

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

MEJORA Y CORRECCIÓN DE LA IMPERMEABILIZACIÓN EN EL CIMIENTO DE LA PRESA DE LAS FITAS

Pedro Jesús Extremera Aceituno (1)

Alberto Santos Sanchez (2)

Juan José Muñoz Perez (3)

Fernando Espejo Almodovar (4)

RESUMEN

El entorno geológico del enclave de la Presa de Las Fitas (Castelflorite, Huesca), presa de materiales sueltos con núcleo de arcilla, presenta unas características peculiares de que son analizadas en el presente artículo. El principal problema de este terreno son las filtraciones bajo el cimiento de la presa que pudieran repercutir en erosiones internas del propio cimiento. Erosión ésta que se vería favorecida por gradientes hidráulicos.

Tras una exhaustiva campaña geológica y geotécnica que aportó datos sobre los materiales del cimiento en cuanto a su deformabilidad, dispersividad, composición química... se optó por la ejecución de una pantalla de bentonita-cemento que disminuyera el gradiente hidráulico entre aguas arriba y aguas abajo de la misma. Con ello se reducía la permeabilidad del mismo, lo que mejoraba dos aspectos fundamentales:

- *La seguridad de la presa ante el riesgo de erosión interna de la cimentación*
- *Las pérdidas económicas derivadas de las fugas del embalse provocadas por la permeabilidad de la cimentación*

Se describen los estudios que se hicieron al terreno para su caracterización y lo que se dedujo de ellos. Para, con los datos obtenidos, se definió el tratamiento necesario para minimizar las filtraciones a través del cimiento de la presa.

(1) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Ldo. Ciencias del Mar, Ingeniero Civil, Ing. Técnico de Minas, Ing. Técnico Obras Públicas (Sociedad General de Obras, SA)

(2) Dr. Geología (Universidad de Cádiz)

(3) Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (Universidad de Cádiz)

(4) Ingeniero Civil, Ingeniero de Materiales, Ing. Técnico de Obras Públicas (Universidad de Salamanca)

1. INTRODUCCIÓN

La impermeabilización del cimiento de una presa de materiales sueltos, como es el caso de la Presa de Las Fitas, debe conseguirse con una triple vertiente: para reducir el caudal, para disminuir las presiones intersticiales del agua y para evitar el sifonamiento. Y esto se puede conseguir por diversos métodos que van desde la excavación y sustitución del material permeable, hasta la ejecución de pantallas impermeables, pasando por las tablestacas, perforación e inyección de lechadas de agua-cemento entre otros métodos. (Extremera Aceituno et al., 2013)

El principal problema de tener flujos de agua bajo el cimiento de la presa, además de las pérdidas económicas, está en la inestabilidad para el propio cuerpo de presa por una posible erosión de este cimiento.

Por ello, para evitar el riesgo de inestabilidad, se desarrolla este trabajo cuyo objetivo fundamental es buscar una solución que minimice las corrientes de agua en la base del cimiento de la presa. Este trabajo continúa las investigaciones de García Cerezo et al (2008), si bien, nuestro trabajo es con un fin preventivo tratando de evitar problemas futuros de filtraciones, mientras el de García Cerezo es para corregir unas filtraciones existentes.

2. ZONA DE ESTUDIO

Analizadas las zonas posibles para el emplazamiento de la presa en la región, se determinó que la mejor alternativa disponible era en una cerrada en el barranco de Las Fitas. Situándose a unos 9 kilómetros al Este de la localidad de Sariñena y a unos 4 km al Oeste de Castelflorite en la parte septentrional del término municipal de Villanueva de Sigena (Huesca). La cerrada se dispone

con dirección NE-SO. El vaso del embalse se prolonga hacia el Noroeste, a lo largo del Valle de Las Fitas, así como por vaguadas adyacentes.



Figura 1.- Localización

La zona estudiada se ubica entre los cauces de los ríos Cinca y Alcanadre quedando delimitada en su parte norte por el Anticlinal de Barbastro de dirección N0-SE compuesto por depósitos continentales terciarios. Entre dichos cursos fluviales aparecen grandes extensiones con un modelado suave que caracterizan al Somontano de Barbastro.

