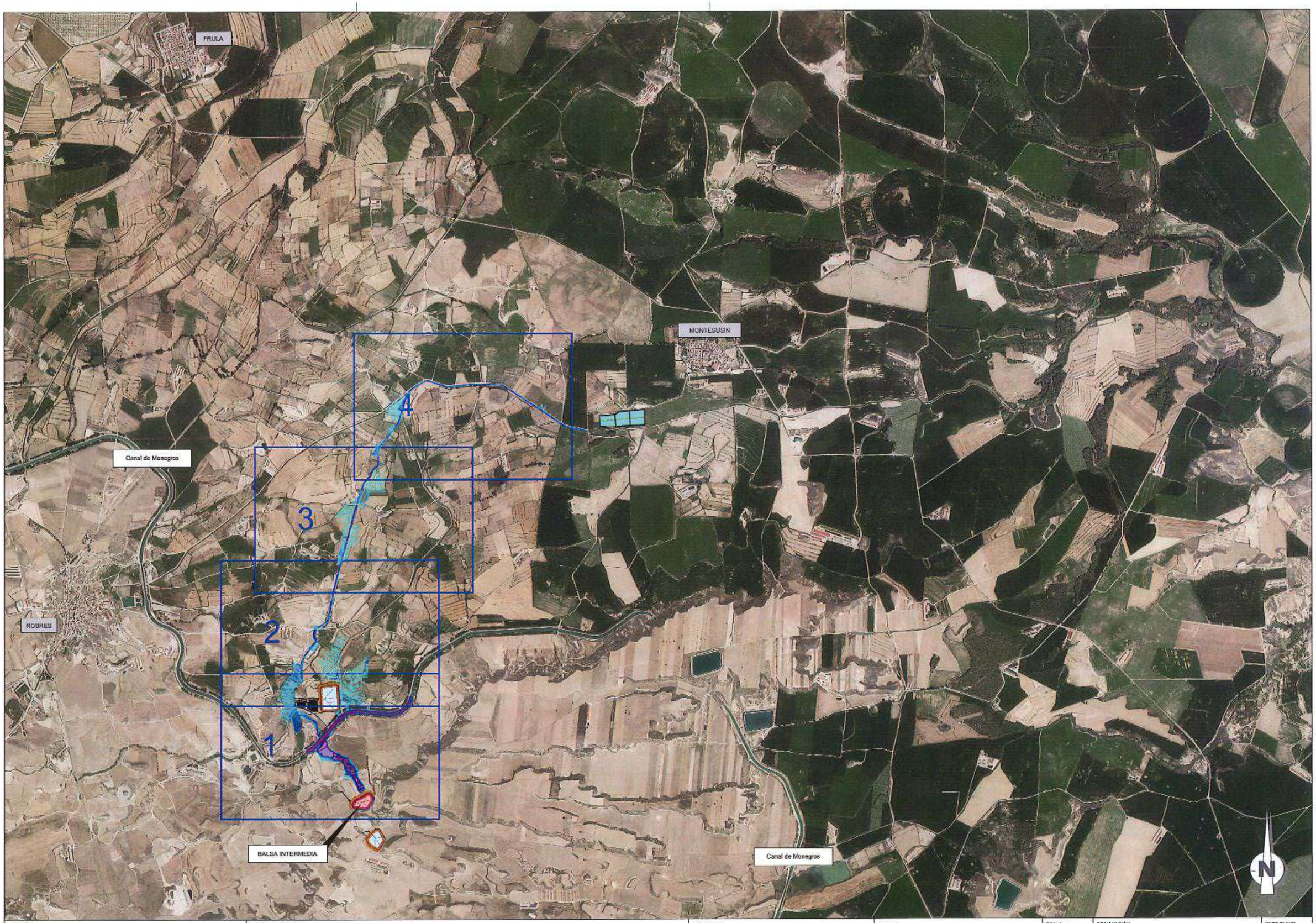
PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL. FDO. JAVIER MUR BATUÉ. Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 5.000 (0 25 50 75 100 m) UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023. REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN TIEMPO N.A.M.O. HEC-RAS	Nº DE PLANO: 03. Nº DE HOJA: 2 de 4



