



TRABAJO FINAL DE GRADO

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

---

ANEJO Nº6: ESTUDIO DE SOLUCIONES

Valencia, Junio de 2018

**Titulación:** Grado en Ingeniería Civil

**Curso académico:** 2017/2018

**Autor:** Vicente Juan Campos

**Tutor:** Julio Garzón Roca

**Cotutor:** Francisco Javier Torrijo Echarri

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....5

2. CONDICIONANTES Y CRITERIOS .....5

3. ALTERNATIVAS PROPUESTAS .....7

3.0 NO REALIZAR NINGUNA ACCIÓN .....7

3.1 IMPERMEABILIZACIÓN DE LOS TALUDES AGUAS ARRIBA CON GEOMEMBRANAS SINTÉTICAS.....7

3.2 IMPERMEABILIZACIÓN DE LOS TALUDES AGUAS ARRIBA MEDIANTE GEOCOMPUESTOS DE BENTONITA .....8

3.3 EJECUCIÓN DE UNA PANTALLA CONTINUA IMPERMEABLE .....9

3.4 EJECUCIÓN DE PANTALLAS DE INYECCIONES DE MORTERO DE CEMENTO .....10

3.5 EJECUCIÓN DE INYECCIONES CON RESINAS EXPANSIVAS .....11

3.6 ABANDONO DE LA PRESA .....11

4. VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS Y ELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN ÓPTIMA .....12

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....13

## 1. INTRODUCCIÓN

El objeto de este estudio es analizar las diferentes alternativas a plantear 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.

Previamente a la realización del presente estudio se han llevado a cabo los estudios geológico, hidrológico y geotécnico a fin de caracterizar el comportamiento del terreno y conocer los distintos niveles de agua en el embalse en situación de avenida para, posteriormente, valorar las distintas alternativas que se van a proponer. Además, se ha realizado una reseña histórica de las actuaciones llevadas a cabo en la presa desde su construcción a fin de detener las constantes fugas de caudal.

Tal y como se verá más adelante, se proponen un total de 6 alternativas distintas para tratar de eliminar el problema. De todas ellas se analizan sus ventajas e inconvenientes, para finalmente elegir la solución más adecuada en base a un análisis multicriterio que tiene en cuenta condicionantes económicos, medioambientales, técnicos y funcionales.



Figura 1. Vista de la presa desde el estribo derecho. Fuente: Propia

## 2. CONDICIONANTES Y CRITERIOS

Actualmente, el embalse se emplea para acumulación de agua para riego y como aprovechamiento hidroeléctrico principalmente. Además, sirve como zona de actividad recreativa, dándose lugar en el mismo actividades tales como pesca, deportes acuáticos u otras.

El aprovechamiento hidroeléctrico lo realiza F.E.N.S.A. (Fuerzas Eléctricas de Navarra – Iberdrola), existiendo dos centrales de producción de energía, la de Alloz (situada a pie de presa) y la de Mañeru (situada a 15 km de la presa). Tal y como se había mencionado en el Anejo nº 1, en la actualidad existen filtraciones constantes de 12 l/s en la margen derecha de la cerrada de la presa, resultando pérdidas muy significativas para este uso y el de riegos.



Figura 2. Vista de la central hidroeléctrica situada a pie de presa. Fuente: Propia

De este modo, la problemática existente afecta directamente al aprovechamiento para riego e hidroeléctrico, así como a los usuarios del embalse para actividades de recreo. Por tanto, los condicionantes o criterios que influirán en la toma de decisión de la solución final serán: de tipo económico, medioambiental, técnico y funcional relativo a la ejecución de la solución.



A continuación, se realiza una breve descripción de cada uno de los criterios que se tendrán en cuenta a la hora de seleccionar la alternativa a ejecutar:

- 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.



*Figura 3. Embarcaciones de vela en el embalse. Fuente: Turismo Navarra*

A cada uno de estos criterios se le valorará con una puntuación de 1 a 5 en cada una de las alternativas propuestas, realizando finalmente una matriz comparativa entre todas ellas.

