



TRABAJO FINAL DE GRADO

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA RESOLVER LAS FILTRACIONES EN LA CERRADA DE LA PRESA DE ALLOZ (NAVARRA)

Estudio geológico, estudio hidrológico y estudio geotécnico

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Universitat Politècnica de València

Titulación: *Grado en Ingeniería Civil*

Curso académico: *2017/2018*

Autor: *Valentín Marín Dumitru*

Tutor: *Julio Garzón Roca*

Valencia, Junio de 2018

Cotutor: *Francisco Javier Torrijo Echarri*

INTRODUCCIÓN Y AGRADECIMIENTOS

El presente Trabajo Final de Grado ha sido desarrollado en la modalidad de Taller por los alumnos del Grado en Ingeniería Civil, Valentín Marín Dumitru y Vicente Juan Campos. Valentín Marín se ha encargado de llevar a cabo los correspondientes estudios previos presentes en el trabajo, como son el estudio geológico, geotécnico e hidrológico. Por su parte, Vicente se ha ocupado del desarrollo del estudio de las distintas alternativas para solucionar la problemática, así como del desarrollo de la solución óptima incluyendo la programación de obra y la estimación económica de la misma.

Tanto la memoria del trabajo como los planos informativos han sido realizados por ambos alumnos, así como el trabajo de recopilación de información acerca de los antecedentes y la situación actual.

Para la consecución del presente Trabajo Final de Grado se ha contado con la ayuda de diversos miembros de la comunidad universitaria. Se agradece, por tanto, la ayuda y asesoramiento que han prestado los tutores Julio Garzón y Javi Torrijo durante la realización de este trabajo, así como los conocimientos que nos han sabido transmitir tanto en la redacción de estudio como a lo largo de los distintos cursos del Grado en Ingeniería Civil.

Asimismo, se quiere agradecer a los profesores Rafael Cortés y Elvira Garrido la ayuda y asesoramiento prestado a la hora de resolver dudas diversas y obtener de información sobre el tema tratado.

Por último, agradecer la colaboración de la Confederación Hidrográfica del Ebro, ya que de otro modo no hubiese sido posible concertar la visita realizada a la Presa de Alloz.

ÍNDICE GENERAL

DOCUMENTO Nº1: MEMORIA

- **MEMORIA**
- **ANEJO 1. ANTECEDENTES Y SITUACIÓN ACTUAL**
- **ANEJO 2. FOTOGRAFICO**
- **ANEJO 3. ESTUDIO GEOLÓGICO**
- **ANEJO 4. ESTUDIO HIDROLÓGICO**
- **ANEJO 5. ESTUDIO GEOTÉCNICO**
- **ANEJO 6. ESTUDIO DE SOLUCIONES**
- **ANEJO 7. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA**
- **ANEJO 8. PROGRAMA DE TRABAJOS Y JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS**

DOCUMENTO Nº2: PLANOS INFORMATIVOS

- **PLANO Nº1. PLANO DE SITUACIÓN**
- **PLANO Nº2. PLANO DESCRIPTIVO Y DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES**
- **PLANO Nº3. PLANTA GENERAL**
- **PLANO Nº4. ALZADO DE LA PANTALLA DE INYECCIONES**



TRABAJO FINAL DE GRADO

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA RESOLVER LAS FILTRACIONES EN LA CERRADA DE LA PRESA DE ALLOZ (NAVARRA)

DOCUMENTO Nº1: MEMORIA

Titulación: *Grado en Ingeniería Civil*

Curso académico: *2017/2018*

Autores: *Valentín Marín Dumitru y Vicente Juan Campos*

Tutor: *Julio Garzón Roca*

Cotutor: *Francisco Javier Torrijo Echarri*

Valencia, Junio de 2018

ÍNDICE

DOCUMENTO Nº1: MEMORIA

- **MEMORIA**
- **ANEJO 1. ANTECEDENTES Y SITUACIÓN ACTUAL**
- **ANEJO 2. FOTOGRAFICO**
- **ANEJO 3. ESTUDIO GEOLÓGICO**
- **ANEJO 4. ESTUDIO HIDROLÓGICO**
- **ANEJO 5. ESTUDIO GEOTÉCNICO**
- **ANEJO 6. ESTUDIO DE SOLUCIONES**
- **ANEJO 7. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA**
- **ANEJO 8. PROGRAMA DE TRABAJOS Y JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS**



TRABAJO FINAL DE GRADO

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA RESOLVER LAS FILTRACIONES EN LA CERRADA DE LA PRESA DE ALLOZ (NAVARRA)

MEMORIA

Titulación: *Grado en Ingeniería Civil*

Curso académico: *2017/2018*

Autores: *Valentín Marín Dumitru y Vicente Juan Campos*

Tutor: *Julio Garzón Roca*

Cotutor: *Francisco Javier Torrijo Echarri*

Valencia, Junio de 2018

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
2. ANTECEDENTES Y SITUACION ACTUAL.....	5
3. GEOLOGIA	6
3.1 GEOLOGÍA REGIONAL	6
3.2 GEOMORFOLOGÍA Y GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	7
3.3 HIDROGEOLOGÍA.....	7
3.4 GEOLOGÍA LOCAL	8
3.5 SISMOLOGÍA	8
4. HIDROLOGÍA.....	9
5. GEOTECNIA.....	10
5.1 TRABAJOS DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO	10
5.2 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES	10
5.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.....	11
6. ESTUDIO DE SOLUCIONES	12
7. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.....	13
7.1 PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN	13
7.2 MODELIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN	15
8. PROGRAMA DE TRABAJOS Y JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS.....	20
9. CONCLUSIONES.....	21

1. INTRODUCCIÓN

La presa de Alloz, situada en la comunidad foral de Navarra, fue construida en 1930. Desde su puesta en uso hasta la actualidad se han producido grandes filtraciones en la cerrada debido a que esta presa bóveda se encuentra situada en una zona de afloramientos yesosos asociados al Keuper que han dado lugar a fugas de considerable caudal. Tras intentos continuados por corregir la situación, a día de hoy se siguen produciendo filtraciones considerables en la margen derecha de la presa, por lo que el objetivo del presente trabajo es llevar a cabo una solución definitiva para el problema.

La presa de Alloz se encuentra situada al Suroeste de Pamplona, provincia de Navarra, en el término municipal de Yerri y Guesalaz, siendo la población más cercana Alloz. Se trata de una presa bóveda de 69 metros de altura destinada a la regulación del Río Salado, a riegos y producción de energía eléctrica. El embalse tiene una extensión de 347 ha en su Nivel Máximo Normal y una capacidad total de 65,3 hm³.



Figura 1. Localización de la Presa de Alloz. Fuente: Google Earth

2. ANTECEDENTES Y SITUACION ACTUAL

Antes de la construcción de la presa, se lleva a cabo en 1926 un estudio geológico por parte de Primitivo H. Sampelayo, donde se estudia con detalle la geología de la cerrada y del vaso, llegando a las siguientes conclusiones:

- El vaso es prácticamente impermeable y de paredes de “resistencia infinita”, cabiendo suponer que las paredes presentan una gran resistencia.
- Las calizas eocenas de la cerrada, junto a las margas cretáceas aguas abajo y a los yesos oligocenos aguas arriba, reúnen condiciones de resistencia e impermeabilidad para encajar la presa.
- Los yesos oligocenos desbordan en el estribo derecho, con la posibilidad de que se inflasen y agrietasen, por lo que convendría un paramento enarcillado en los asomos.
- El revestido sólo se aconseja en el estribo derecho, pues en el izquierdo los yesos ya han sufrido su hidratación.

Para evitar el contacto del agua con los yesos en el estribo derecho se protegió este con una pantalla de muros de hormigón entre los cuales se extendieron capas de arcillas.

Una vez terminada la construcción de la presa, en 1930, aparecen fugas importantes de dos tipos en ambos estribos:

- Unas de pequeño caudal en ambos estribos.
- Otra más peligrosa, de caudal regular, en la antigua galería de desvío del río, al pie del estribo derecho.

Se propone, por tanto, realizar un estudio a los geólogos Primitivo H. Sampelayo, Clemente Sáenz y José María Valdés, en el cual se propuso llevar a cabo nuevos sondeos de reconocimiento e inyecciones con lechada de cemento y betún asfáltico, así como la reparación en la pantalla de arcillas. Sin embargo, en 1936, al llenar el embalse vuelven a aparecer nuevas filtraciones y se decide taponar la galería de observación construida en la zona yesosa. Al bajar el nivel del embalse se observó que la pantalla se volvió a romper.

Poco a poco, la situación se normaliza hasta que finalmente, en 1965, aparecen de nuevo filtraciones del orden de 85l/s y el geólogo Ángel García Yagüe estudia en profundidad el asunto. Como consecuencia, entre 1966 y 1968 se realiza a lo largo del eje de la presa, así como en ambas márgenes en la zona del collado, una pantalla de inyecciones por medio de una fila de sondeos verticales. Las inyecciones de la margen derecha dieron el resultado deseado, aunque persistía una pequeña circulación de agua hacia el oeste.

En la actualidad, las filtraciones tienen lugar tanto en la margen derecha como en la izquierda, registrándose los siguientes caudales:

- Margen derecha: 12 l/s.
- Margen izquierda: 2 l/s.



Figura 2. Localización de las filtraciones. Fuente: Propia

3. GEOLOGIA

En este apartado se define la caracterización geológica de la zona en la que se encuentra ubicada la Presa de Allos, tanto a nivel regional como a nivel local, a fin de llevar a cabo la posterior campaña geotécnica y la elección de la solución adecuada acorde al tipo de terreno existente.

Asimismo, se analiza la geomorfología y geología estructural e hidrogeología regionales y el grado de sismicidad presente en el emplazamiento.

3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

El embalse de Allos, se encuentra situado en la vertiente meridional de la sierra de Andía, prácticamente donde enlazan el Terciario de la cuenca Alavesa con el de la cuenca del Ebro. La mayor parte de los materiales que afloran están constituidos por conglomerados, areniscas, arcillas, margas y yesos de origen continental, cuyas edades oscilan entre el Oligoceno y el Mioceno. Al Eoceno corresponden los afloramientos de calizas de Estella-Murugarren, así como los que arman la cerrada de la Presa de Allos.

El diapiro de Allos, formado por sedimentos arcillosos y yesíferos de edad triásica, que engloban bloques calizo-dolomíticos de edad jurásica y margosos del Cretácico inferior, constituye la principal expresión estructural de la hoja afectando en parte al resto de materiales circundantes. Este diapiro, junto con los próximos de Estella y Salinas de Oro forman parte de la alineación SO-NE de diairos navarros. Es un accidente de gran importancia considerado como parte de la expresión de la denominada Falla de Pamplona. La movilidad tectónica ha ido acompañada de variaciones de cierta importancia en el espesor de las series detríticas. Otras estructuras de interés son las fallas de Mañeru y Murugarren. La primera que separa los materiales intensamente plegados con buzamientos subverticales del Oligoceno de los sedimentos del Mioceno, y la segunda, de carácter inverso que pone en contacto las calizas eocenas con los materiales detríticos miocenos. En el resto de la hoja predomina el pliegue sinclinal de amplio radio (sinclinal de Murillo).

Los materiales pertenecientes a la zona de estudio se engloban en el dominio estructural de influencia del diapiro de Allos, situado en la alineación de diairos navarros, quedando estos materiales comprendidos en el Triásico (Keuper), Jurásico y Albiense superior-Cenomaniense inferior, siendo las unidades litológicas aflorantes en la zona de estudio las siguientes:

- Margas y margocalizas (Cenomaniense inferior)
- Calcarenitas bioclasticas (Luteciense medio - Bartoniense inferior (Biarritiense))
- Conglomerados de cantos de yeso, areniscas y lutitas rojas (Sueviense-Arverniense)
- Areniscas en capas extensas y lutitas rojizas y ocre (Arverniense-Ageniense)

Todas estas unidades litológicas quedan definidas con mayor grado de detalle en el Anejo nº3: Estudio Geológico.

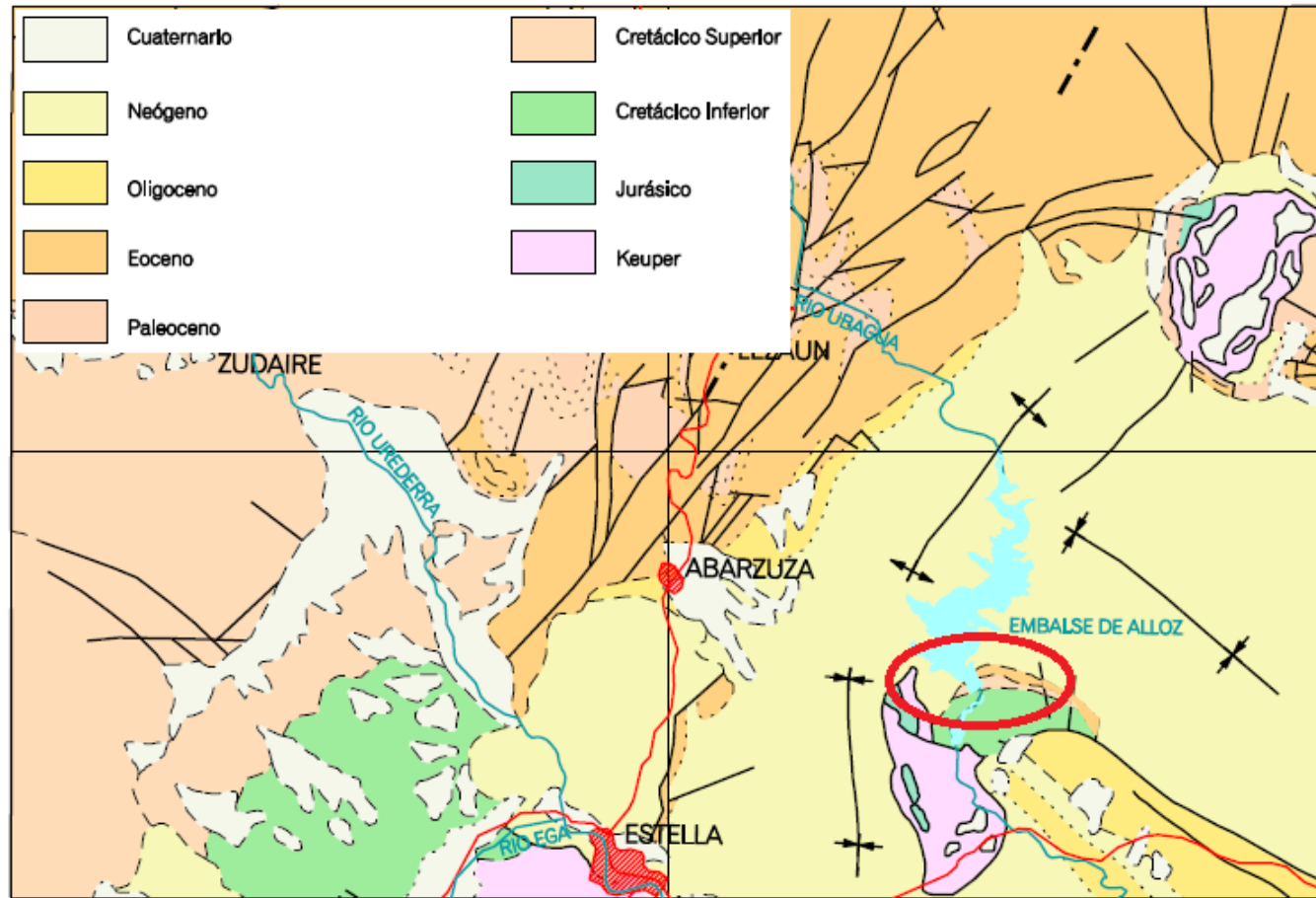


Figura 3. Esquema geológico. Fuente: Gobierno de Navarra.