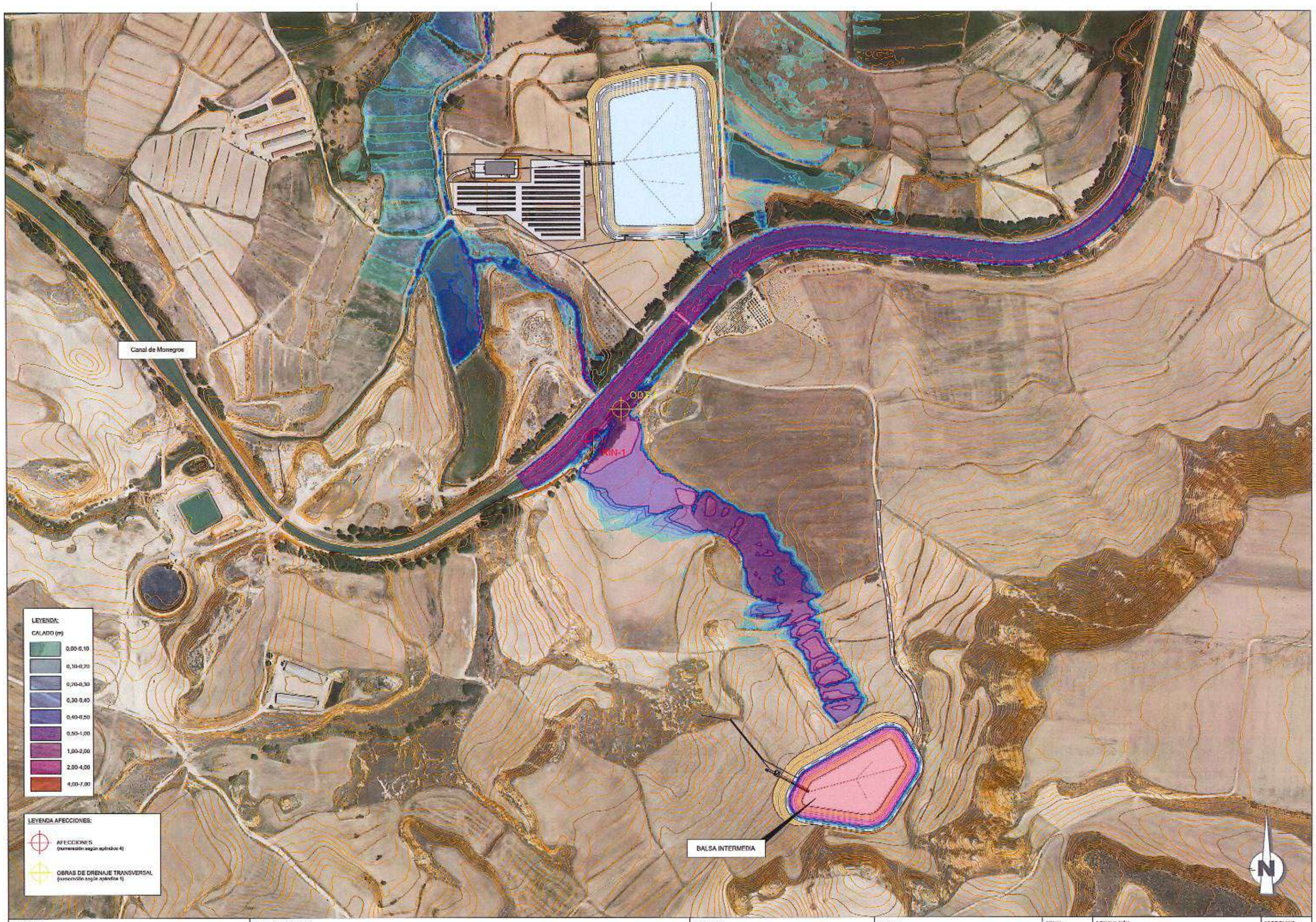
PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL FDO. JAVIER MUR SATUÉ — Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 5.000 (0 25 50 75 100 m) UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN TIEMPO N.A.M.O. HEC-RAS	Nº DE PLANO: 03 Nº DE HOJA: 3 de 4



PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL FDO. JAVIER MUR SATUÉ Clngral	ESCALA: 1 : 5.000 UNE A3	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN TIEMPO N.A.M.O. HEC-RAS	Nº DE PLANO: 03 Nº DE HOJA: 4 de 4



PROMOTOR COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL FDO. JAVIER MUR SATUÉ Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 30.000 0 150 300 450 600 m UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN PROPUESTA CLASIFICACIÓN CALADO-CORONACIÓN HEC-RAS	Nº DE PLANO: 04 Nº DE HOJA: 0 de 4



PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL FDO. JAVIER MUR SATUÉ — Cingral	ESCALA: 1 : 5.000 (0 25 50 75 100 m) UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22.009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN CALADO-CORONACIÓN HEC-RAS	Nº DE PLANO: 04 Nº DE HOJA: 1 de 4

LEYENDA:

CALADO (m)

- 0,00-0,10
- 0,10-0,20
- 0,20-0,30
- 0,30-0,40
- 0,40-0,50
- 0,50-1,00
- 1,00-2,00
- 2,00-4,00
- 4,00-7,00

LEYENDA AFECCIONES:

- AFECCIONES (numeración según apéndice 4)
- OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL (numeración según apéndice 5)

N

PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL FDO. JAVIER MUR BATUÉ — Cingral Consultora de Ingeniería	ESCALA: 1 : 5.000 (0 25 50 75 100 m) LINEALES GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN CALADO-CORONACIÓN HEC-RAS	Nº DE PLANO: 04 Nº DE HOJA: 2 de 4

LEYENDA:

CALADO (m)

- 0,00-0,10
- 0,10-0,20
- 0,20-0,30
- 0,30-0,40
- 0,40-0,50
- 0,50-1,00
- 1,00-2,00
- 2,00-4,00
- 4,00-7,00

LEYENDA AFECCIONES:

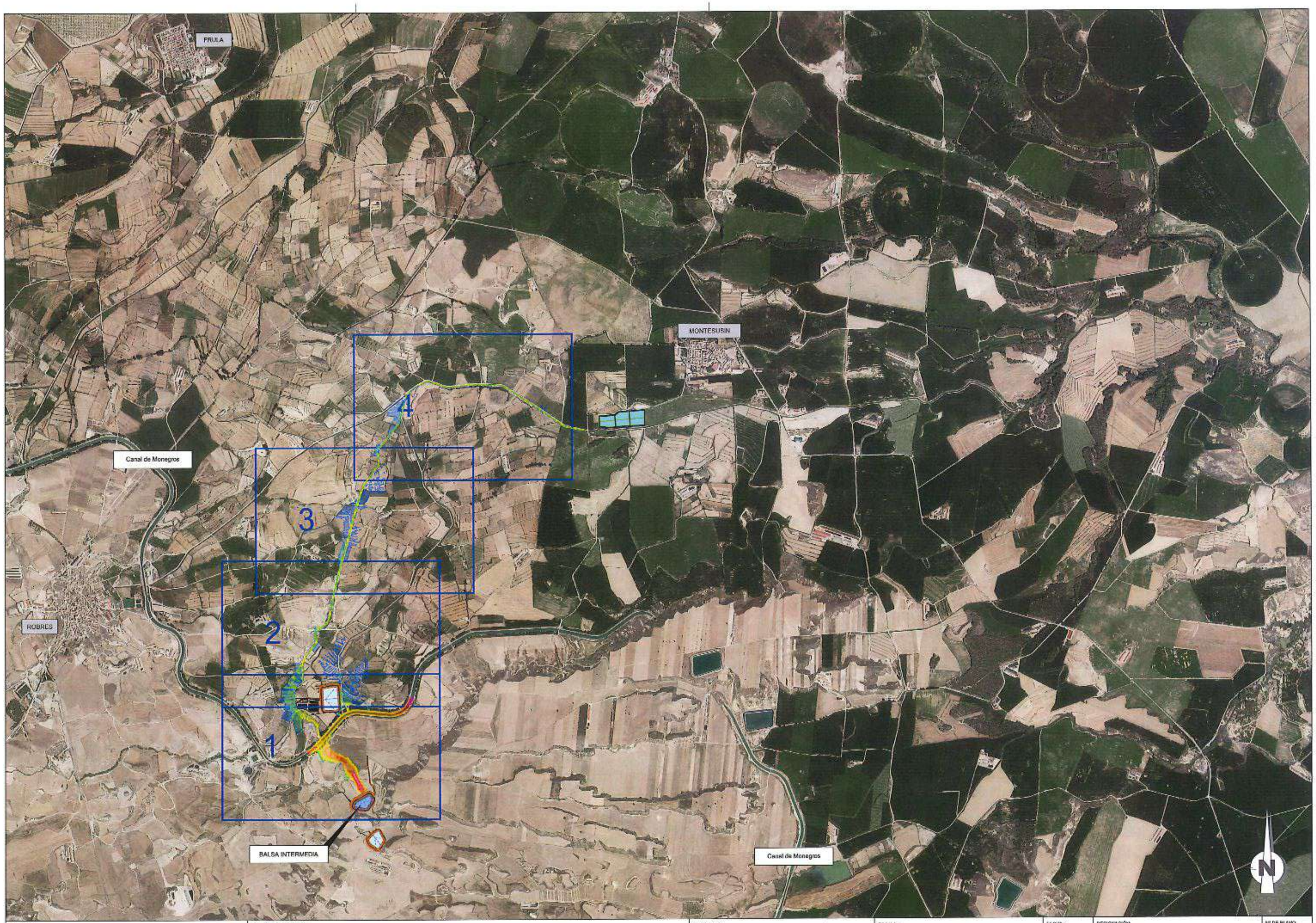
- AFECCIONES (numeración según apéndice 4)
- OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL (numeración según apéndice 1)