La valoración consistirá en:

- Valor 1: La solución no cumple con el criterio.
- Valor 2: La solución cumple con el criterio de forma deficiente.
- Valor 3: La solución cumple con el criterio de forma aceptable.
- Valor 4: La solución cumple con el criterio de forma adecuada.
- Valor 5: La solución cumple con el criterio de forma óptima.

Una vez asignados estos valores a cada alternativa, se realizará la suma de cada una de ellas a fin de conocer qué alternativas deben ser consideradas y cuáles deben ser descartadas en primera instancia.

Finalmente se establecerá una comparativa cruzada de criterios entre las alternativas que no se hayan descartado.

3. ALTERNATIVAS PROPUESTAS

Se proponen un total de 6 alternativas para eliminar el problema (considerando adicionalmente la alternativa 0, es decir, no realizar acción alguna), las cuales serán descritas en detalle a continuación, exponiendo las ventajas e inconvenientes que presenta cada una de ellas en base a los condicionantes anteriormente mencionados.

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.

3.0 NO REALIZAR NINGUNA ACCIÓN

En primer lugar, debe estudiarse el hecho de 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 condicionantes expuestos. A continuación, se exponen las ventajas e inconvenientes de la no realización de ninguna acción correctora.

VENTAJAS

- No existe gasto económico.
- No se produce ningún tipo de afección ambiental.

INCONVENIENTES

- Pérdidas socio-económicas sustanciales tanto en riego como en producción de energía.

En el aspecto económico, cabe destacar que, aunque no se vaya a realizar un gasto en llevar a cabo una acción concreta, el impacto que tendría la no mitigación de las filtraciones actuales sería crítico para el correcto desarrollo de las actividades de regadío y de generación de energía en términos económicos y sociales.

La valoración de esta alternativa es, por tanto:

Criterio	Valoración
Económico	2
Medioambiental	5
Técnico	No se realiza acción
Funcional	No se realiza acción

Tabla 1. Valoración alternativa 0. Fuente: Propia

3.1 IMPERMEABILIZACIÓN DE LOS TALUDES AGUAS ARRIBA CON GEOMEMBRANAS SINTÉTICAS

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.

Éstas se pueden dejar expuestas, o bien, pueden cubrirse empleando paneles de cemento o rip-rap. El hecho de cubrirlas puede aumentar su duración debido a la menor exposición a la radiación ultravioleta, aunque se corre el riesgo de posible punzonamiento por los materiales colocados como recubrimiento.



Figura 4. Ejemplo de aplicación de geomembranas en balsa de tamaño reducido. Fuente: Panachlor

Uno de los problemas que presenta esta alternativa es el hecho de que a largo plazo pueden volver a dar problemas de infiltración de agua debido a defectos en la unión de juntas, a los problemas anteriormente mencionados relativos al punzonamiento y a la degradación por exposición a la radiación solar.

Además, el hecho de recubrir un talud como el de la Presa de Alloz supone una complejidad extra debido a que se deben impermeabilizar los taludes naturales que presentan una geometría compleja. A esto se le añade el elevado coste que supondría cubrir toda el área de los taludes, teniendo en cuenta que se deberían impermeabilizar taludes de 30° de inclinación y de una altura media de 60 metros, así como la necesidad de vaciar parcialmente el embalse para proceder a la colocación de las geomembranas.

Por tanto, las ventajas e inconvenientes teniendo en cuenta los criterios a considerar son las siguientes:

VENTAJAS

- Funcionalmente sería una alternativa aceptable debido a que, ejecutando de manera correcta las juntas y previniendo el posible punzonamiento en caso de recubrir la geomalla, se eliminarían completamente las filtraciones a través de las laderas.
- En términos de impacto medioambiental, esta solución sería adecuada debido a que no se modificaría la estructura interna del macizo y no se generaría excesivo polvo y ruido en la ejecución de la misma.
- No se necesita maquinaria específica para su ejecución.