3.2 GEOMORFOLOGÍA Y GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La totalidad de la zona de estudio se encuentra ocupada por la vertiente meridional de los Montes de Iturgoyen en su enlace hacia la Depresión del Ebro. La red de drenaje principal de la zona está constituida por el río Salado, que transcurre por la zona central de la zona en dirección Norte-Sur, y el río Irantzu que, con la misma dirección se localiza en el tercio occidental de la misma.

Las cotas más altas se localizan tanto en la zona septentrional, en las últimas estribaciones serranas, en torno a los 700 m, como en la alineación montuosa entre Garisoain y Cirauqui, en la zona centro meridional, donde se alcanzan cotas cercanas a los 900 m (Alto de Iguste, 861 m). Las zonas más bajas, en torno a los 400 m, se sitúan en la zona más meridional del río Salado, en la zona centromeridional.

Morfométricamente, la zona de estudio se caracteriza por el predominio de las pendientes suaves, correspondientes al paisaje suavemente alomado que se desarrolla a favor de los sedimentos del terciario continental predominantes en la hoja. Solamente en relación con la alineación montuosa ubicada al SE del embalse de Allos, y en los bordes serranos del Norte de la hoja, aparecen pendientes de terreno medias y altas.

Por su parte, el sector estructural correspondiente al ámbito de estudio se caracteriza por un plegamiento de amplio radio y directrices claramente pirenaicas, en el que están bien representadas las sucesiones del Cretácico superior y Terciario marinos. En la parte SE de la zona considerada, asimismo está representado el borde de la Cuenca del Ebro, el cual corresponde a una depresión rellena con materiales continentales oligomiocenos. Un elemento estructural importante dentro de la zona corresponde a la denominada Alineación de Diapiros navarros o Falla de Pamplona. Aparte de haber constituido un límite de cuencas, este importante accidente marcaría la línea divisoria de los esfuerzos que caracterizan las áreas estructurales pirenaicas y vasco-cantábrico.

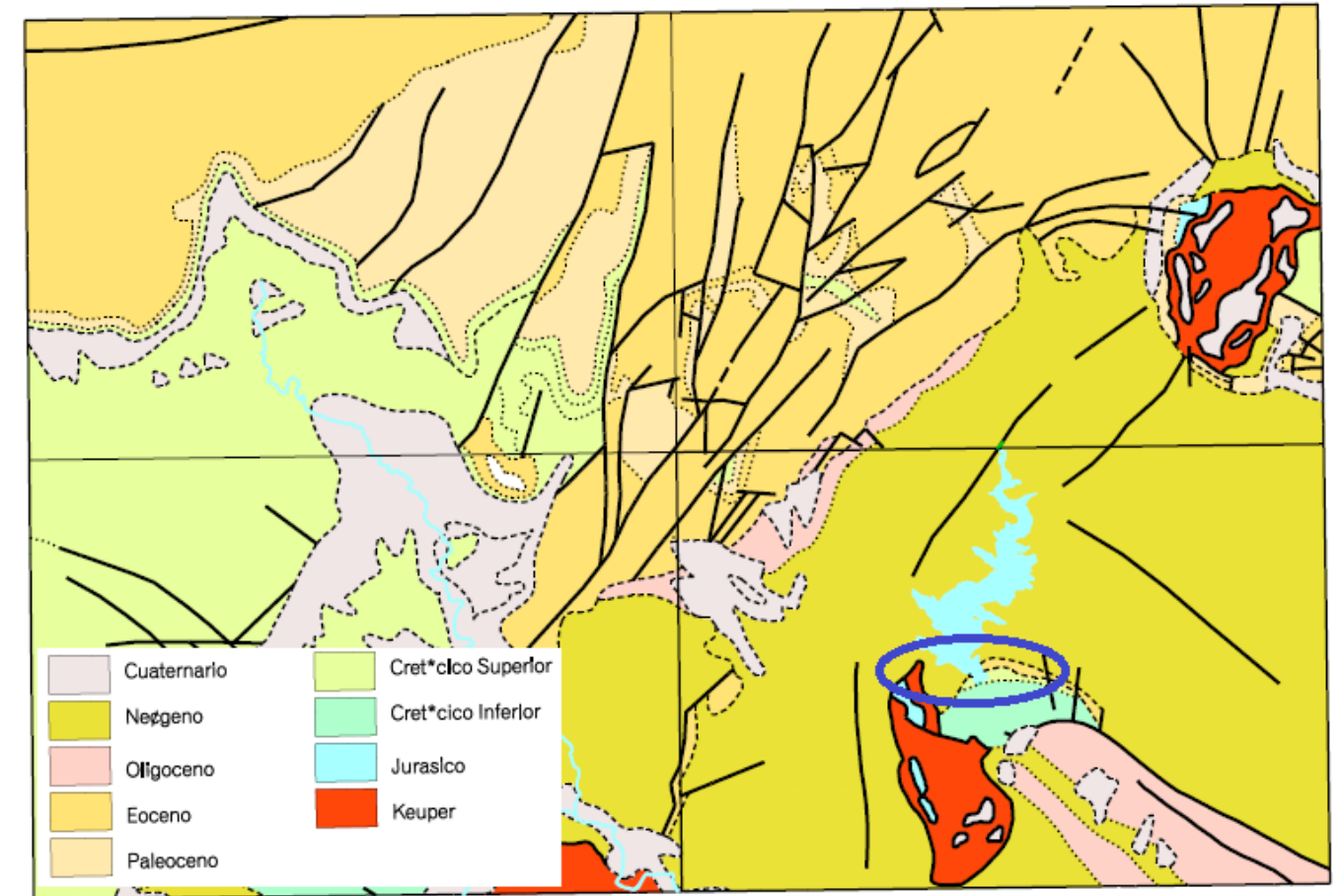


Figura 4. Esquema morfoestructural. Fuente: Gobierno de Navarra.

3.3 HIDROGEOLOGÍA

La masa de agua subterránea más cercana la zona de estudio es la correspondiente a la unidad hidrogeológica de Andía. Ésta se encuentra limitada por la Sierra de Urbana al oeste y el cauce de los ríos Araquil y Arga al oeste, por lo que no afecta directamente a nuestra zona de estudio.

En la zona del embalse de Allos no existe ninguna formación acuífera, lo que conlleva una recarga del embalse de forma superficial. En la siguiente figura se muestran las formaciones hidrogeológicas de la cuenca del Ebro (verde), así como las zonas con ausencia de acuíferos (naranja).

En amarillo aparece representada la formación de Andía, siendo esta la más cercana a la zona de estudio, pero sin afección directa a esta.

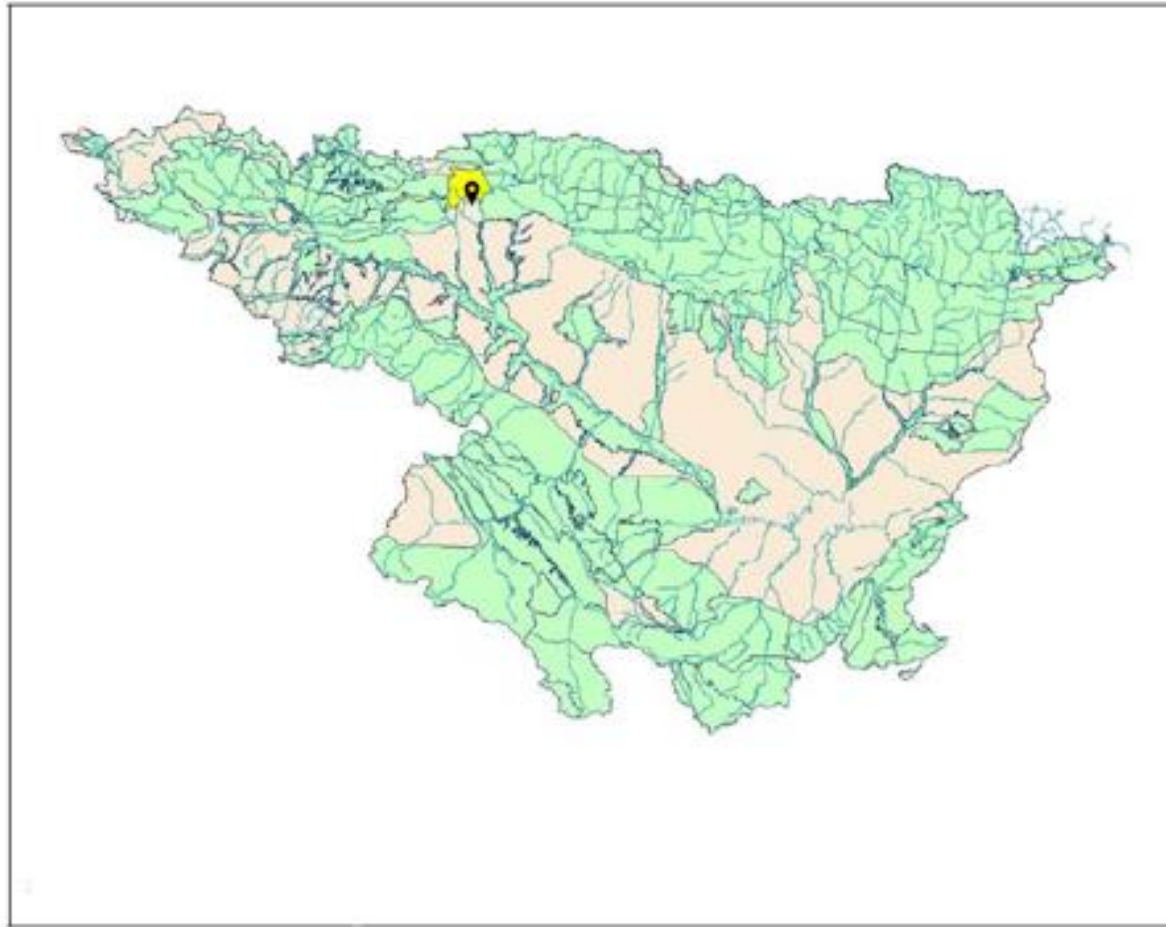


Figura 5. Formaciones hidrogeológicas de la cuenca del Ebro. Fuente: Confederación Hidrográfica del Ebro

3.4 GEOLOGÍA LOCAL

El vaso del embalse de Alloz lo constituyen esencialmente las margas y areniscas del Oligoceno-Aquitaniense que parece estar plegado en un gran sinclinal que hace aflorar margas yesos basales, cerca de la cerrada y en la cola del embalse. Esta banda yesífera, claramente del Oligoceno Superior, presenta estratificación alternante de margas ocres o rojizas y yesos lenticulares, que contornean los límites de las calizas eocenas de la cerrada, cabalgando o recubriéndolas en la margen derecha debajo de la presa.

El Keuper aflorante en Alloz se extiende radialmente hacia el embalse con dirección NE cortando las margas, areniscas y margas yesíferas del Oligoceno, detectándose su presencia en el collado de la margen derecha y en la margen izquierda, sobre todo por la presencia de "Jacintos de Compostela" de tamaño milimétrico, lo cual explica que, durante mucho tiempo toda la formación yesosa, fuera atribuida al Oligoceno por no haberse detectado dichos minerales.

El otro gran afloramiento del Keuper, situado hacia el NE de la cola del embalse, parece que no lo alcanza, si bien su alineación coincide aproximadamente con el curso del Rio Salado, lo que pudiera indicar la presencia de una falla o fractura a favor de la cual se pudiera encontrar nuevos afloramientos.

Todo el Keuper se presenta en su facies de arcillas rojizas con abundantes yesos pudiendo dar tonalidades gris-verdosas. No presenta estratificación, sino una estructura fluida estando, en ocasiones, acompañado por carnioles. En el collado de la margen derecha, el Keuper aparece en forma acuñada, extendiéndose hacia el embalse, suponiéndose que, en la zona inundada se encuentra bajo los recubrimientos cuaternarios.

3.5 SISMOLOGÍA

Para el estudio de la peligrosidad sísmica de la zona se ha empleado la Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02), en la cual viene definida dicha peligrosidad por medio del mapa sísmico, en el que se puede comprobar que la zona de estudio se encuentra localizada en el límite entre una aceleración sísmica básica de 0.04g y 0.08g. Para realizar una comprobación más exacta se recurre al mapa de peligrosidad sísmica del IGN (Incluido en el Anejo nº3: Estudio geológico) el cual indica una aceleración básica de entre 0.06g y 0.08g, por tanto, se tendrá en cuenta una aceleración básica de 0.07g como valor intermedio entre ambos, a partir del cual se obtiene una aceleración sísmica de cálculo de 0,0728g.