GEOLOGIA

Como es común en la Cuenca del Ebro, entre los materiales geológicos que conforman el vaso del embalse y la cerrada, encontramos una disposición tabular de alineaciones de paleocanales del Terciario y, junto a ellos, una distribución de materiales Cuaternarios. Las características litológicas de estas formaciones se pueden resumir así:

Sustrato Terciario. Supone la base del cimiento y es representado por materiales sedimentarios en medios continentales que constituyen las facies de conjuntos detríticos de origen fluvial. Litológicamente formado por una secuencia de materiales correspondientes a depósitos sedimentarios continentales del Mioceno. Así, se identifica una naturaleza geológica compuesta por argilitas y limolitas con paquetes intercalados de arenisca de pequeño espesor, típica de la Formación Sariñena (Figura 2).

Recubrimiento Cuaternario. Constituido por los materiales más recientes que recubren parcialmente el Sustrato Terciario y que son resultado de la sedimentación de materiales ligada a diversos procesos geomorfológicos.

Si se analizan estos materiales en el contexto geológico, se aprecia una disposición estratificada sub-horizontal, con buzamientos de hasta 5° y diaclasado, más marcada esta inclinación para el caso de las areniscas. En niveles superiores a la zona inundada se encuentran areniscas y terrazas de gravas. Y en el propio vaso del embalse se encuentran materiales terciarios cubiertos por un cuaternario aluvial de limos, limos arenosos, arenas y, puntualmente, gravas procedentes de la erosión de las laderas

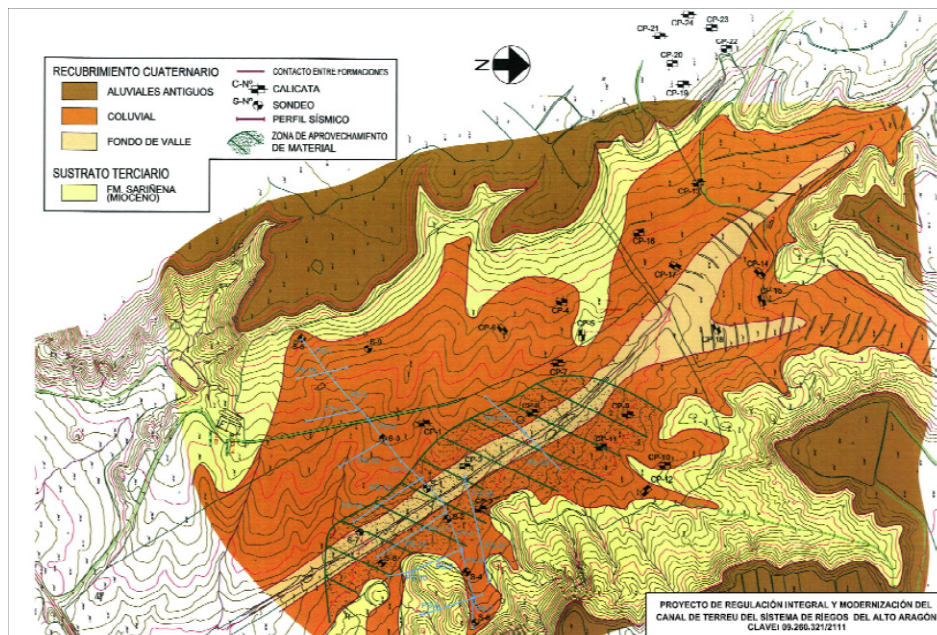


Figura 2.- Cartografía Geológica del Vaso de la Presa de Las Fitas

3. MATERIAL Y METODOLOGÍA

3.1. ANÁLISIS DEL TERRENO DE CIMENTACIÓN

Con los datos de partida anteriormente analizados, se dimensionaron una serie de sondeos distribuidos por toda la cerrada en los que se realizaron ensayos de permeabilidad Lefranc y Lugeon (Jiménez Salas, 1981). Obteniéndose la presión máxima que podía soportar el terreno y sus resultados referidos a unidades Lugeon, lo que se materializó en el diagrama de permeabilidad de la Cerrada de la Presa de Las Fitas (Figura 3). (Sanz Santacruz et al, 2010)