INCONVENIENTES

- A pesar de emplear un material polimérico de bajo coste, el coste global de la actuación sería bastante elevado ya que se deberían impermeabilizar por completo los taludes naturales del macizo.
- Técnicamente, la ejecución sería costosa debido a la geometría irregular de los taludes.
- Necesidad de vaciar parcialmente el embalse para colocar las geomembranas.

Criterio	Valoración
Económico	2
Medioambiental	4
Técnico	2
Funcional	3

Tabla 2. Valoración alternativa 1. Fuente: Propia

3.2 IMPERMEABILIZACIÓN DE LOS TALUDES AGUAS ARRIBA MEDIANTE GEOCOMPUESTOS DE BENTONITA

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.



Figura 5. Ejemplo de impermeabilización mediante geocompuestos de bentonita en el vertedero de Rinza (Zaragoza). Fuente: CETCO

Esta solución posee características muy similares a la anterior en términos de ejecución, maquinaria y funcionalidad, si bien es cierto que los posibles desgarros que pueda sufrir la lámina en su contacto con el terreno son reparados por la expansión de la bentonita.

Además, esta técnica sustituye a la tradicional consistente en el enarcillado del paramento del talud para su posterior compactado mediante rodillos, lo cual dificultaría las operaciones y obligaría al vaciado completo del embalse, si bien es cierto que para llevar a cabo esta solución se debería vaciar de forma parcial el embalse.

Por consiguiente, se establecen las siguientes ventajas e inconvenientes relativas a la ejecución de esta alternativa:

VENTAJAS

- Funcionalidad de la solución ejecutando de forma correcta las juntas.
- No se modificaría la estructura interna del macizo y no se generaría excesivo polvo y ruido en la ejecución de la misma, por lo que en términos medioambientales la solución sería adecuada.
- No se necesita maquinaria específica.
- Auto reparación de los desgarros en el tapiz mediante la expansión de la bentonita.



INCONVENIENTES

- Dificultad técnica de ejecución debido a la geometría irregular a tratar.
- Necesidad de vaciado parcial del embalse.
- Coste elevado debido a la amplia zona que se debe recubrir para que la solución sea adecuada.

Criterio	Valoración
Económico	2
Medioambiental	4
Técnico	2
Funcional	4

Tabla 3. Valoración alternativa 2. Fuente: Propia

3.3 EJECUCIÓN DE UNA PANTALLA CONTINUA IMPERMEABLE

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.

Esta solución se emplea de forma usual en trabajos de impermeabilización, y requiere el uso de hidrofresas para llevar a cabo la excavación en formaciones rocosas, o bien, cuando se requieren grandes profundidades.

En el caso de la Presa de Alloz, aunque funcionalmente sería una solución óptima gracias a la creación de una barrera completamente estanca, tanto técnica como económicamente sería inviable la realización de esta solución.

En primer lugar, por lo que respecta al aspecto técnico, el hecho de emplear una hidrofresa de grandes dimensiones, tal y como se muestra en la Figura 5, sería prácticamente imposible debido a que esta debería acceder a las laderas de la montaña para llevar a cabo la excavación. A esto se le debe sumar la geometría compleja que debería poseer el muro a fin de abarcar el eje de la presa hacia las dos laderas de la montaña, así como la presencia de nivel freático en prácticamente la totalidad de la excavación.

Por otra parte, la ejecución de una pantalla de hormigón de tales dimensiones supone un coste demasiado elevado debido a la elevada cantidad de hormigón y acero necesarios.

Cabe destacar también que esta técnica ha sido empleada anteriormente en presas de materiales sueltos como barrera estanca en el pie de agua arriba de la misma, pero nunca para realizar un sellado completo del macizo de la cerrada de una presa bóveda, por lo que no existe experiencia previa al respecto.



Figura 6. Ejemplo de hidrofresa para ejecución de muros pantalla. Fuente: DirectIndustry

De este modo, las ventajas e inconvenientes generales que presenta esta solución son las siguientes:

VENTAJAS

- Alta funcionalidad de la solución al crear una barrera completamente estanca.
- No se requiere el vaciado del embalse.