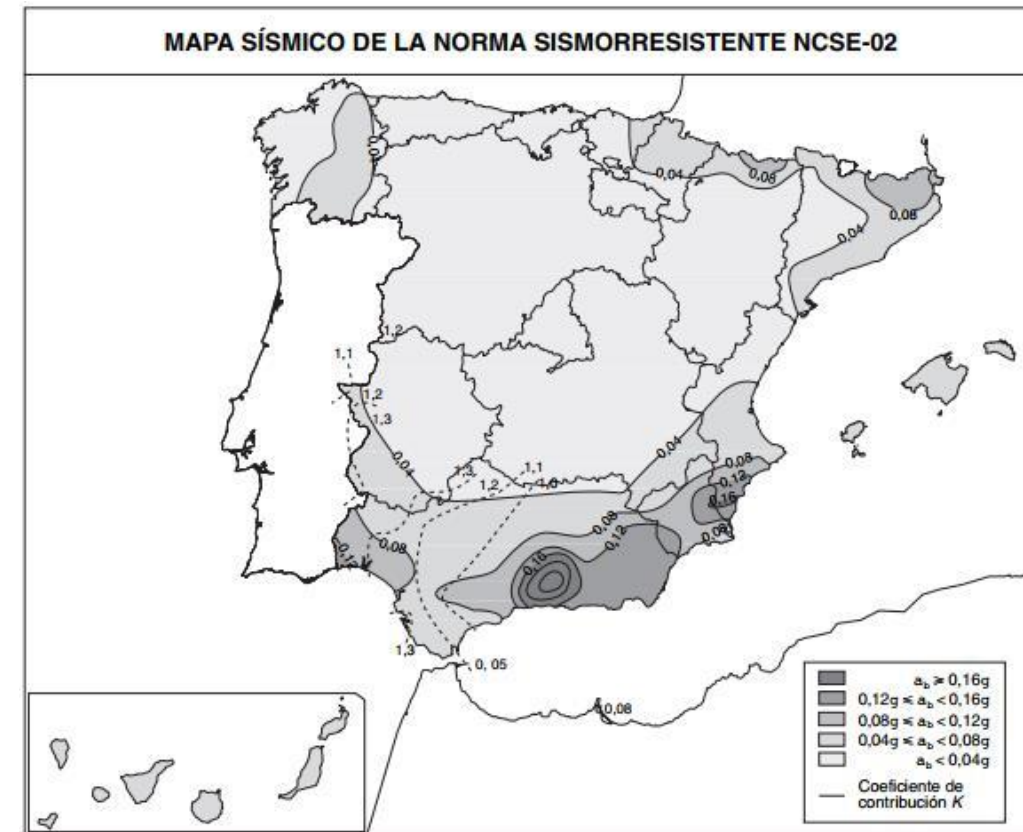


Figura 6. Mapa de peligrosidad sísmica. Fuente: NCSE-02

4. HIDROLOGÍA

En el estudio hidrológico realizado se han obtenido los caudales máximos asociados a los periodos de retorno de 1000 y 5000 años (ya que se trata de una presa de categoría A en función del riesgo potencial), a fin de estimar los hidrogramas de crecida asociados a los periodos de retorno mencionados.

Se han obtenido valores máximos de precipitación diaria de la estación pluviométrica más cercana a la zona de estudio entre 1957 y 2011 mm/día y, tras analizar la serie pluviométrica y ajustar la serie de máximos anuales a una serie de funciones de distribución, se ha comprobado que la función que mejor se ajusta a la distribución empírica es la SQRT, por lo que será esta misma la empleada para obtener la precipitación máxima diaria asociada a los periodos de retorno de 1000 y 5000 años.

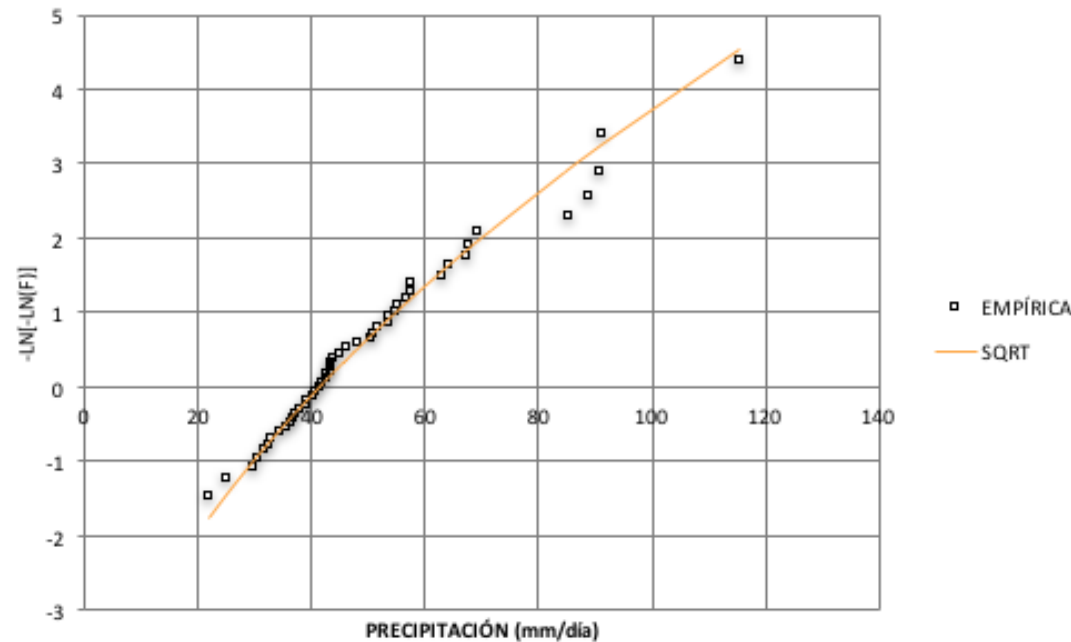


Figura 7. Ajuste de la serie a la función SQRT. Fuente: Propia

La función nos ofrece el valor de precipitación máxima asociado a $T = 1000$ años, con una probabilidad de no ocurrencia de 0,999, igual a 154 mm/día. Realizando el mismo proceso para $T = 5000$ años, con una probabilidad de no ocurrencia de 0,9998, nos da un valor de 175 mm/día.

Para el cálculo de caudales asociados a los periodos de retorno mencionados empleando el Método Racional Modificado propuesto por la norma de drenaje superficial IC 5.2 se obtiene un caudal igual a $840 \text{ m}^3/\text{s}$ y para el periodo de retorno $T = 1000$ años, mientras que para $T = 5000$ años se obtiene un caudal igual a $1001 \text{ m}^3/\text{s}$.

Finalmente, se han obtenido los hidrogramas asociados a cada periodo de retorno empleando el hidrograma unitario sintético triangular, el cual viene desarrollado SCS.

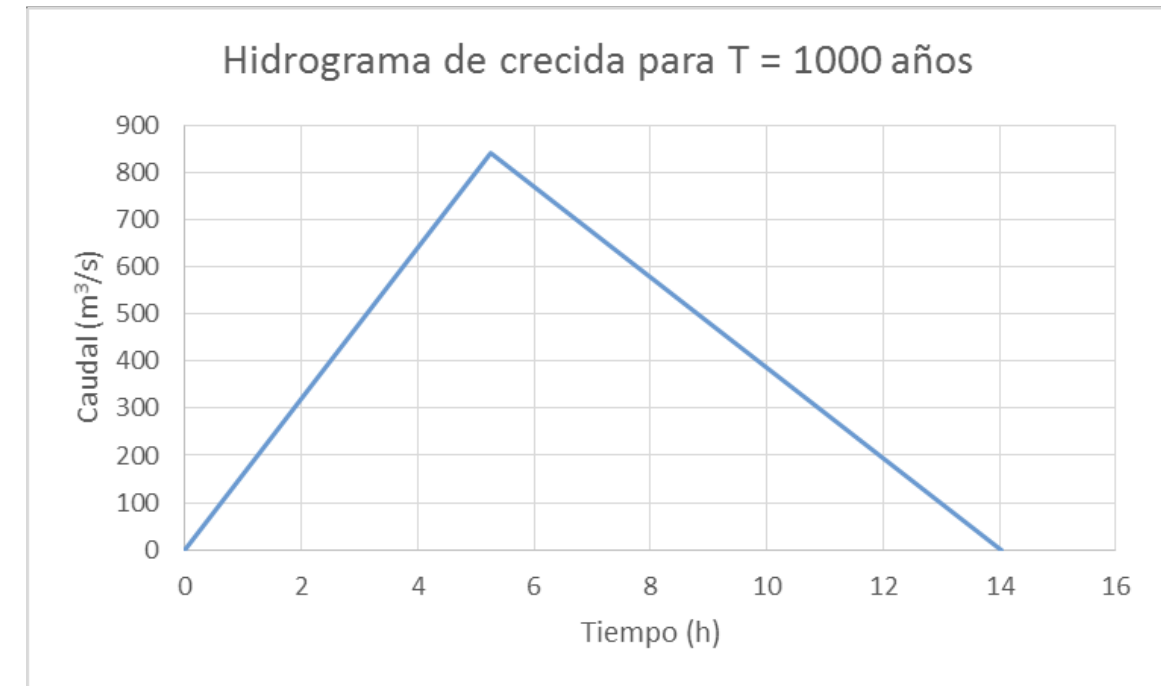


Figura 8. Hidrograma de crecida para $T=1000$ años. Fuente: Propia

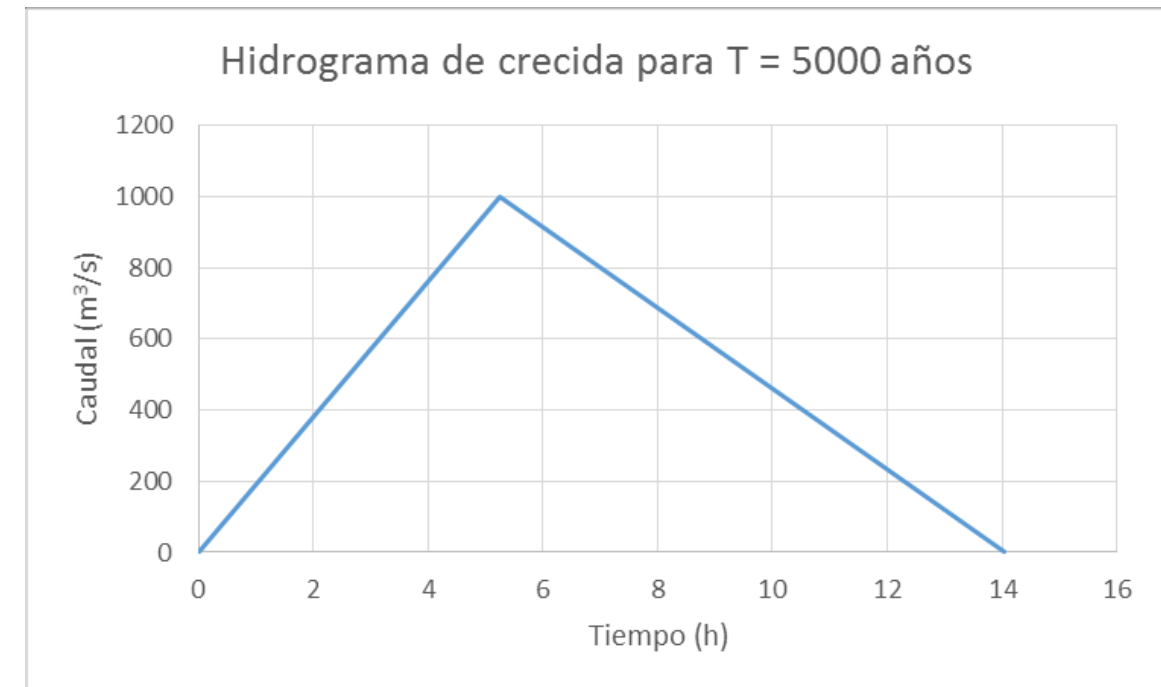


Figura 9. Hidrograma de crecida para $T=1000$ años. Fuente: Propia

5. GEOTECNIA

En la siguiente parte se especifica el análisis y la descripción geotécnica de la zona del emplazamiento de la presa de Alloz.

5.1 TRABAJOS DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO

Para la elaboración del estudio se cuenta con los datos de 4 sondeos mecánicos, 2 de ellos situados en la margen derecha de la presa (S-1 y S-2), uno de ellos aguas abajo de la cerrada de la presa (S-3), y el último de ellos en la margen izquierda (S-4).

Para la realización de los trabajos se empleó una máquina de rotación montada sobre camión con extracción continua de testigo, recogiendo muestras para su posterior análisis en laboratorio. Dada la naturaleza del terreno y la presencia de agua freática, se empleó tubería de revestimiento en todos los sondeos realizados.

Los sondeos realizados en la margen derecha de la presa, presentan un diámetro de perforación de 76 mm, mientras que los testigos obtenidos son de 62 mm de diámetro. Por su parte, los sondeos S-3 y S-4 presentan un diámetro de perforación de 56 mm, mientras que el diámetro del testigo es de 42 mm. En la siguiente tabla se muestran la localización de cada uno de los sondeos, así como la profundidad que se alcanzó.

Sondeo	Coordenadas	Profundidad
S-1	42°42'21.88"N 1°56'42.58"O	100 metros
S-2	42°42'19.84"N 1°56'41.59"O	61 metros
S-3	42°42'19.57"N 1°56'28.94"O	17 metros
S-4	42°42'21.64"N 1°56'27.33"O	50 metros

Tabla 1. Localización de los sondeos. Fuente: Propia

Además, se ha llevado a cabo una estación geomecánica junto al estribo derecho de la presa a fin de caracterizar las discontinuidades del macizo. En la siguiente tabla se muestran los valores medios obtenidos de la dirección de buzamiento y buzamiento de la familia de diaclasas y de los planos de estratificación presentes en el macizo.

Sistema	Dirección de buzamiento (°)	Buzamiento (°)
J1	161	89
J2	260	89
J3	61	64
J4	171	50
S0	341	67

Tabla 2. Discontinuidades del macizo rocoso. Fuente: Propia

Durante la realización de los sondeos, se procedió a la toma de muestras inalteradas, a fin de conocer las características geotécnicas de los materiales. A la vista de las mismas, y del objetivo de este trabajo, se realizaron los ensayos siguientes, según las normas UNE en vigor:

Sondeo	Ensayo	Cantidad	Norma
S-1	Densidad	5	(UNE 103.301-94)
	Compresión simple	4	(UNE 22950-1:1990)
S-2	Densidad	1	(UNE 103.301-94)
	Compresión simple	1	(UNE 22950-1:1990)
S-3	Densidad	2	(UNE 103.301-94)
	Compresión simple	2	(UNE 22950-1:1990)
S-4	Densidad	1	(UNE 103.301-94)
	Compresión simple	2	(UNE 22950-1:1990)

Tabla 3. Ensayos realizados. Fuente: Propia

Los resultados de los ensayos quedan definidos de forma detallada en el Anejo nº5: Estudio Geotécnico, aunque, a continuación, se indican los parámetros principales obtenidos para cada unidad geotécnica.