**PERMEABILIDAD DE LA CERRADA DE LA PRESA DE LAS FITAS.
PROPUESTA DE PANTALLA.**

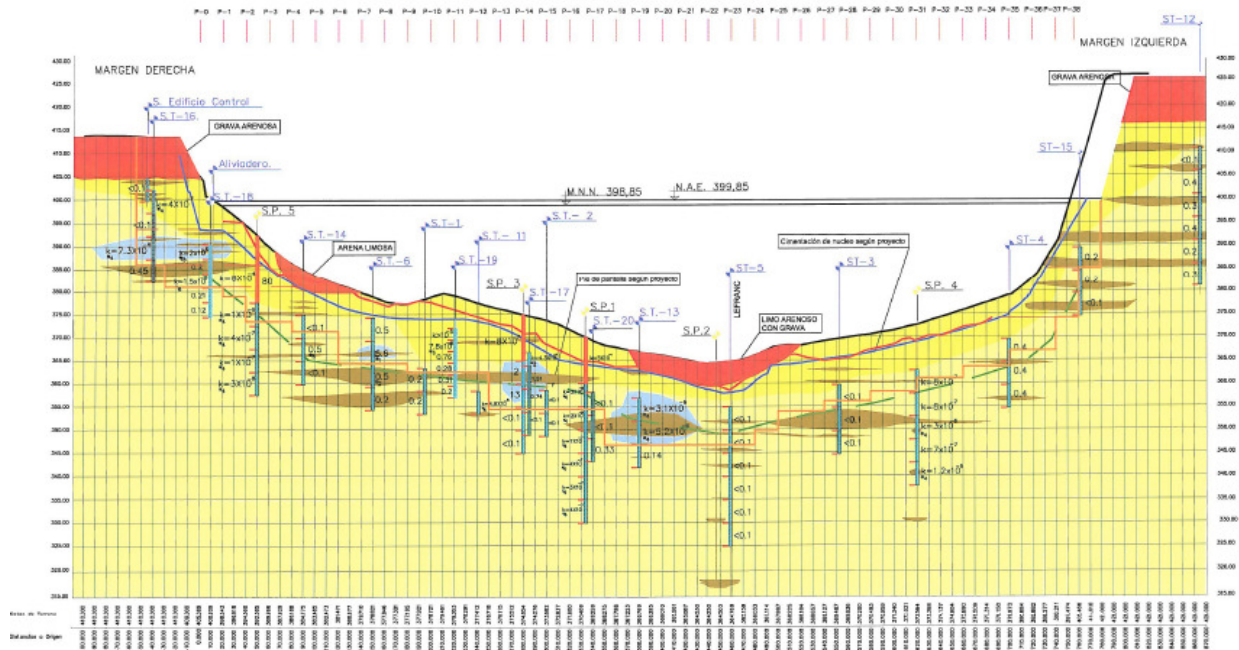


Figura 3.- Diagrama de Permeabilidad en la Cerrada de la Presa de Las Fitas

Así, se puede concluir con el análisis de los resultados que la permeabilidad de la cerrada es inferior a 1 Unidad Lugeon ($1 \text{ U.L.} = 10^{-5} \text{ cm/s}$) a partir de 10 metros de profundidad. Y si esto se compara con la clasificación que hizo González de Vallejo (2002) de los macizos en función de la permeabilidad:

Tabla 1.- Correlación de Permeabilidades del Macizo con Ensayos Lugeon

TIPO DE MACIZO	UNIDADES LUGEON	PRESION (Kp/cm ²)
Muy Impermeable	0-1	10
Prácticamente Impermeable	1-3	10
Permeable	>3	10
	1,5-6	5
Muy Permeable	>3	10
	>6	5

Se aprecia que el cemento es muy impermeable, aunque esta condición se puede ver alterada en aquellos puntos en que se encuentren las intercalaciones de arenisca. De ahí la necesidad de disponer una solución para que todo el cemento, sin excepción, mantenga esa impermeabilidad.

El tratamiento necesario requería una pantalla continua impermeable dispuesta a lo largo de toda la cimentación de la presa. Y, dado que la presa se apoya sobre terrenos que se pueden considerar “blandos”, argilitas y limolitas, también debía cumplir que esta pantalla fuese plástica para admitir deformaciones solidarias a las del terreno que la circunscriben.