INCONVENIENTES

- Inviabilidad económica y técnica debido a las dimensiones de la pantalla, a la dificultad de acceso del equipo de excavación y a la inexperiencia en trabajos similares anteriores.
- Elevado impacto medioambiental debido a las emisiones de polvo, ruido y a la necesidad de excavación del macizo, por lo que se debería realizar un exhaustivo Estudio de Impacto Ambiental estableciendo las medidas protectoras y correctoras a aplicar.

Criterio	Valoración
Económico	1
Medioambiental	2
Técnico	1
Funcional	5

Tabla 4. Valoración alternativa 3. Fuente: Propia

3.4 EJECUCIÓN DE PANTALLAS DE INYECCIONES DE MORTERO DE CEMENTO

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.

Primeramente, se perforan e inyectan perforaciones primarias que, de no alcanzar el criterio de estanqueidad requerido, se complementan con nuevas perforaciones e inyecciones secundarias ejecutadas a media distancia entre las primarias. Se realiza este proceso de forma sucesiva hasta completar la pantalla en su totalidad.

En este caso, se debería realizar la pantalla alrededor del eje de la presa en el tramo indicado en la siguiente figura:



Figura 7. Localización del eje de la pantalla de impermeabilización. Fuente: Propia

Técnicamente, esta solución sería factible debido a la amplia experiencia en impermeabilizaciones con esta técnica en presas de la misma tipología, aunque se debería tener en cuenta el elevado grado de fracturación y la baja calidad del macizo a la hora de realizar las perforaciones, a fin de evitar derrumbamientos internos en estas.

Económicamente supone un coste inferior a la ejecución una pantalla continua, aunque la gran longitud a cubrir sigue siendo un aspecto que incrementa el coste de la ejecución.

En cuanto a la funcionalidad de la solución, la correcta ejecución de las inyecciones debería solucionar el problema, aunque bien es cierto que en numerosas ocasiones se debe proceder a la reinyección debido a la alteración del funcionamiento a causa de nuevas fugas.

Medioambientalmente, se produce un impacto considerable debido a que, como en ocasiones anteriores, se altera el macizo y la ejecución genera afecciones al entorno. Cabe destacar que el impacto producido por la maquinaria es mucho menor que la alternativa anterior debido al menor volumen de la misma.

Se concluye, por tanto, que las ventajas e inconvenientes asociadas a esta alternativa son las siguientes:

VENTAJAS

- Gran experiencia y conocimiento en la ejecución de la técnica.
- Funcionalidad adecuada en caso de la correcta ejecución de la barrera de inyecciones.
- No se requiere el vaciado del embalse.

INCONVENIENTES

- Riesgo de aparición de nuevas fugas y necesidad de reinyectar.
- Impacto considerable al entorno en la ejecución de la solución.

Criterio	Valoración
Económico	3
Medioambiental	3
Técnico	5
Funcional	4

Tabla 5. Valoración alternativa 4. Fuente: Propia



3.5 EJECUCIÓN DE INYECCIONES CON RESINAS EXPANSIVAS

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.

Para ello se realiza el bombeo de una mezcla de arcilla y resina de poliuretano inyectada a través de las diversas perforaciones realizadas, siendo una solución funcional en caso de que se tuviese un completo conocimiento de las cavidades y discontinuidades del terreno.

Una de las principales desventajas que presenta esta técnica es la necesidad previa de preinyectar espuma de poliuretano para detener las fugas de agua existentes, que en este caso son el principal condicionante técnico a la hora de tener en cuenta esta alternativa.

Por otra parte, la principal ventaja que presentaría esta solución en cuanto a funcionalidad es la elasticidad que presenta el material empleado una vez realizada la ejecución, por lo que su comportamiento frente a posibles deformaciones en el macizo sería adecuado.

Además, el impacto al entorno en la ejecución de la solución no sería demasiado elevado debido al reducido volumen de los equipos necesarios.