5.2 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES

El primer paso es definir las unidades geotécnicas presentes en el terreno. Esta clasificación se lleva a cabo a partir de los trabajos de campo realizados. El terreno se ha dividido en 5 niveles geotécnicos que presentan diferencias sustanciales entre ellos.

Además, a fin de conocer los parámetros tenso-deformaciones del macizo rocoso, se ha empleado el criterio de rotura de Hoek-Brown de 2002, el cual hace uso del índice GSI y de los parámetros m_i y D , tal y como viene definido en el Anejo nº5: Estudio Geotécnico.

Gravas limosas (Unidad Geotécnica 1)

Se trata de un nivel superficial aluvial de gravas con presencia de limos de un espesor medio de 2 metros.

Margas yesosas (Unidad Geotécnica 2)

Consiste en un nivel de margas con yesos de un espesor variable de entre 9 y 10 metros con una permeabilidad elevada debido a la disolución de los yesos presentes en la formación.

Brechas y conglomerados (Unidad Geotécnica 3)

Consiste en un nivel de espesor que varía entre 7 y 22 metros, formado por una serie de gravas litificadas constituidas tanto por clastos redondeados como angulosos.

Calizas (Unidad Geotécnica 4)

Se trata de un nivel de calizas con presencia de algas y numulites cuyo espesor varía entre 20 y 48 metros.

Margas con calizas (Unidad Geotécnica 5)

Consiste en un nivel de margas ocre y grises con algún vestigio de roca caliza con un espesor que varía entre 11 y 15 metros.

Parámetros Geotécnicos

A partir de las características de las unidades geotécnicas definidas, se obtiene la siguiente tabla resumen de sus valores:

	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	σ_{cm} (MPa)	E (MPa)	c (MPa)	Φ (°)	RCS (MPa)	γ (kN/m ³)	RMR	GSI
U.G.1	-	-	-	74,16	-	45,2	-	20	-	-
U.G.2	- 0,014	0,242	1,097	781,30	0,398	18,0	15,0	25	49	44
U.G.3	- 0,042	1,659	6,134	3218,94	1,670	33,0	30,6	26	-	60
U.G.4	- 0,752	5,962	10,55	3218,94	3,690	20,0	110,0	23	65	60
U.G.5	- 0,023	0,374	1,414	1118,05	0,499	19,5	17,0	25	53	48

Tabla 4. Resumen de parámetros geotécnicos. Fuente: Propia

5.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Finalmente, dentro del estudio geotécnico se ha llevado a cabo el análisis cinemático por medio de proyección estereográfica ante rotura planar, rotura por vuelco o toppling y rotura en cuña de los taludes de las laderas de la margen derecha e izquierda a partir de los datos obtenidos de la estación geomecánica situada junto al estribo derecho. Para la realización de estas comprobaciones se ha utilizado el programa Dips, de la compañía Rocscience Inc.

El estudio para todos los casos de rotura en ambos taludes, tanto la margen derecha de la cerrada, como la margen izquierda, se ha llevado a cabo en el anejo nº5 Estudio geotécnico. A continuación, se muestran las familias de discontinuidades agrupadas junto con la representación del talud de la margen izquierda, el cual presenta riesgo de rotura por vuelco con un porcentaje de ocurrencia.

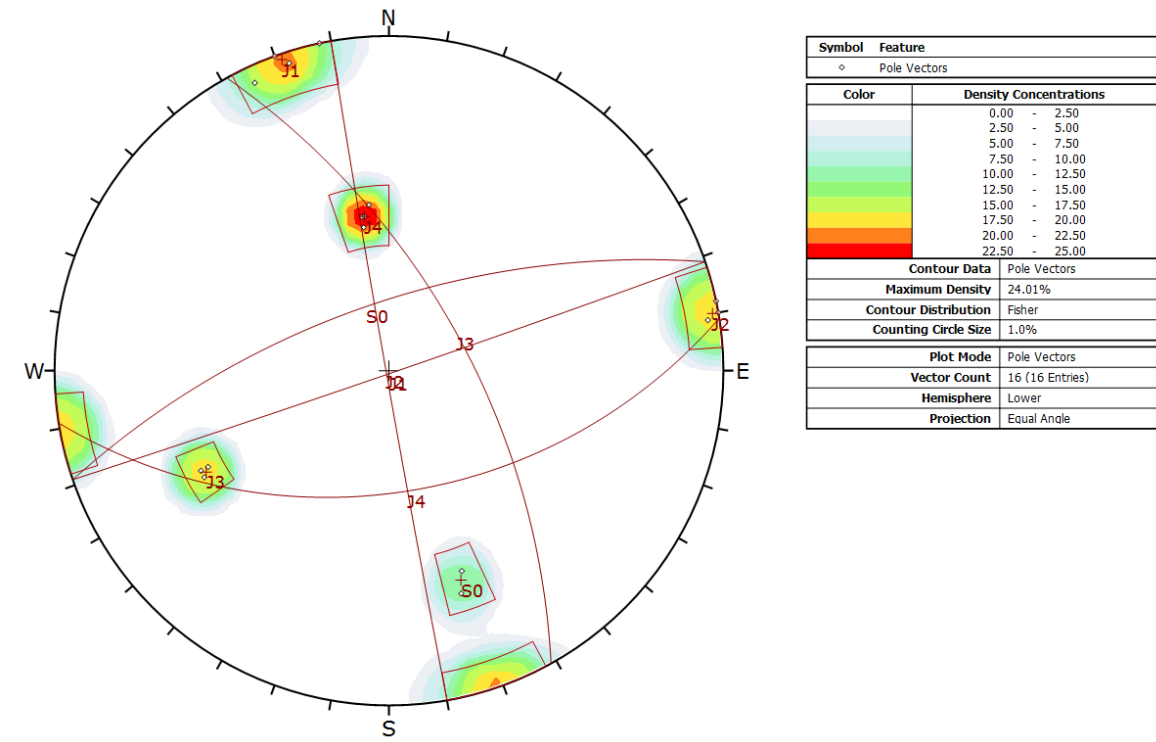


Figura 10. Familias de discontinuidades agrupadas. Fuente: Dips

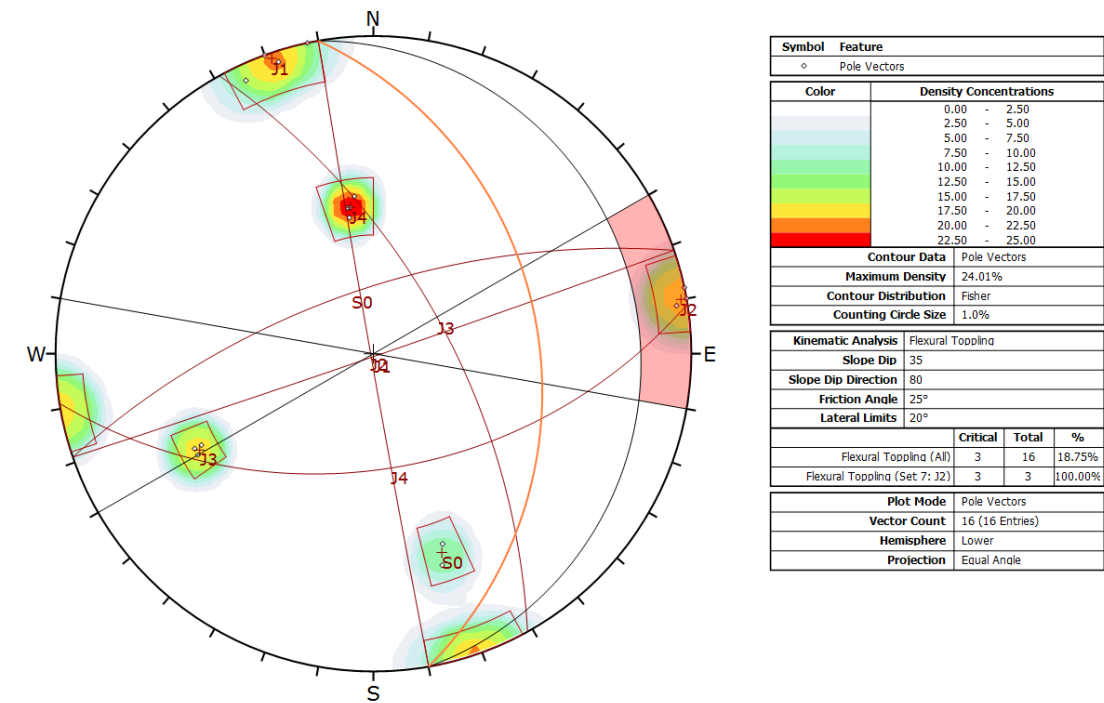


Figura 11. Riesgo de rotura por vuelco en el talud de la margen izquierda. Fuente: Dips

Para el posible fallo de la ladera por vuelco, se ha decidido llevar a cabo una serie de anclajes en diferentes puntos de la ladera. Tras ser analizado con más profundidad el cálculo en el Anejo nº5: Estudio Geotécnico, se muestra la solución adoptada para el problema de la ladera, la cual consiste en 3 filas de anclajes con una separación de 1 metros. Cada anclaje propuesto presenta un diámetro de 30 mm, siendo su capacidad resistente 150 kN. La primera fila se anclará hasta una longitud de 8 metros y la segunda y la tercera hasta los 15 metros.

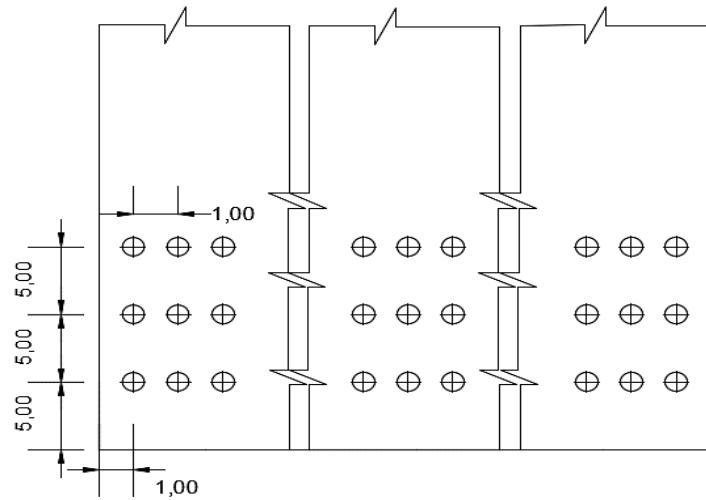


Figura 12. Esquema de los anclajes. Cotas en metros. Fuente: Propia

6. ESTUDIO DE SOLUCIONES

El objeto de este apartado es mostrar las diferentes alternativas analizadas en el Anejo nº6: Estudio de soluciones, con el fin de solucionar el problema de las filtraciones existentes en la Presa de Alloz (Navarra), cuyo predominio se localiza en la margen derecha de la cerrada y que provocan fugas de considerable magnitud.

No obstante, para elegir una solución existen una serie de criterios que se han tenido en cuenta, los cuales se han valorado entre 1 y 5 en función del grado de idoneidad de cada alternativa de acuerdo a cada uno de los criterios:

- **Criterio económico:** se tendrá en cuenta tanto el coste de ejecución de la alternativa, así como las posibles pérdidas económicas que puedan ir ligadas a la selección de cada alternativa.
- **Criterio medioambiental:** además de tener en cuenta tanto la afección al medio ambiente que pueda producir la ejecución de la solución, se considerará el posible impacto que pueda generar la alternativa en el futuro.
- **Criterio técnico:** se tendrá en cuenta la facilidad y sencillez a la hora de ejecutar cada una de las alternativas, así como los condicionantes o dificultades que puedan surgir en cada caso.
- **Criterio funcional:** se valorará cada una de las alternativas en función de la efectividad de la solución que plantean, tanto a corto como a largo plazo.

De acuerdo con la situación, características del emplazamiento y los diversos criterios ya comentados, se proponen un total de 6 alternativas para eliminar el problema (considerando adicionalmente la alternativa 0, es decir, no realizar acción alguna).

Así, las alternativas propuestas son las siguientes:

- Alternativa 0: No realizar ninguna acción.
- Alternativa 1: Impermeabilización de los taludes aguas arriba con geomembranas sintéticas.
- Alternativa 2: Impermeabilización de los taludes aguas arriba mediante geocompuestos de bentonita.
- Alternativa 3: Ejecución de una pantalla continua impermeable.
- Alternativa 4: Ejecución de pantallas de inyecciones de cemento.
- Alternativa 5: Ejecución de pantallas de inyecciones con resinas.
- Alternativa 6: Abandono de la presa.

A continuación, se describe brevemente cada una de las alternativas propuestas:

- **Alternativa 0:** No intervenir ante el problema existente, especialmente ante la posibilidad de que ninguna de las alternativas planteadas condujese hacia una solución de compromiso que respetase los 4 criterios expuestos.
- **Alternativa 1:** La primera de las alternativas propuestas consiste en el uso de geomembranas, en los taludes aguas arriba de la cerrada de la presa (derecho e izquierdo). Estas geomembranas sintéticas son prácticamente impermeables a las infiltraciones de agua, son de uso común en la

creación de barreras hidráulicas y están constituidas por materiales poliméricos de gran variedad y coste (PVC, PEAD, PP, etc.) no necesitándose para su colocación maquinaria específica.

- Alternativa 2: La segunda alternativa que se propone para solucionar el problema se basa, al igual que en caso anterior, en el tapizado de los taludes aguas arriba de la presa, empleando en este caso dos capas de geotextiles entretejidas entre las cuales se colocaría una capa granular de bentonita sódica, la cual se hidrata al ponerse en contacto con el agua expandiéndose. De este modo, se forma una lámina impermeable que impide el paso del agua a través de ella.
- Alternativa 3: La tercera alternativa que se propone en el presente estudio es la realización de una pantalla continua de hormigón siguiendo el eje de la presa, alcanzando una profundidad media de 60 metros y a lo largo de una longitud de 400 metros aproximadamente.
- Alternativa 4: La cuarta alternativa que se propone es la ejecución de inyecciones de cemento, las cuales deben formar una pantalla estanca que impida la circulación del flujo de agua a través del macizo. Este proceso se realiza por el método de cierre progresivo dando lugar a tantas fases de inyección como sean necesarias para alcanzar los criterios de proyecto.
- Alternativa 5: Con esta solución se pretende rellenar las fisuras y cavidades existentes en el macizo, predominantemente las debidas a la disolución de los yesos en los estratos margosos, empleando resinas que se introducen en el terreno y se expanden.
- Alternativa 6: La última de las alternativas que se contemplan en este estudio es el vaciado y consiguiente abandono de la presa.