N

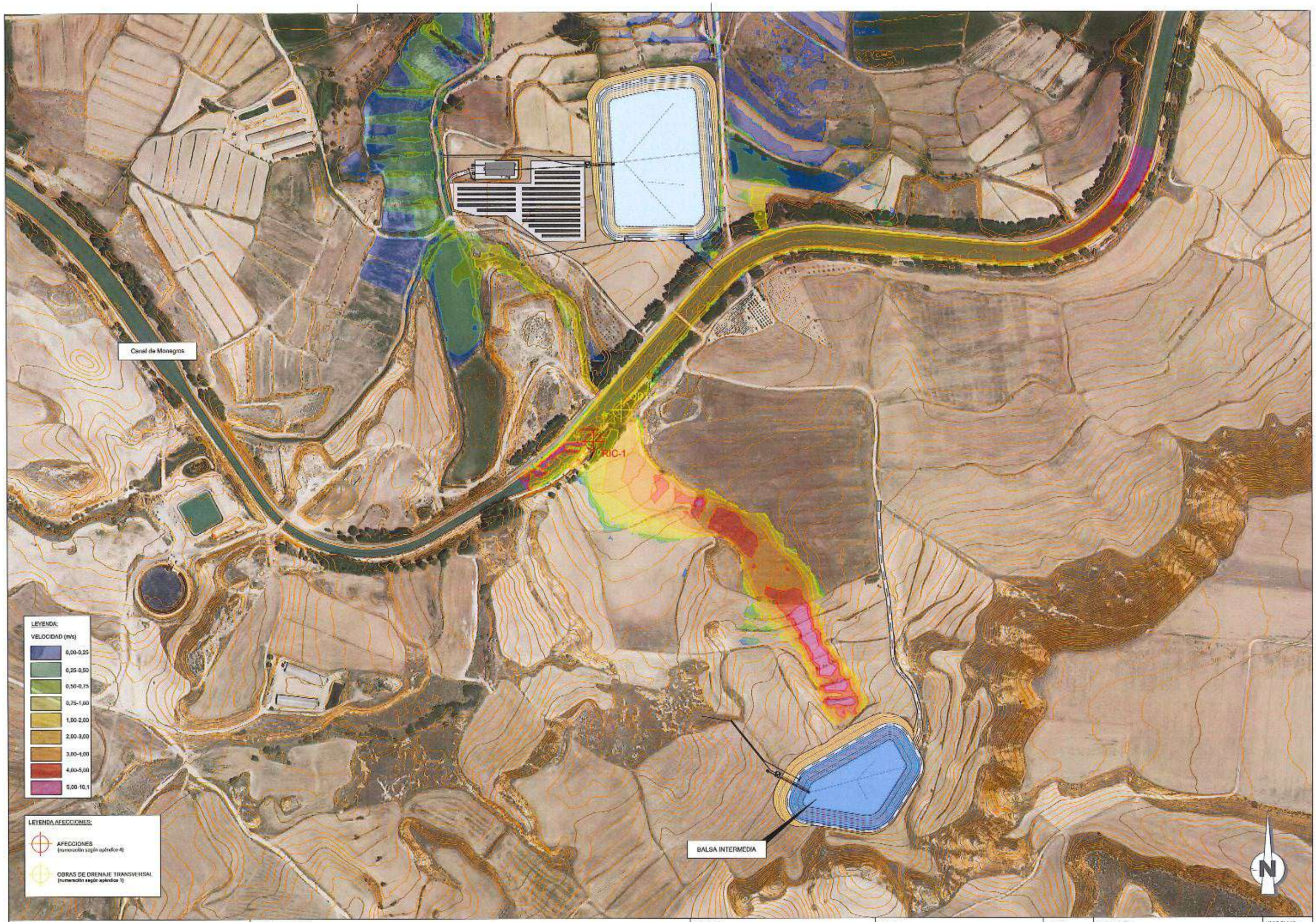
PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL. FDO. JAVIER MUR SATUÉ. Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 5.000 (0 25 50 75 100 m) UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN CALADO-CORONACIÓN HEC-RAS	Nº DE PLANO: 04 Nº DE HOJA: 3 de 4



PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL / FDO. JAVIER MUR GATUÉ / Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 5.000 (0 25 50 75 100 m) UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 / REFERENCIA: 22-009	DENOMINACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN CALADO-CORONACIÓN HEC-RAS	Nº DE PLANO: 04 / Nº DE HOJA: 4 de 4



PROMOTOR COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL FDO. JAVIER MUR SATUÉ Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 30.000 0 150 300 450 600 m UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN VELOCIDAD-CORONACIÓN HEC-RAS	Nº DE PLANO: 05 Nº DE HOJA: 0 de 4



PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL FDO. JAVIER MUR SATUÉ · Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 5.000 UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN VELOCIDAD-CORONACIÓN HEC-RAS	Nº DE PLANO: 05 Nº DE HOJA: 1 de 4

LEYENDA:

VELOCIDAD (m/s)

- 0,00-0,25
- 0,25-0,50
- 0,50-0,75
- 0,75-1,00
- 1,00-2,00
- 2,00-3,00
- 3,00-4,00
- 4,00-5,00
- 5,00-10,1

LEYENDA AFECCIONES:

- AFECCIONES (numeración según apéndice 4)
- OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL (numeración según apéndice 1)

N

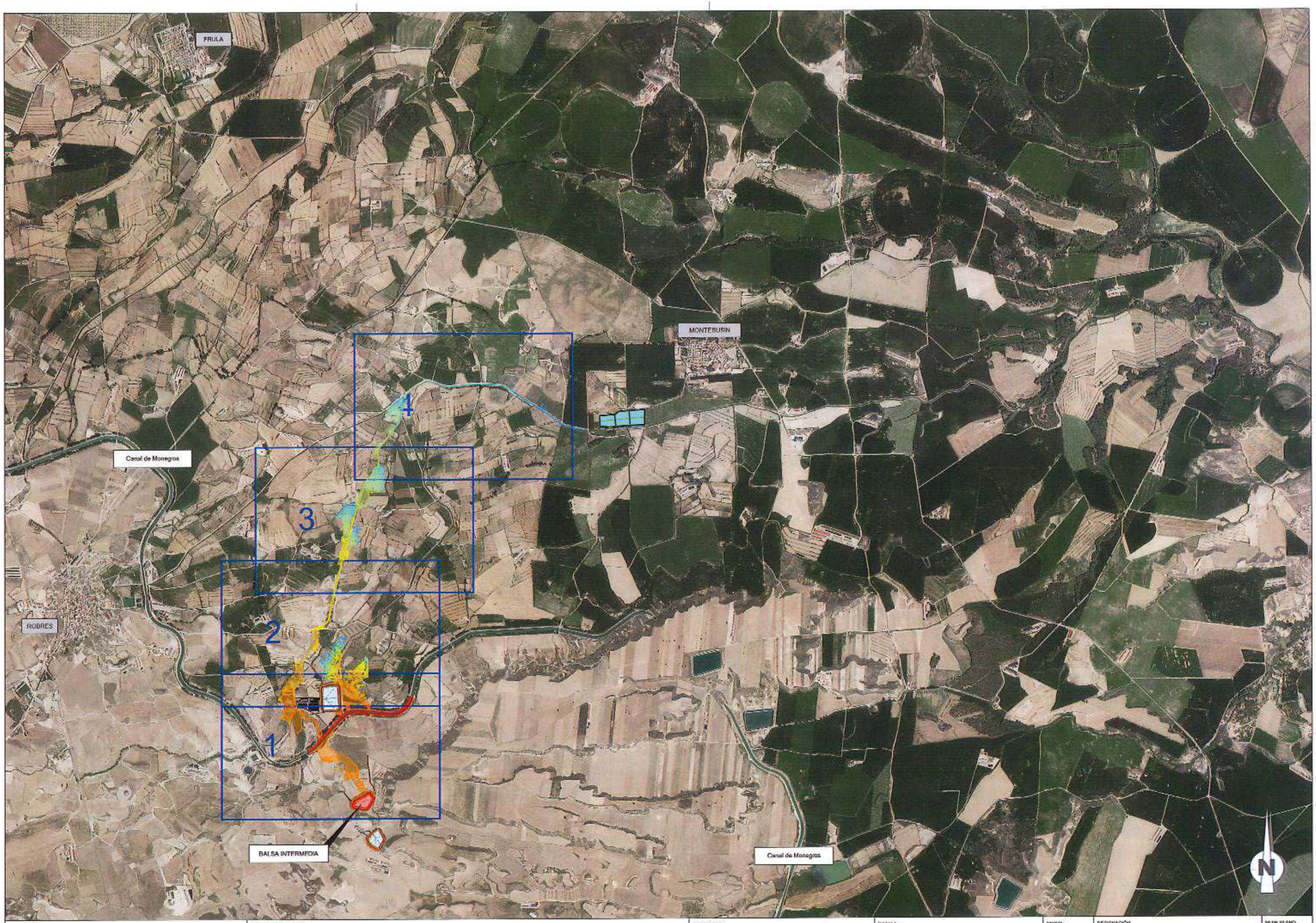
PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL FDO. JAVIER MUR SATUÉ — Cingral CONSULTORES DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 5.000 (0 25 50 75 100 m) UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN VELOCIDAD-CORONACIÓN HEC-RAS	Nº DE PLANO: 05 Nº DE HOJA: 2 de 4