Era necesario, por tanto, proyectar una pantalla plástica de bentonita-cemento que cumpliera los anteriores requerimientos. A su vez, la pantalla se ha dimensionado pretendiendo un empotramiento mínimo de 1 m en el núcleo de la presa, asegurando de esta manera la unión entre el núcleo y la pantalla. Por otro lado, se prolonga en profundidad hasta alcanzar las capas impermeables del sustrato, profundizando unos 20 m en la ladera de la margen derecha y 15 m en el resto de la cimentación, de acuerdo con las profundidades del paquete permeable, tal y como queda representado en la Figura 3. A su vez, para corroborar el correcto funcionamiento de la misma se dispondrán un sistema de auscultación que permita tener controlado el sistema (Extremera Aceituno et al 2015).

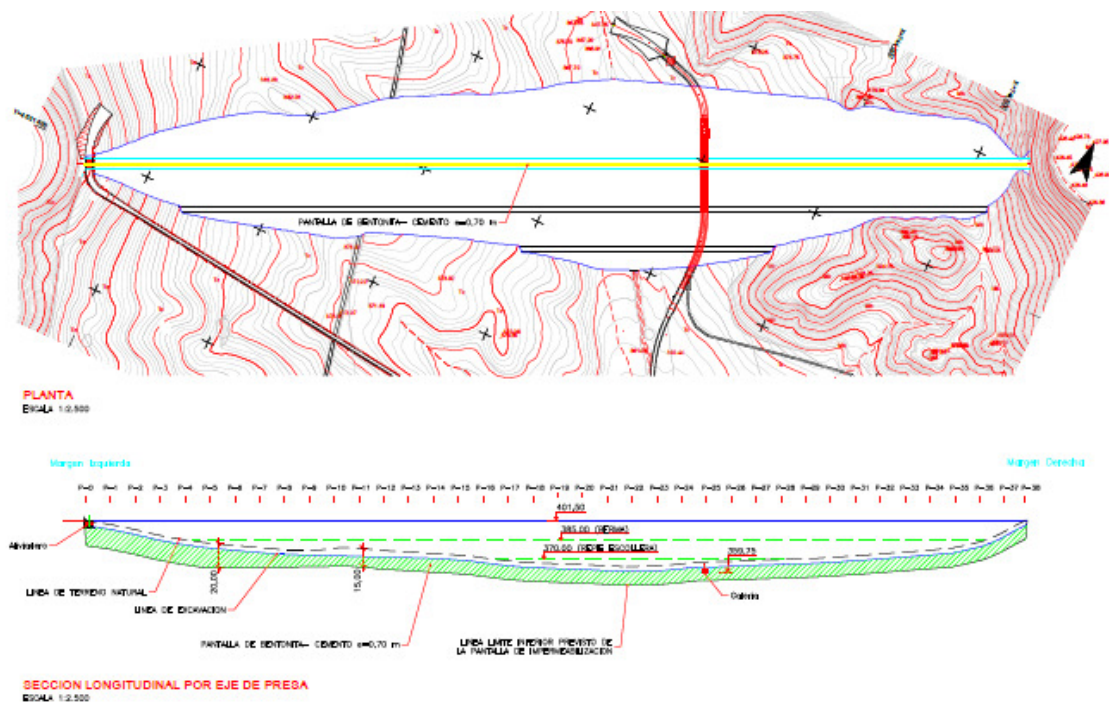


Figura 4.- Planta y Sección Longitudinal de la Pantalla de Impermeabilización

3.2. DIMENSIONAMIENTO DE LA PANTALLA DE BENTONITA-CEMENTO: ENSAYOS PREVIOS

Fijados los criterios de impermeabilidad y resistencia de la pantalla de bentonita-cemento, determinados por las condiciones naturales del terreno que la circunscribe. Se elaboran una serie de ensayos que garantizase los siguientes parámetros:

- Permeabilidades (K) $\leq 10^{-6}$ cm/seg
- Resistencia a Compresión Simple (RCS) ≥ 5 Kp/cm² (0,5 MPa)
- Filtrado a los 7,5 min. ≤ 110 cm³

Así, se ensayaron distintas mezclas de Bentonita-Cemento con dos tipos de cemento:

- CEM-III-B 42,5 de la marca Portland Valderrivas
- CEM-III-B 32,5 de la marca Tudela Veguín

Si se parte de la premisa que mantiene García Cerezo et al. (2008), que tanto la resistencia como la permeabilidad son función de la proporción agua/cemento. Cuanto menor sea esta relación, mayor será la resistencia y menor será la permeabilidad.