Las alternativas se han explicado con mayor detalle en el Anejo nº6: Estudio de soluciones, exponiendo las ventajas e inconvenientes que presenta cada una de ellas en base a los condicionantes anteriormente mencionados. Una vez expuestas, se ha elaborado la siguiente matriz con las valoraciones para cada alternativa:

Criterio	Alt. 0	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt. 6
Económico	2	2	2	1	3	3	1
Medioambiental	5	4	4	2	3	4	1
Técnico	-	2	2	1	5	2	-
Funcional	-	3	4	5	4	3	-
TOTAL	7	11	12	9	15	12	2

Tabla 5. Valoración alternativas. Fuente: Propia

En vista de la matriz anterior y del análisis realizado en el Anejo nº6: Estudio de Soluciones, se decide optar por la realización de la Alternativa 4: Ejecución de pantallas de inyecciones de mortero de cemento, la cual es descrita con detalle en el Anejo nº 7, y cuyo proceso constructivo y valoración económica se ha llevado a cabo en el Anejo nº 8.

7. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Tal y como se ha indicado anteriormente, la solución escogida para eliminar la problemática de las filtraciones en la cerrada de la Presa de Alloz ha sido la ejecución de una pantalla de inyecciones de mortero a lo largo del eje de la presa y en ambas márgenes de la cerrada, con una longitud de 335 metros.



Figura 13. Eje de la pantalla. Fuente: Propia

A continuación, se describe la solución y se muestra la modelización llevada a cabo para conocer el comportamiento del flujo una vez ejecutada la misma.

7.1 PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN

Con el fin de resolver las filtraciones en la cerrada de la presa de Alloz, se ha optado por realizar una pantalla de inyecciones en dos fases diferenciadas: una primera fase mediante una mezcla estable de cemento, arcilla, agua y arena, y una segunda, mediante mezcla inestable de lechada de cemento.

Fase	Mortero empleado	Dosificación	
1	Agua + Cemento + Arcilla + Arena	Agua	5
		Cemento	1
		Arcilla	3
		Arena	2
2	Agua + Cemento	A/C = 12/1	

Tabla 6. Dosificación de materiales. Fuente: Propia

Los taladros de la primera fase quedan separados en un total de 10 metros, mientras que los de la segunda fase se encuentran entre estos primeros a fin de rellenar fisuras más finas en el terreno, de modo que se tiene una separación media final entre taladros de unos 5 metros aproximadamente. Las disposiciones en planta y alzado de las perforaciones quedan reflejadas en el Documento nº 2: Planos informativos, aunque a modo de esquema, en la siguiente figura se muestra la distribución en planta de los sondeos de la primera fase de ejecución, con un total de 34 taladros separados alrededor de unos 10 metros entre sí, siendo la separación máxima entre ellos de 12,55 metros (entre los sondeos S-9 y S-10) y la mínima igual a 8,46 metros (entre los sondeos S-8 y S-9).

En la siguiente figura se muestra la disposición de los taladros:

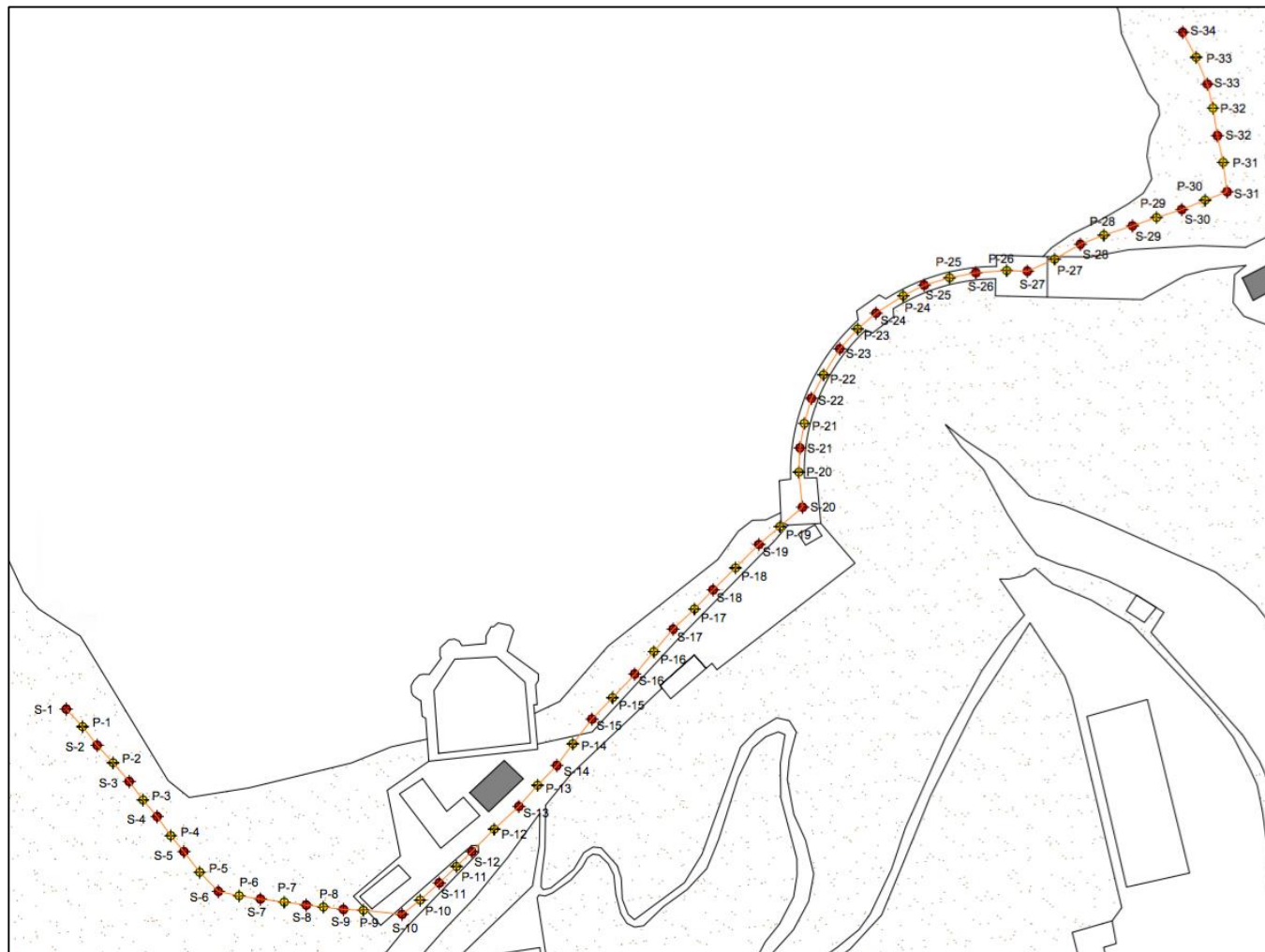


Figura 14. Disposición en planta de los taladros. Fuente: Propia

La profundidad a alcanzar será de 60 metros, con una inclinación de 60° en dirección hacia el embalse, por lo que la longitud total del sondeo será de 69,3 metros. De este modo, conseguimos que la pantalla ejecutada intercepte de forma más rápida un mayor número de líneas de corriente que parten desde el vaso del embalse, a diferencia de haber realizado la pantalla de forma completamente vertical.

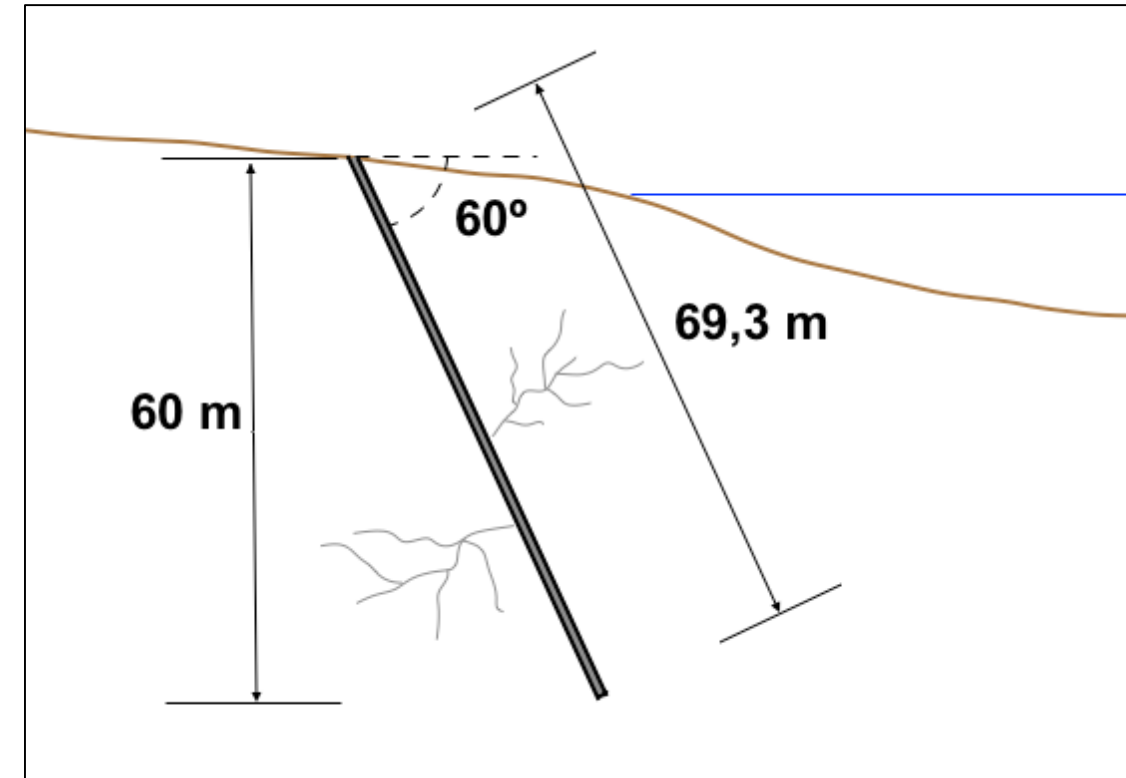


Figura 15. Perfil transversal de la pantalla. Fuente: Propia

La inyección se realizará mediante fases descendentes en tramos de 10 metros con una presión de inyección de 0,8 MPa y el equipo de auscultación y control se encontrará activo durante todo el proceso a fin de corregir los parámetros que sean necesarios. Se ha optado por realizar la inyección siguiendo el método de etapas descendentes, a pesar de su mayor coste, debido a la mala calidad del macizo y a la circulación de agua por el mismo.

Mediante este método, se suelen perforar tramos de entre 5 y 15 metros de profundidad, en función del equipo a emplear y de la estabilidad del propio macizo. En nuestro caso, las perforaciones se dividirán en tramos o etapas de 10 metros, por lo que se llevará a cabo el proceso de inyección en 7 etapas hasta alcanzar la longitud total del sondeo de 69,3 metros anteriormente expuesta.

Respecto a los equipos a emplear para la realización de las inyecciones, serán necesarias las siguientes unidades, las cuales vienen definidas en detalle en el Anejo nº7: Descripción de la solución adoptada:

- Máquina de sondeos geotécnicos.
- Mezclador coloidal.
- Agitador.
- Bomba.
- Líneas de circulación.
- Mangueras y obturadores.

Cabe destacar que se establecerán dos centrales de inyección, una en cada margen de la cerrada, de modo que todo el equipamiento necesario sea transportado hasta ellas a través de los accesos definidos en el Anejo nº7: Descripción de la solución adoptada.

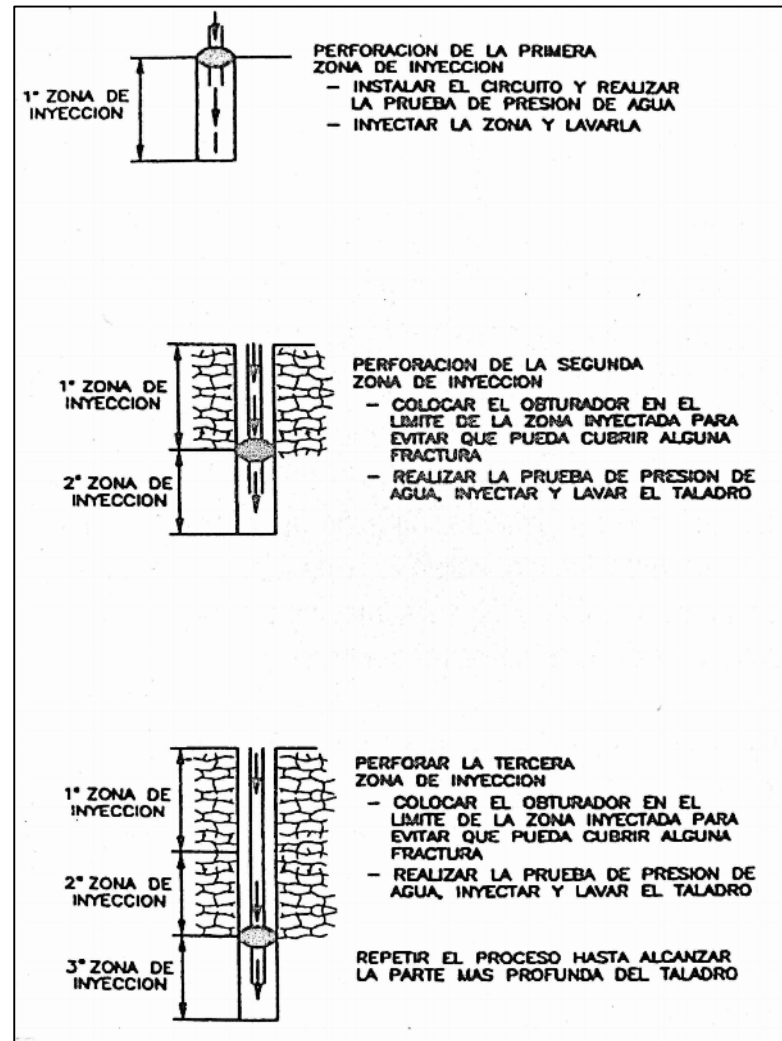


Figura 16. Ejecución por etapas descendentes. Fuente: Bielza A



Figura 17. Secciones de cálculo para el modelo. Fuente: Propia

La primera de las secciones (P-1) muestra un corte en el cual la totalidad del material que se atraviesa es la U.G. 2 (Margas yesosas), mientras que la segunda sección (P-2) atraviesa las U.G 2 y 4 (Calizas). Puesto que no se conoce el valor de la permeabilidad de los materiales atravesados, ésta se ha obtenido mediante la calibración del modelo a partir de los datos existentes: niveles de agua, caudal de salida y sección atravesada.