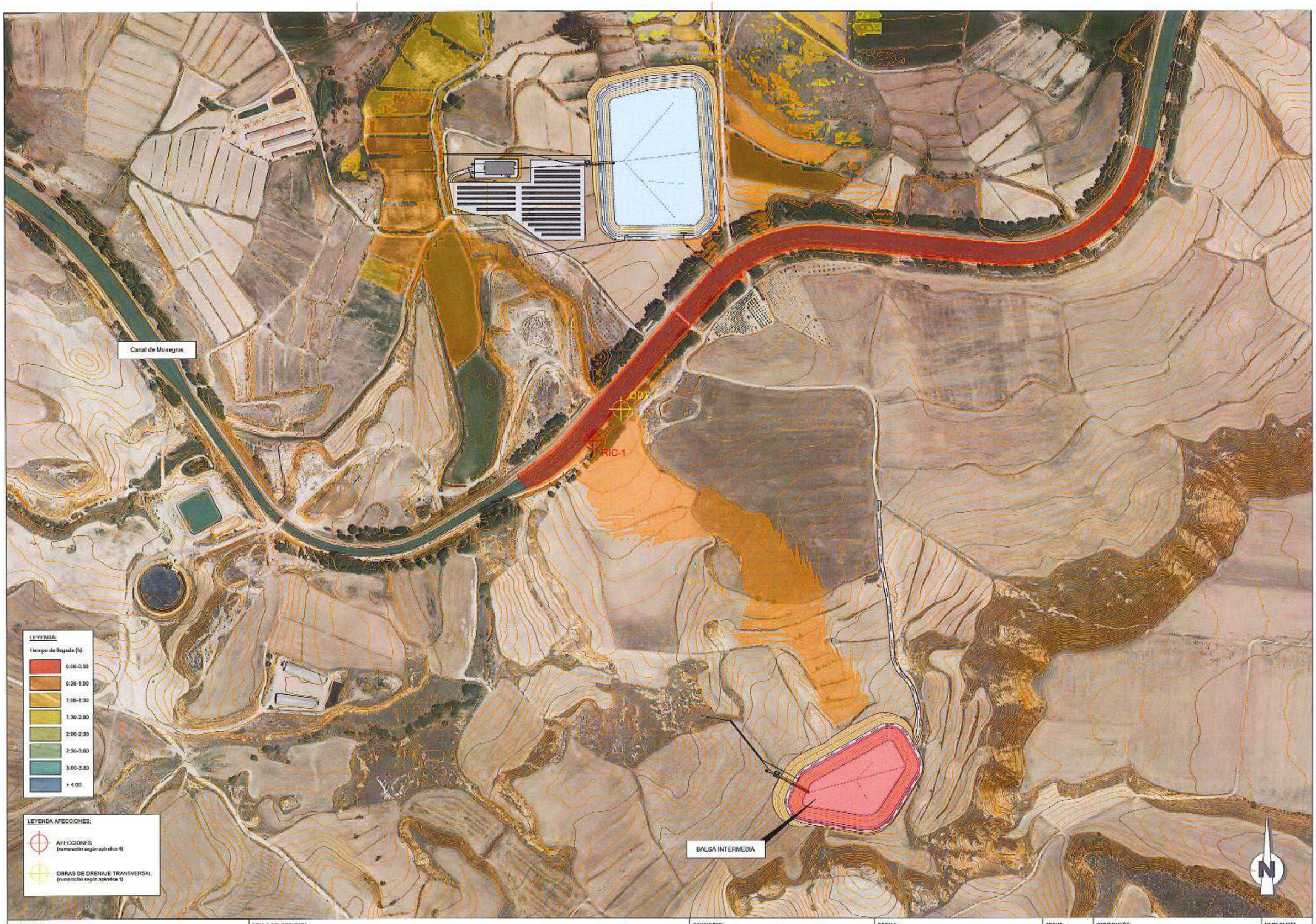
PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL FDO. JAVIER MUR BATUÉ Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 5.000 0 25 50 75 100 m UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN VELOCIDAD-CORONACIÓN HEC-RAS	Nº DE PLANO: 05 Nº DE HOJA: 3 de 4



PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL FDO. JAVIER MUR BATUÉ — Cingral Consultoría de Ingeniería	ESCALA: 1 : 5.000 (0 25 50 75 100 m) UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN VELOCIDAD-CORONACIÓN HEC-RAS	Nº DE PLANO: 05 Nº DE HOJA: 4 de 4



PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TÍTULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL. FDO. JAVIER MUR BATUÉ. Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 30.000 (0 150 300 450 600 m) UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023. REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN TIEMPO-CORONACIÓN HEC-RAS	Nº DE PLANO: 06. Nº DE HOJA: 0 de 4



PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL — FDO. JAVIER MUR BATUE; Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 5.000 (0 25 50 75 100 m); UNE A3; GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023; REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN TIEMPO-CORONACIÓN HEC-RAS	Nº DE PLANO: 06; Nº DE HOJA: 1 de 4



PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL FDO. JAVIER MUR SATUÉ · Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 5.000 (0 25 50 75 100 m) UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN TIEMPO-CORONACIÓN HEC-RAS	Nº DE PLANO: 06 Nº DE HOJA: 2 de 4



PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL FDO. JAVIER MUR SATUÉ · Cingral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 5.000 (0 25 50 75 100 m) UNE A3 GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023 REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN TIEMPO-CORONACIÓN HEC-RAS	Nº DE PLANO: 06 Nº DE HOJA: 3 de 4



PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA	TITULO DEL PROYECTO: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES COLLARADA (HUESCA)	CONSULTOR: EL INGENIERO CIVIL — FDO. JAVIER MUR SATUÉ; Clngral CONSULTORA DE INGENIERÍA	ESCALA: 1 : 5.000 (0 50 50 75 100 m); UNE A3; GRÁFICAS	FECHA: NOVIEMBRE DE 2023; REFERENCIA: 22-009	DESIGNACIÓN: PROPUESTA CLASIFICACIÓN TIEMPO-CORONACIÓN HEC-RAS	Nº DE PLANO: 06; Nº DE HOJA: 4 de 4

ANEXO 4.- TABLA DE AFECCIONES

Tabla nº 1. Modelo de tabla para el análisis de afecciones a núcleos de población, viviendas y vidas humanas en general

IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA AFECCIÓN POTENCIAL									RESULTADOS DEL MODELO HIDRÁULICO						CLASIFICACIÓN DEL DAÑO	
Nº	Denominación	Tipo de elemento afectado [1]	Distancia a la presa (km)	Cauce	Margen	Coordenadas UTM		Cota (msnm)	Caudal máximo (m^3/s)	Cota máxima agua (msnm)	Tiempo llegada onda (h:mm)	Tiempo valores máximos (h:mm)	Calado máximo (m)	Velocidad máxima (m/s)	Grado de afección[2]	Nº viviendas afectadas
						X	Y									
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla nº 2. Modelo de tabla para el análisis de afecciones a servicios esenciales

IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA AFECCIÓN POTENCIAL									RESULTADOS DEL MODELO HIDRÁULICO						CLASIFICACIÓN DEL DAÑO
Nº	Denominación	Tipo de elemento afectado [1]	Distancia a la presa (km)	Cauce	Margen	Coordenadas UTM		Cota (msnm)	Caudal máximo (m^3/s)	Cota máxima agua (msnm)	Tiempo llegada onda (h:mm)	Tiempo valores máximos (h:mm)	Calado máximo (m)	Velocidad máxima (m/s)	Grado de afección[2]
						X	Y								
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla nº 3. Modelo de tabla para el análisis de los daños materiales ocasionados por la onda de rotura

IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA AFECCIÓN POTENCIAL									RESULTADOS DEL MODELO HIDRÁULICO						CLASIFICACIÓN DEL DAÑO			
Nº (x-xx)	Denominación	Tipo de elemento afectado [1]	Distancia a la presa (km)	Cauce	Margen	Coordenadas UTM		Cota (msnm)	Caudal máximo (m^3/s)	Cota máxima agua (msnm)	Tiempo llegada onda (h:mm)	Tiempo valores máximos (h:mm)	Calado máximo (m)	Velocidad máxima (m/s)	Grado de afección[2]	Nº de instalaciones afectadas[3]	Superficie de cultivo afectada[4]	Daños potenciales[5]
						X	Y											
RIN-1	Camino de Servicio Canal de Monegros	Instalación rústica	0,62	Canal de Monegros		712.925	4.636.930	389,85	139	390,96	00:37	00:40	1,07	1,90	Grave	1		Moderados
RIC-1	Camino de Servicio Canal de Monegros	Instalación rústica	0,62	Canal de Monegros		712.925	4.636.930	389,85	175	391,08	00:37	00:41	1,23	1,95	Grave	1		Moderados

x: RIN (Rotura Individual a N.A.M.O.) / RIC (Rotura Individual a Coronación)

xx: Nº de elemento según Apéndice 1 y Apéndice 3

Tabla nº 4. Modelo de tabla para el análisis de las afecciones a elementos medioambientales, histórico-artísticos o culturales

IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA AFECCIÓN POTENCIAL									RESULTADOS DEL MODELO HIDRÁULICO						CLASIFICACIÓN DEL DAÑO		
Nº	Denominación	Tipo de elemento afectado [1]	Distancia a la presa (km)	Cauce	Margen	Coordenadas UTM		Cota (msnm)	Caudal máximo (m^3/s)	Cota máxima agua (msnm)	Tiempo llegada onda (h:mm)	Tiempo valores máximos (h:mm)	Calado máximo (m)	Velocidad máxima (m/s)	Superficie Afectada[2]	Grado de afección[3]	Evaluación tipo de afección[4]
						X	Y										