Con ello, se desarrollan una serie de ensayos a fin de obtener información sobre la dosificación adecuada para conseguir un producto que cumpla los parámetros establecidos. Además, era preciso cumplir en la mezcla obtenida una homogeneidad de la pantalla, evitándose segregaciones derivadas de las decantaciones. La bentonita minimiza este efecto y la manera de cuantificarlo es medir la decantación en el filtro prensa, fijando Pablo García Cerezo et al. (2008) que un lodo de bentonita es estable cuando el filtrado, medido en el filtro prensa en 7,5 min. aporta valores próximos a los 100 ml. o incluso inferiores, siguiendo la metodología de García Cerezo et al. (2008)

La cantidad de bentonita está en función de la cantidad del agua de amasado, por lo que, para optimizar su cantidad se realizan 2 ensayos donde el punto de partida son las cantidades establecidas de 1000 Kg de agua y 220 Kg de Cemento CEM-III-B. Para estos ensayos se utilizaron dos marcas comerciales de la bentonita: Bentonil C-2 y Bentonil CV-15.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. FASE EXPERIMENTAL Y LABORATORIO

Del análisis de decantación, medido en el filtro prensa se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 2.- Ensayos Previos de Sedimentación en Función de la Relación Cemento/Bentonita

CEM-III-B 42,5 Kp	Bentonil C-2		Bentonil CV-15	
	Dosificación (Kg)	Filtrado 7,5 min (ml)	Dosificación (Kg)	Filtrado 7,5 min (ml)
220			30	88
220	40	240	40	73
220	50	220	50	58
220	60	157		

El resto de ensayos fueron con el Bentonil CV-15 debido a sus excelentes resultados en filtrado y, a partir de estos resultados, se dimensiona una batería de experimentos en el laboratorio con distintas dosificaciones para acotar aún más las cantidades óptimas de componentes de la mezcla impermeabilizante.

Buscando la cantidad de bentonita necesaria para lograr la estabilidad de la mezcla, anteriormente fijada en valores de filtrado próximos a los 100 ml. se obtienen los Resultados Finales de la Dosificación Cemento/Bentonita

Tabla 3.- Resultados Finales de la Dosificación Cemento/Bentonita

CEM-III-B 42,5 Kp	Bentonil CV-15	
	Dosificación (Kg)	Filtrado 7,5 min (ml)
220	30	105
220	35	87
220	40	71

En cuanto a la dosificación de cemento se dispuso una serie de experimentos en el laboratorio que combinaban distintas proporciones de agua/cemento/bentonita. Y esto, a su vez, se desarrolló con los dos tipos de cementos antes comentados de Portland Valderrivas y Tudela Veguín.

Ensayos CEM-IIIB 42,5 de Portland Valderrivas

Tabla 4.a.- Relación entre Dosificaciones y Resistencia a Compresión Simple y Permeabilidad de la Mezcla Impermeabilizante

Dosificación (agua/cem/bent)	Resistencia Compresión Simple (Kp/cm ²)			Permeabilidad K (cm/seg)			
	28 días		Medi a	20 días		28 días	
1000/200/30	4,62	4,93	4,78	1,92x10 ⁻⁶	1,39x10 ⁻⁶	3,14x10 ⁻⁶	2,49x10 ⁻⁶
1000/220/30	6,68	7,50	7,09	1,14x10 ⁻⁶	5,94x10 ⁻⁷	9,10x10 ⁻⁷	2,42x10 ⁻⁶
1000/240/30	8,45	8,34	8,40	5,27x10 ⁻⁷	1,79x10 ⁻⁶	8,67x10 ⁻⁷	7,18x10 ⁻⁷

Ensayos CEM-IIIB 32,5 de Tudela Veguín

Tabla 4.b.- Relación entre Dosificaciones y Resistencia a Compresión Simple y Permeabilidad de la Mezcla Impermeabilizante

Dosificación (agua/cem/bent)	Resistencia Compresión Simple (Kp/cm ²)			Permeabilidad K (cm/seg)			
	28 días		Medi a	20 días		28 días	
1000/200/30	6,36	7,11	6,74	4,92x10 ⁻⁷	9,95x10 ⁻⁷	7,23x10 ⁻⁶	5,60x10 ⁻⁸
1000/220/30	9,47	8,55	9,01	2,14x10 ⁻⁷	1,67x10 ⁻⁷	5,82x10 ⁻⁸	3,62x10 ⁻⁸
1000/240/30	8,95	9,36	9,16	9,79x10 ⁻⁸	7,73x10 ⁻⁸	4,33x10 ⁻⁸	4,82x10 ⁻⁸

4.2. FASE DE CONSTRUCCIÓN

La técnica para el desarrollo de la pantalla de bentonita-cemento será mediante la ejecución por bataches primarios y, una vez fraguados, se ejecutarán los bataches secundarios que solaparán con los primarios 40 cm.