Una vez definida la geometría del primer perfil (Figura 18), el siguiente paso ha sido definir las condiciones de contorno hidráulicas. Los dos modelos, tanto para la margen derecha como el de la margen izquierda siguen el mismo patrón respecto a estas condiciones de contorno hidráulicas. En primer lugar, para definir la altura piezométrica en cada zona de la sección se emplea la condición *Total Head*, siendo el valor a establecer tanto en el límite derecho de la sección como en la zona de la ladera aguas arriba igual a 468 metros (valor correspondiente al Nivel Máximo Normal en el embalse), mientras que en el límite izquierdo el valor a establecer es de 420 metros, de modo que el nivel de altura piezométrica queda definido justo en la superficie del macizo, zona en la que se producen las salidas de flujo de caudal igual a 12 l/s.

7.2 MODELIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Tras plantear las características que poseerá la solución, se ha llevado a cabo la modelización del comportamiento del flujo antes y después de ejecutar la pantalla a fin de comprobar el grado de efectividad que ha tenido la misma. Para ello se ha empleado el programa de elementos finitos RS², con el que se ha analizado el flujo en dos perfiles secantes a la pantalla ejecutada.

El análisis se ha realizado en dos secciones, P-1 y P-2, las cuales, como muestra la imagen siguiente, cortan a la pantalla de inyecciones y pasan por los puntos de salida de agua mencionados anteriormente:

Por consiguiente, en la parte superior de la sección, que pertenece a la parte superior de la ladera se ha definido la condición de contorno existente como "información desconocida", puesto que no se sabe con exactitud qué condiciones existen.

En la siguiente figura se muestran las condiciones aplicadas al modelo (468 metros en la zona derecha y 420 metros en la zona izquierda por la que sale el flujo de agua hacia el exterior):

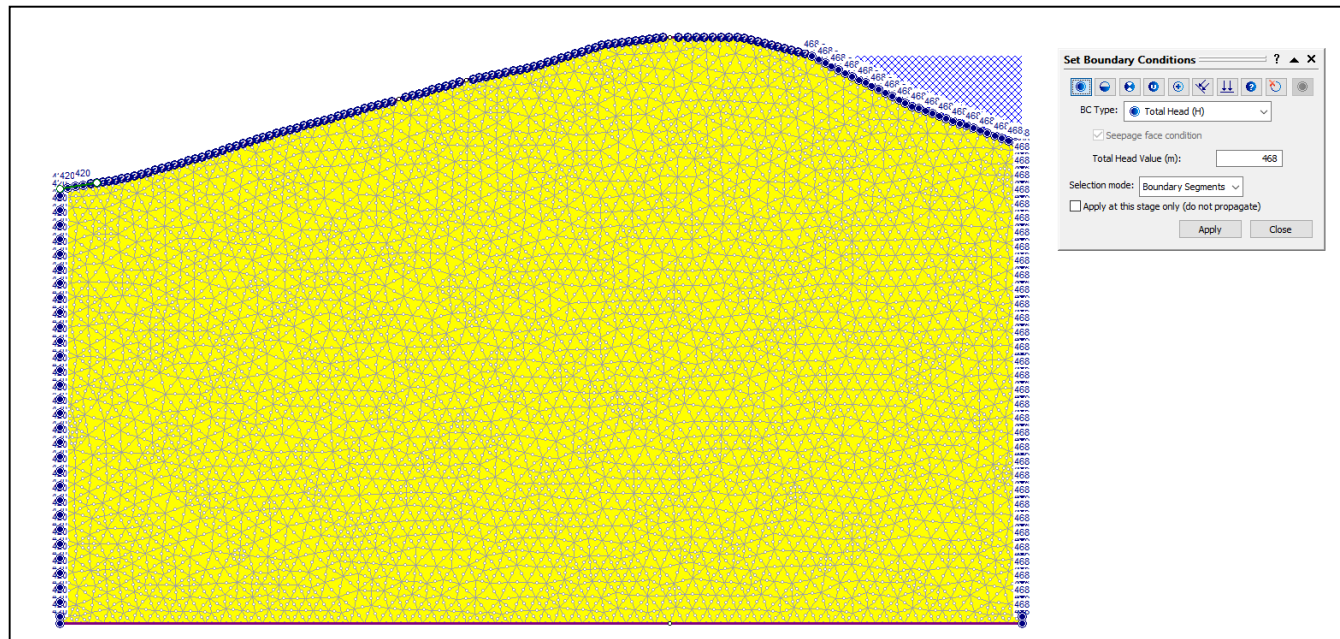


Figura 18. Geometría y condiciones de contorno de la sección P-1. Fuente: RS2

Finalmente, se establecen las secciones de control de flujo, las cuales aparecen indicadas en verde y con flechas indicando la dirección del flujo. Estas se situarán tanto en la zona de salida de las filtraciones al exterior como en la zona del vaso, tal y como aparece indicado en las sucesivas figuras.

Una vez preparado el modelo, se ha calibrado probando varios valores de permeabilidad para el material hasta obtener un caudal de salida igual o muy similar a $0,012 \text{ m}^3/\text{s}$. Tras llevar a cabo este proceso, el valor de permeabilidad (K) asociado a la UG-2 ha sido igual a $0,0067 \text{ m/s}$. Con este valor se ha alcanzado un caudal de salida igual a $0,00117 \text{ m}^3/\text{s}$. Además, se puede observar en la Figura 19 que el caudal que se infiltra desde el vaso es igual a $0,073 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual se comparará con el existente una vez ejecutada la solución.

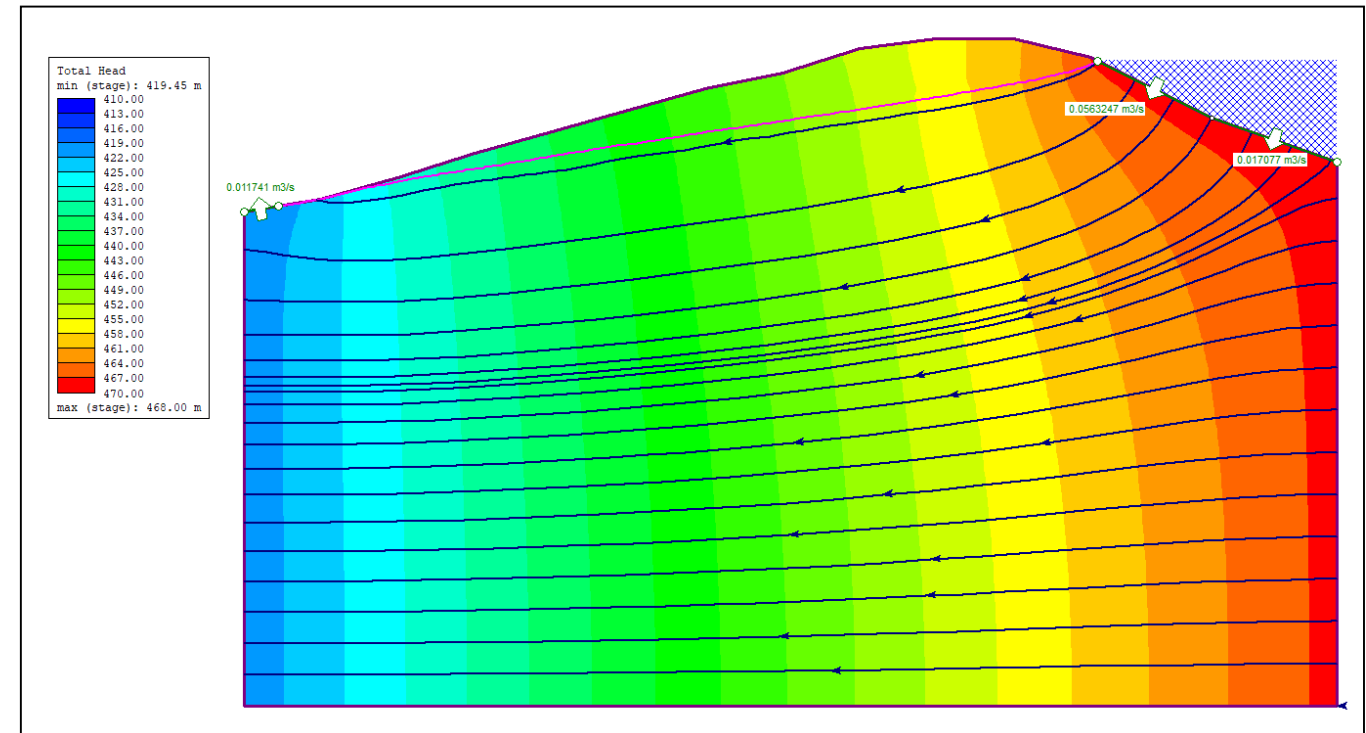


Figura 19. Flujo resultante en P-1 sin realizar actuación. Fuente: RS2

Conocida la permeabilidad de la UG-2, se procedió a definir la geometría de la sección P-2 a fin de obtener la permeabilidad de la UG-4. Siguiendo el mismo proceso que para la sección P-1, se definieron las condiciones de contorno hidráulicas, tal y como se muestra en la Figura 20.

Esta vez, las condiciones de contorno hidráulicas fueron las mismas que para el perfil anterior, a diferencia que en el límite izquierdo del mismo se estableció la altura piezométrica a un nivel de 440 metros de altura, debido a que es en esta zona en la que se producen las fugas de caudal iguales a 2 l/s . Tanto en el límite derecho como en la zona la ladera aguas arriba se vuelve a establecer una altura de 468 metros, mientras que en el resto de la parte superior se establecen condiciones desconocidas de nuevo.

En este caso, se definieron dos materiales distintos (UG-2 y UG-4), introduciendo para UG-2 la permeabilidad ya conocida de $0,0067 \text{ m/s}$ y dejando como variable la permeabilidad de UG-4.