De tal modo, las ventajas e inconvenientes que presenta dicha alternativa son las siguientes:

VENTAJAS

- Comportamiento elástico del material frente a deformaciones del terreno.
- No se requiere el vaciado del embalse.
- Posibilidad de relleno de grandes huecos.

INCONVENIENTES

- Falta de conocimiento total de las fisuras y cavidades del macizo.
- Impacto ambiental moderado.

Criterio	Valoración
Económico	3
Medioambiental	4
Técnico	2
Funcional	3

Tabla 6. Valoración alternativa 5. Fuente: Propia

3.6 ABANDONO DE LA PRESA

La última de las alternativas que se contemplan en este estudio es el vaciado y consiguiente abandono de la presa.

En este caso, el principal problema que se encuentra es la pérdida económica debido al cese de la actividad de generación de energía eléctrica en las centrales abastecidas por la presa. Además, la acumulación de agua destinada a riego se perdería necesitando realizar la construcción de balsas destinadas a riego en la zona.

Por otra parte, las actividades de ocio y recreo llevadas a cabo en el embalse cesarían de forma permanente, siendo una pérdida de ingresos a destacar.

Medioambientalmente, la solución afectaría al ecosistema existente en el embalse al llevar a cabo su vaciado definitivo.

Por tanto, se establecen las siguientes ventajas e inconvenientes relativos a la última de las alternativas:

VENTAJAS

- No se encuentra ningún tipo de ventaja en esta elección, únicamente sería viable en caso de no poder ejecutar ninguna de las alternativas propuestas anteriormente.

INCONVENIENTES

- Pérdida económica relativa a la generación de energía y a las pérdidas de agua para riego.
- Gasto económico adicional en la realización de balsas de riego.
- Impacto ambiental elevado debido a la modificación del ecosistema existente en el embalse.

Criterio	Valoración
Económico	1
Medioambiental	1
Técnico	No se realiza acción
Funcional	No se realiza acción

Tabla 7. Valoración alternativa 6. Fuente: Propia

4. VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS Y ELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN ÓPTIMA

En la siguiente tabla se muestran las valoraciones anteriormente asignadas a cada criterio, así como el total 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 8. Valoración alternativas. Fuente: Propia

A priori, tras observar la tabla con la puntuación total que ha obtenido cada alternativa, pueden descartarse en primera instancia las alternativas 0, 3 y 6.

Entre las alternativas restantes, se va a realizar una comparación cruzando diversos de los criterios a fin de elegir la solución final a desarrollar en el Anejo 7: Descripción de la solución adoptada.

En primer lugar, encontramos las alternativas 1 y 2, las cuales plantean el tapizado de los taludes a fin de evitar el paso de agua. Por su parte, las alternativas 4 y 5 plantean la modificación interna del macizo mediante la ejecución de barreras que corten el flujo de agua a través de los estratos.

Si bien las alternativas 1 y 2 serían una gran opción para impermeabilizar pequeñas balsas de riego, en este caso el área a tratar hace que el coste de ambas alternativas sea excesivo, a lo que viene acompañado la necesidad de vaciar el embalse para llevar a cabo la solución. Es por esta razón que deciden descartarse ambas alternativas y optar por una alternativa que cree una barrera interna en el macizo.

Finalmente, entre las alternativas 4 y 5, las principales diferencias que encontramos son las siguientes:

- Técnicamente es más sencillo ejecutar la alternativa 4 y, además, se cuenta con mucha más experiencia y conocimiento en aplicaciones similares.
- Funcionalmente, aunque la alternativa 4 puede presentar problemas a largo plazo y la necesidad de reinyectar, la alternativa 5 no nos asegura el completo relleno de los huecos existentes en el macizo debido a su desconocimiento.
- Económicamente, ambas soluciones presentan un coste similar, por lo que no existen grandes diferencias en este aspecto.
- Medioambientalmente, la ejecución de la alternativa 4 genera un impacto mayor al entorno debido a la necesidad equipos de perforación mayores.