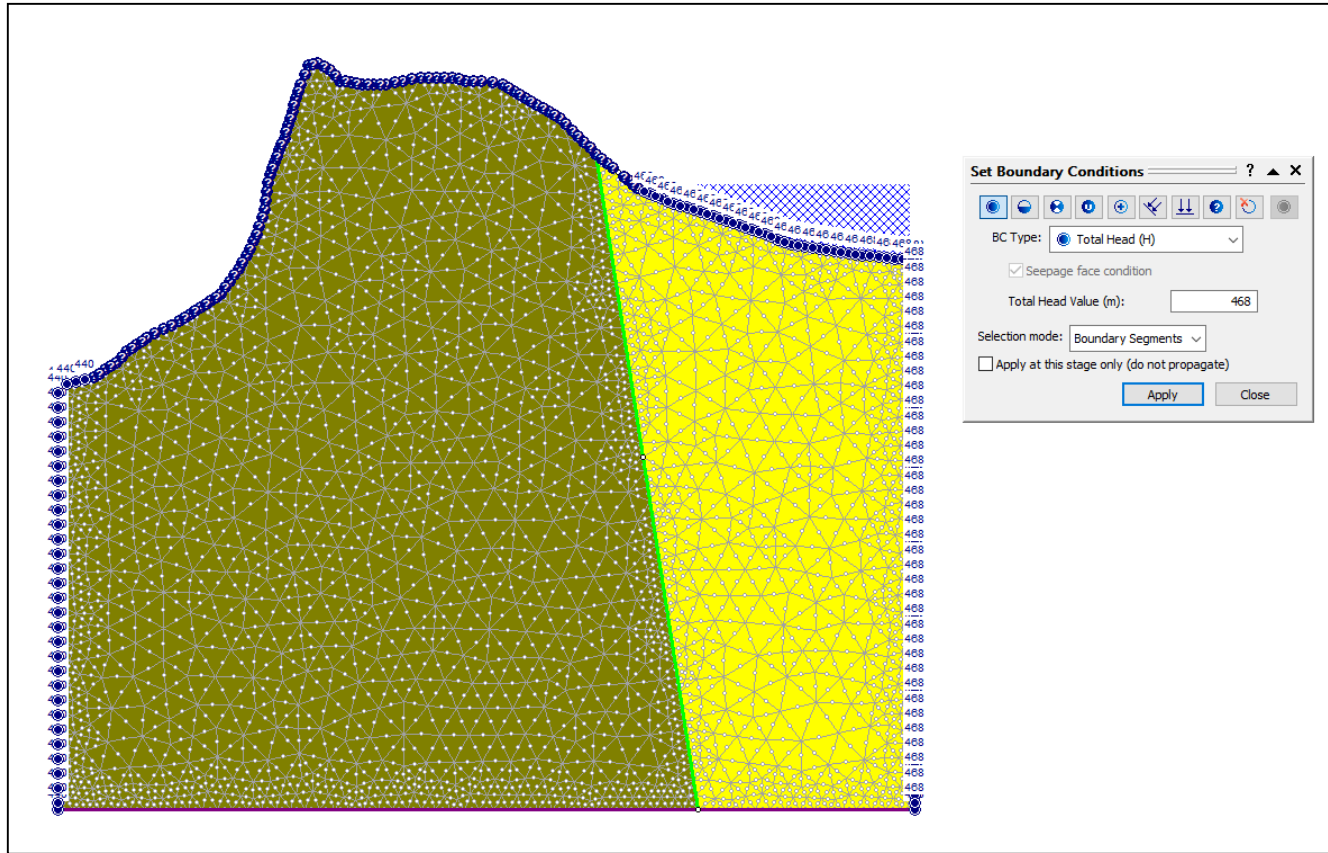


Figura 20. Geometría y condiciones de contorno de la sección P-2. Fuente:RS2

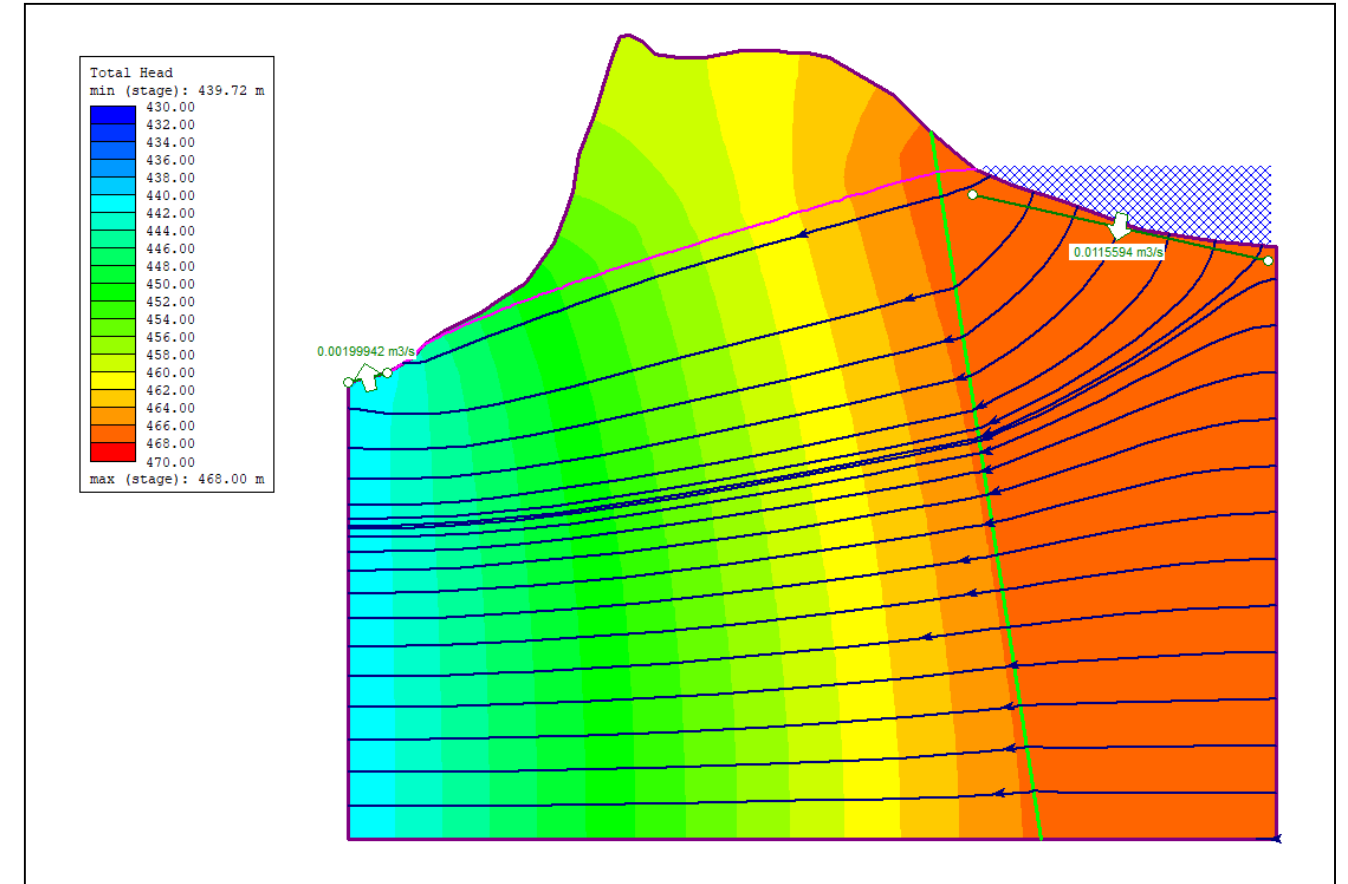


Figura 21. Flujo resultante en P-2 sin realizar actuación. Fuente:RS2

Probando con varios valores de permeabilidad hasta obtener un caudal de salida igual a 0,002 m³/s, se asocia a la UG-4 una permeabilidad de 0,001 m/s. Como se puede observar, esta es una permeabilidad inferior a la de la UG-2, debido a que las mayores discontinuidades se encontraban en ésta al estar formada por margas yesíferas con mayores oquedades en su estructura interna.

Además, igual que para el perfil P-1, se estableció también una sección de control de flujo justo en el vaso del embalse a fin de conocer el caudal que se infiltra a través de este y, así, poder compararlo con el infiltrado una vez ejecutada la solución. Tenemos en este caso, que se infiltra un caudal igual a 0,012 m³/s.

En la siguiente imagen se muestra el resultado del flujo a través de este segundo perfil, donde aparecen reflejadas las líneas de corriente, las líneas equipotenciales y los caudales a través de las secciones de control:

Finalmente, se muestran recogidas en la siguiente tabla los resultados obtenidos en el presente sub-apartado:

Unidad Geotécnica	K (m/s)
UG-2	0,0067
UG-4	0,0010

Tabla 7. Permeabilidad de los materiales. Fuente: Propia

Una vez definida la geometría y las condiciones de contorno del modelo, y conocida la permeabilidad de cada uno de los materiales, se procede a colocar la pantalla de inyección. Para ello, se emplea la función del programa llamada *Structural Interface*, la cual permite incluir en el modelo una estructura lineal que sirve como barrera impermeable frente al paso de flujo.

Además, cabe destacar que, en este caso, las condiciones de contorno hidráulicas se han mantenido, así como la geometría de los perfiles y las propiedades hidráulicas de los materiales atravesados, siendo la única modificación realizada la inclusión de la barrera impermeable representativa de la pantalla a ejecutar.

De este modo, se puede proceder a la colocación de la pantalla en ambos perfiles para conocer la efectividad de la solución. La pantalla deberá alcanzar una profundidad de 60 metros desde la superficie del terreno y ésta tendrá una inclinación igual a 60° en dirección al embalse, tal y como se muestra en las Figuras 22 y 23.

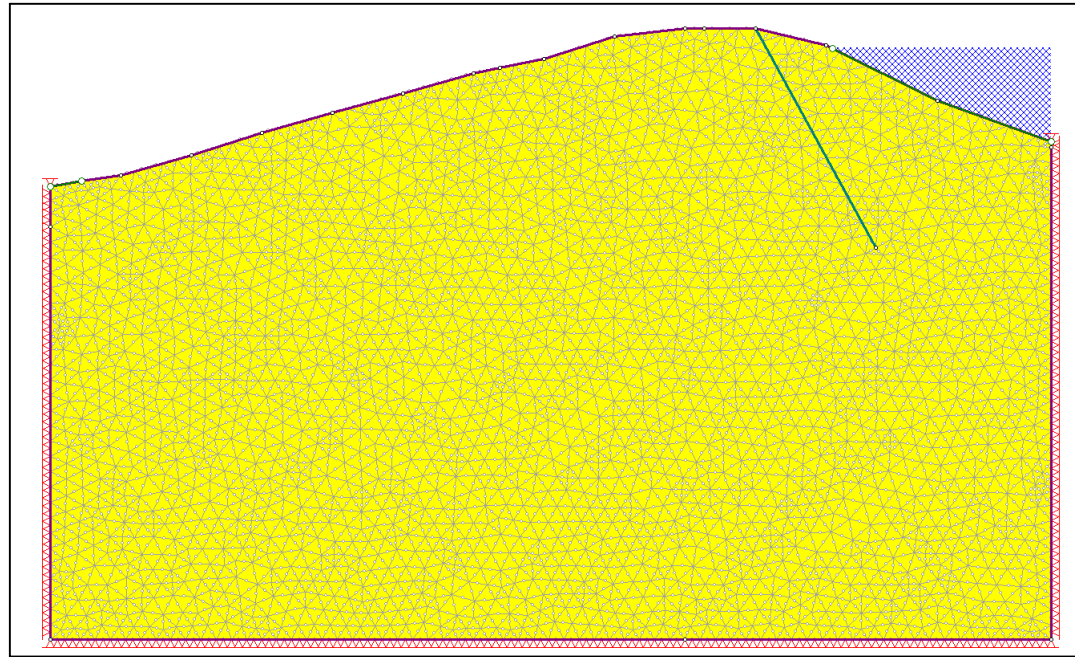


Figura 22. Colocación de la pantalla en P-1. Fuente: RS2

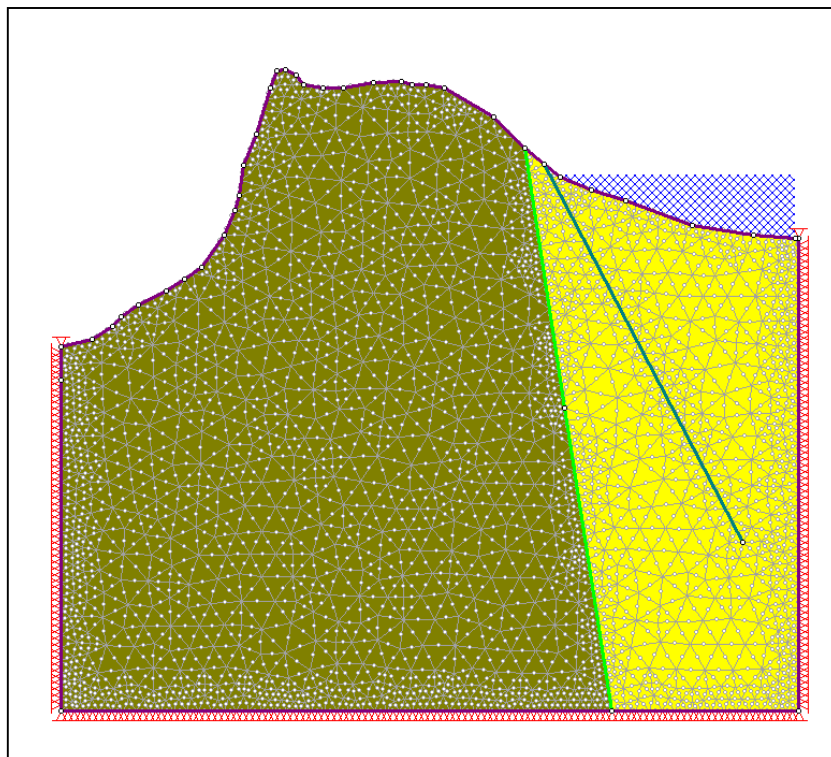


Figura 23. Colocación de la pantalla en P-2. Fuente: RS2

Una vez ejecutado el modelo con la pantalla realizada, cabe destacar que la infiltración de agua en el perfil P-1 a través del embalse se ha reducido de 0,073 m³/s hasta 0,035 m³/s, por lo que ésta ha disminuido en más de la mitad de su valor, y que las líneas de corriente se han reconducido hasta el nivel freático original marcado en color magenta.

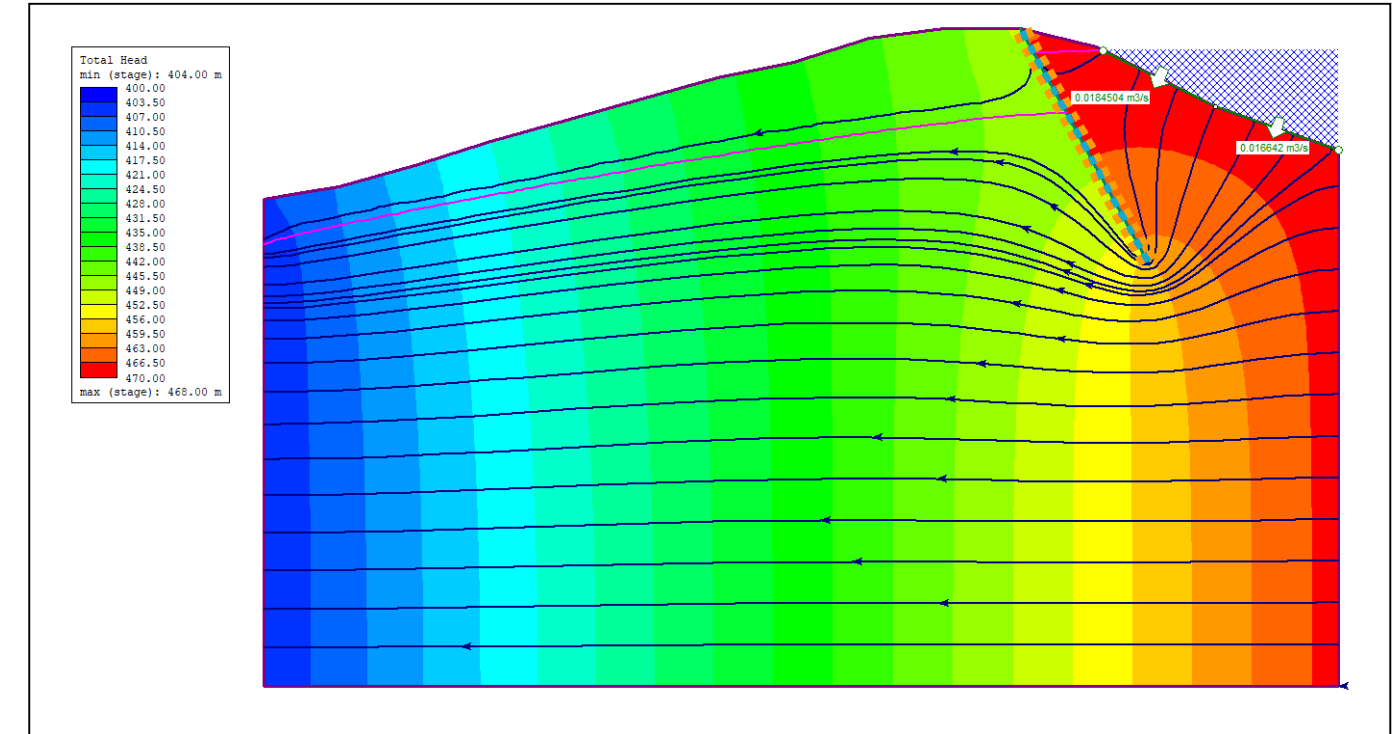


Figura 24. Líneas de corriente y equipotenciales en P-1 con la actuación realizada. Fuente: RS2

Analizado el comportamiento del flujo a través del perfil P-1, se procede al análisis del segundo perfil. Previa construcción de la pantalla se registraba una pérdida de caudal por el punto de salida igual a 0,002 m³/s, así como una infiltración a través de la base del embalse igual a 0,012 m³/s.