A la vista del análisis anterior, se decide optar por la realización de la Alternativa 4: Ejecución de pantallas de inyecciones de mortero de cemento, la cual será descrita con detalle en el Anejo nº 7, y cuyo proceso constructivo y valoración económica se llevará a cabo en el Anejo nº 8.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Las fuentes de información o referencias empleadas para la redacción de este estudio son las mencionadas a continuación:

- 1) BLANCO, M.; GARCÍA, F.; DE CEA, J. C.; SÁNCHEZ, F. J. (2008). *Impermeabilización de balsas con geomembranas sintéticas: Control y seguimiento*.
- 2) BLANCO, M. (1998). *Las geomembranas sintéticas en la impermeabilización de embalses*. Curso de Técnicas y Utilidades de Aplicación de los Plásticos en el Sector Agropecuario, Santa Cruz de la Sierra (Bolivia).
- 3) BLANCO, M.; LEIRO, A.; AGUIAR, E.; ZARAGOZA, G.; (1999). *Características de geomembranas sintéticas de distinta naturaleza utilizadas en la impermeabilización de embalses*. Proc. V Congreso de Patología de la Construcción y VII de Control de Calidad, Montevideo (Uruguay).
- 4) MORENO, J. (2009). *Sellado de vertederos*. Universidad Autónoma de Madrid.
- 5) BIELZA, A. (1999). *Manual de técnicas de mejora del terreno*. Editorial Entorno Gráfico.
- 6) CABEMFORT, H. (1968). *Inyección de suelos*. Editorial Omega.
- 7) GONZÁLEZ, F.; YEPES, V.; MARTÍ, J. V. (2009). *Temas de procedimientos de construcción: Mejora de terrenos*. Universidad Politécnica de Valencia.
- 8) SANZ, J. M. (1981). *Procedimientos generales de construcción: Sondeos y perforaciones, inyecciones, pilotes, pantallas continuas*. Universidad Politécnica de Madrid.
- 9) DOMINIJANNI, A.; MANASSERO, M. (2016). *Consolidación de terrenos con resinas expansivas. Guía del proyecto*. Editorial URETEK.
- 10) LÓPEZ, A. (1968). *Mejora geotécnica del suelo*. CSIC.
- 11) GIORDANO, P. (2008). *Tratamiento de fundaciones. Inyecciones*. Universidad Nacional de la Plata.
- 12) MAROTE, G.; (2007). *Pantallas de Suelo-Cemento con hidrofresa*. Terrabauer.
- 13) OTEO, C. (2017). *La mejora del terreno: De las cimentaciones profundas a las inclusiones y pasadores*. CEDEX.
- 14) LÓPEZ, C.; BUSTILLO, M.; REVUELTA, M.; (2001). *Manual de sondeos. Aplicaciones*. Universidad Politécnica de Madrid.
- 15) GARCÍA, H.; BARCELÓN, D.; (...) (2011). *Guía técnica de seguridad AETESS: Muros Pantalla*.
- 16) ASOCIACIÓN DE EMPRESAS DE LA TECNOLOGÍA DEL SUELO Y DEL SUBSUELO (2004). *Mejora del terreno mediante inyecciones y jet-grouting*. Jornadas Técnicas SEMSIG-AETESS, Madrid (España).
- 17) Web de CETCO (1º consulta en abril de 2018). Disponible en: <http://www.cetco.es>
- 18) Web de Panachlor (1º consulta en abril de 2018). Disponible en: <http://www.panachlor.com>
- 19) Web de la Confederación Hidrográfica del Ebro (1º consulta en abril de 2018). Disponible en: <http://www.chebro.es>
- 20) Web de Turismo de Navarra (1º consulta en abril de 2018). Disponible en: <http://www.turismo.navarra.es>
- 21) Web de IBERDROLA (1º consulta en abril de 2018). Disponible en: <http://www.iberdrola.es>
- 22) Web de Sika (1º consulta en abril de 2018). Disponible en: <https://esp.sika.com>