Una vez estudiada la situación previa a la construcción de la pantalla, se procede a comparar con los valores obtenidos tras la ejecución de la pantalla, la cual presenta la misma inclinación y profundidad media que para el anterior perfil. Con la pantalla de inyecciones se ha reconducido el flujo hacia el nivel freático original, del mismo modo que en el caso anterior y la infiltración a través del macizo, cuyo valor antes de la solución era de 0,012 m³/s, se ha reducido hasta un valor prácticamente insignificante igual a 0,0002 m³/s.

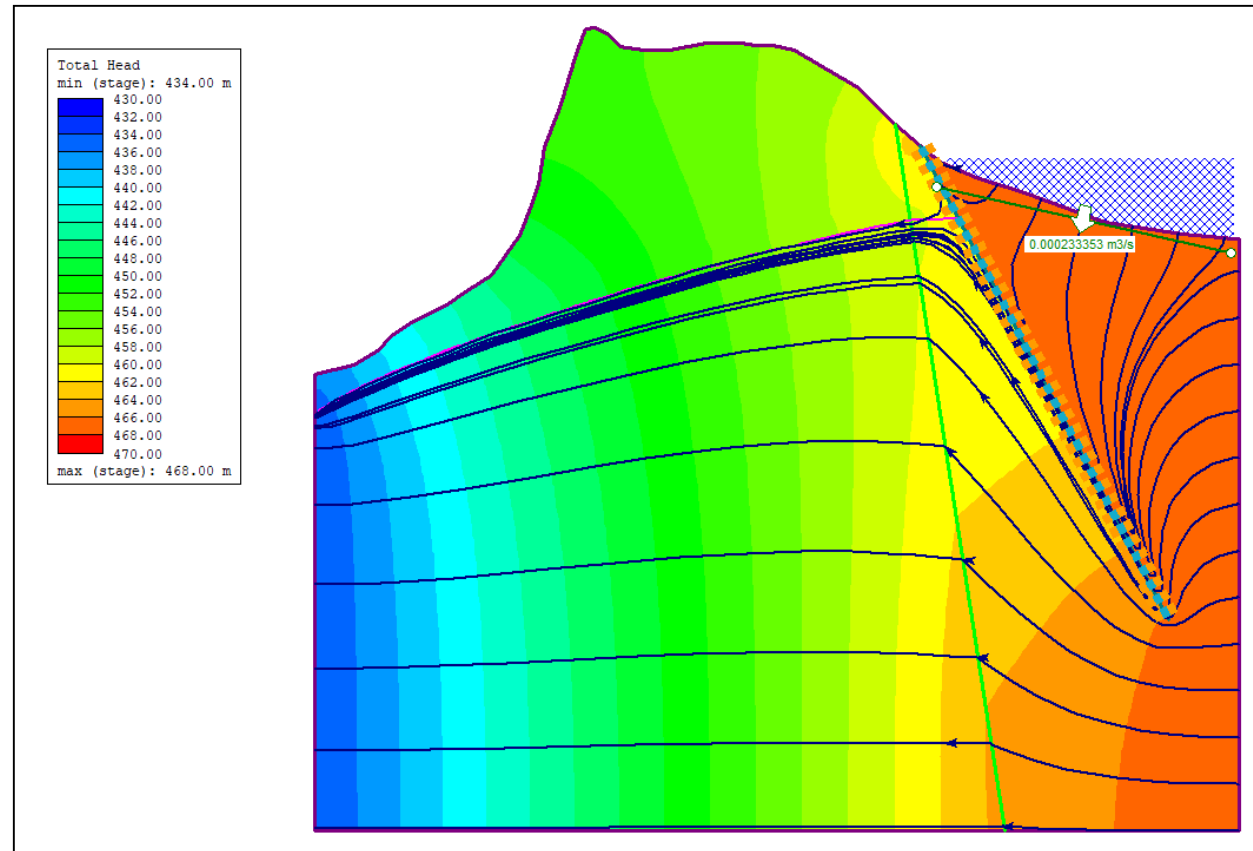


Figura 25. Líneas de corriente y equipotenciales en P-2 con la actuación realizada. Fuente: RS2

		Caudal por el punto de salida al exterior (l/s)	Caudal infiltrado por el vaso del embalse (l/s)	Volumen total de agua perdido en un día (m³)
P-1	Antes de la actuación	12	73	6307,2
	Después de la actuación	Nulo	35	3024
P-2	Antes de la actuación	2	12	1036,8
	Después de la actuación	Nulo	0,2	17,28

Tabla 8. Caudales y volúmenes registrados antes y después de la actuación. Fuente: Propia

Una vez analizado el comportamiento del flujo antes y después de realizar la actuación se observa como la problemática de las salidas de caudal al exterior se ha eliminado al realizar la pantalla de inyecciones a la profundidad de 60 metros y con una inclinación de 60° que obliga a la incidencia cuasi perpendicular de gran parte de las líneas de corriente existentes

Además, la infiltración a través del vaso del embalse se ha eliminado prácticamente en su totalidad en la zona de la margen izquierda, mientras que en la margen derecha el volumen de pérdidas se ha reducido a más de la mitad. Llevando a cabo una pantalla de mayor profundidad y con una mayor inclinación se hubiese disminuido todavía más este valor de pérdidas, aunque en una proporción más baja, puesto que el óptimo en cuanto a profundidad-efectividad se encontraba alrededor de los 60 metros tras ejecutar varias disposiciones con el modelo. Además, el hecho de situar la pantalla lo más cerca posible de la línea del embalse provoca una caída de gradiente hidráulico más rápida y, por tanto, la velocidad del flujo a través del macizo es inferior, reduciendo así la erosión a través de las fisuras y el posible ensanchamiento de las mismas.

En la siguiente tabla aparecen, a modo de resumen, los caudales y volúmenes registrados tanto de forma previa a la actuación como después de realizarla:

8. PROGRAMA DE TRABAJOS Y JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS

Para el proceso de ejecución de la solución, se han tenido en cuenta 3 fases o capítulos en los que se divide el proceso, a partir de los cuales se ha realizado la estimación económica, así como el programa de trabajos. La valoración económica de las distintas unidades de obra presentes en el estudio se ha llevado a cabo empleando la Base de Precios de la empresa CYPE Ingenieros S.A.

En el Anejo nº8: Programa de trabajos y justificación de precios se puede observar con detalle las diferentes unidades de obra consideradas en cada capítulo del proceso de ejecución.

A continuación, se muestran divididas las diferentes unidades que componen el proceso completo de ejecución agrupadas en tres bloques, así como la estimación económica realizada

	UNIDAD DE OBRA	IMPORTE	MEDICIÓN	TOTAL
CAP. 1: ACTUACIONES PREVIAS	Desbroce de la zona de actuación (m ²)	1,66	925,00	1.535,50
	Regularización del terreno (m ³)	38,08	462,50	17.612,00
	Transporte de los equipos y puesta en obra (Ud.)	777,82	2	1.555,64
CAP. 2: EJECUCIÓN DE LAS INYECCIONES	Inyecciones Fase 1 (m)	36,26	69,30 · 34	85.435,81
	Inyecciones Fase 2 (m)	72,51	69,30 · 33	165.823,12
CAP. 3: REACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO	Aporte de tierra vegetal (m ³)	35,81	462,50	16.562,12
COSTE TOTAL DE EJECUCIÓN MATERIAL				288.524,19
CAP. 4: GESTIÓN DE RESIDUOS (2% COSTE TOTAL)				5.770,48
CAP. 5: SEGURIDAD Y SALUD (3% COSTE TOTAL)				8.655,73
ESTIMACIÓN ECONÓMICA TOTAL (S/N B.I. – G.G. – I.V.A.)				302.950,40

Tabla 9. Estimación económica. Fuente: Propia

Por tanto, el coste total de la estimación de ejecución material de la actuación propuesta asciende a la cantidad de *TRESCIENTOS DOS MIL NOVECIENTOS CINCUENTA EUROS CON CUARENTA CÉNTIMOS*, sin tener en cuenta ni el beneficio industrial, ni los gastos generales ni el I.V.A.

Una vez detalladas todas las tareas principales de los capítulos que resumen el programa de trabajos para la ejecución de la solución propuesta, las mediciones y la estimación de los costes de las mismas, queda únicamente por definir la escala temporal del plan de trabajo por capítulos y unidades.

En la siguiente tabla se muestran cada una de las unidades o actividades a realizar, así como su duración temporal en semanas y las actividades precedentes:

ACTIVIDAD	DURACIÓN (Semanas)	PRECEDENCIA
1.1 Desbroce de la zona de actuación	1	-
1.2 Regularización del terreno	1	1.1
1.3 Transporte de los equipos y puesta en obra	1	1.1
2.1 Inyecciones Fase 1	6	1.2, 1.3
2.2 Inyecciones Fase 2	6	2.1
3.1 Aporte de tierra vegetal	1	2.2
4.1 Gestión de residuos	15	-
5.1 Seguridad y salud	15	-

Tabla 10. Duración y precedencia de las actividades a realizar. Fuente: Propia

A continuación, se muestra el diagrama de Gantt, en el que se puede observar gráficamente como todas las actividades forman parte del camino crítico del proceso de ejecución y que la duración total de la obra es de 15 semanas.

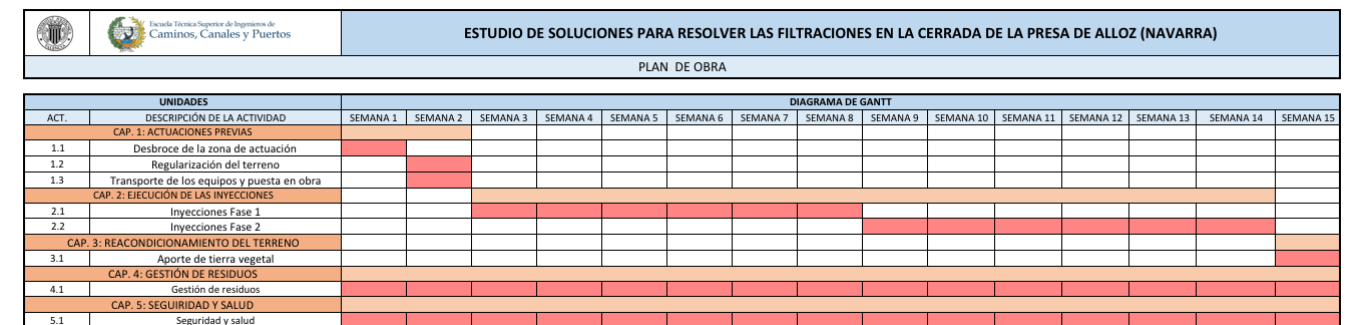


Figura 26. Diagrama de Gantt. Fuente: Propia

9. CONCLUSIONES

Atendiendo a los objetivos mencionados al inicio de la memoria se ha llevado a cabo una detallada explicación de todos los puntos en los distintos anejos adjuntos y un resumen de todos ellos en el presente documento.

Se han podido analizar los problemas de las filtraciones en la cerrada de la presa de Alloz (Navarra), así como los antecedentes de la problemática y actuaciones que se han llevado cabo.

El embalse de Alloz, se encuentra situado en la vertiente meridional de la sierra de Andía, prácticamente donde enlazan el Terciario de la cuenca Alavesa con el de la cuenca del Ebro.

Para analizar la problemática, se han identificado los principales materiales pertenecientes a la zona de estudio, los cuales se engloban en el dominio estructural de influencia del diapiro de Alloz, situado en la alineación de diairos navarros, quedando estos materiales comprendidos en el Triásico (Keuper), Jurásico y Albiense superior-Cenomaniense inferior.

A partir de los sondeos y la estación geomecánica se ha conseguido la caracterización geotécnica del terreno, concluyendo con la diferenciación de cinco unidades geotécnicas. Asimismo, se han utilizado estas unidades geotécnicas y los valores de la estación geomecánica para el análisis de estabilidad taludes.

El análisis de estabilidad de taludes se ha llevado a cabo por medio de la proyección estereográfica ante rotura planar, rotura por vuelco o toppling y rotura en cuña. En la margen derecha no existe riesgo de rotura en ninguno de los tres casos. En cambio, en la margen izquierda existe riesgo de rotura por vuelco del talud con la familia de diaclasas J2.

Como solución al riesgo de rotura por vuelco en el talud aguas arriba de la margen izquierda se ha optado por realizar anclajes. La solución consiste en 3 filas de anclajes con una separación de 1 metro en ambas direcciones. Cada anclaje propuesto presenta una barra GEWI con un diámetro de 30 mm, siendo su capacidad resistente 150 kN. La primera fila se anclará hasta una longitud de 8 metros y la segunda y la tercera hasta los 15 metros.

Posteriormente, se ha llevado a cabo el planteamiento, análisis y crítica de diversas soluciones propuestas para esta problemática teniendo en cuenta las características del entorno y todos los condicionantes técnicos, funcionales, medioambientales y económicos. A partir de estos condicionantes, se ha elaborado una matriz en la que se valora cada alternativa a fin de elegir la solución óptima.

Como solución se ha optado por realizar una pantalla de inyecciones en dos fases diferenciadas: una primera fase mediante una mezcla estable de cemento, arcilla, agua y arena, y una segunda, mediante mezcla inestable de lechada de cemento. La primera de las fases tendrá como objetivo rellenar los huecos o cavidades de mayor tamaño existentes en el macizo, mientras que la segunda

fase, realizada de forma intercalada con la primera, tendrá como objetivo rellenar las fisuras más finas que hayan quedado libres. Para ello, se decide ejecutar una pantalla de una longitud total de 335 metros que cubra tanto el eje de la presa como ambos márgenes de la cerrada.

Por último, se ha desarrollado en detalle la técnica de la solución proyectada y el programa temporal de trabajos. De acuerdo con la Base de Precios empleada, la estimación económica de la ejecución material de la solución asciende a la cantidad de *TRESCIENTOS DOS MIL NOVECIENTOS CINCUENTA EUROS CON CUARENTA CÉNTIMOS (302.950,40 €)*, sin tener en cuenta ni el beneficio industrial, ni los gastos generales ni el I.V.A., mientras que la duración completa de la obra es de 15 semanas.

La memoria de este estudio de soluciones consta de veintiuna (21) páginas numeradas en tamaño A3 y va acompañada de ocho anejos con sus respectivos apéndices.

Valencia, Junio de 2018
Los autores del estudio

Fdo. Valentín Marín Dumitru

Fdo. Vicente Juan Campos