Con la ejecución de los bataches primarios y secundarios alternos se garantiza la continuidad de la pantalla. Pero para asegurar la verticalidad de la misma se empleó en primer momento unas guías de hormigón que posteriormente fueron sustituidas por una prezanja de 0,5 m. aprox. que dirigía la cuchara bivalva y aseguraba la verticalidad del batache. Este proceso queda recogido en la Figura 5



Figura 5.- Excavación de Pantalla Mediante Cuchara Bivalva y Guía Prefabricada de Hormigón

Analizados los resultados, se observa que:

- De los resultados obtenidos del empleo de las 2 marcas comerciales de la bentonita, se prefiere el empleo de Bentonil CV-15
- De los resultados obtenidos en laboratorio con las 2 marcas comerciales de cementos, se prefiere el empleo del cemento de Tudela Veguín

Una vez fijada marca de bentonita y cemento de los ensayos de laboratorio se concluye, se concluye del análisis de la Tabla 4.b que la dosificación a emplear para obtener los objetivos marcados debe estar compuesta de:

- 1000 litros de agua
- 30-35 Kg de Bentonil CV-15
- 220 Kg de cemento CEM-III-B 32,5 de Tudela Veguín

5. CONCLUSIONES

En terrenos con las características geológicas del enclave de la Presa de Las Fititas se recomienda para evitar filtraciones en el cimiento de la presa la ejecución de un método que garantice la impermeabilización de la base de este cimiento. En estos casos, el modo más recomendable para conseguir este fin es la realización de una pantalla plástica, elaborada a partir de una mezcla de bentonita y cemento, que corte posibles paleocanales o estratos de materiales más permeables que pudieran suponer una vía preferente de agua.

Con ello, se puede asegurar que la construcción de la pantalla de impermeabilización, elaborada a partir de la mezcla de bentonita y cemento, garantiza la impermeabilización de la cimentación de la presa en un terreno con intercalaciones de areniscas permeables que ponían en riesgo tal impermeabilidad, con el consiguiente peligro para la estabilidad del cimiento.

Esta impermeabilidad se corrobora a partir del análisis visual de la zona de trabajo, donde no se aprecian manchas de humedad aguas abajo de la presa y con el análisis de los elementos de auscultación de la propia presa, que muestran una reducción de las presiones intersticiales tras la pantalla de bentonita-cemento

6. REFERENCIAS

Extremera Aceituno, P.J, Santos Sanchez, A., Muñoz Pérez, J.J., Lúquez Llorente, R., Algorta Esteban, E., Ballarín Bello, C., Sánchez Lallana, A. (2015). Auscultación de Presas y su Aplicación al Estudio de Gradientes Hidráulicos. X Jornadas de Presas. In press

Extremera Aceituno, P.J, Santos Sanchez, A., Muñoz Pérez, J.J., Lúquez Llorente, R., Algorta Esteban, E., Ballarín Bello, C., Sánchez Lallana, A., Vallés Morán, F.J. (2013). Sostenibilidad del Proyecto de Regulación y Modernización del Canal de Terreu. III Jornadas de Ingeniería del Agua. pp 301-308

Sanz Santacruz, M., Pérez Estébanez, A., Extremera Aceituno, P.J., Ballarín Bello, C., Asensio Ramírez, L.E., Andreu Mir, M., Bautista Alonso, C., Lúquez Llorente, R. (2010). Tratamiento de la Cimentación en la Presa de Las Fititas (2010). IX Jornadas Españolas de Presas.

García Cerezo, P., Alfajeme, J.J., Ramírez, Asensio Ramírez, L.E., Cairón Roldan, A. y Oprandi, R.I. (2008). Trabajos de Corrección de Filtraciones e Impermeabilización en la Presa de Horno Tejero (Badajoz). VII Jornadas Españolas de Presas

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C. (2002). Ingeniería Geológica. Prentice Hall - Pearson Educacion, pp. 750

Jiménez Salas, J.A., de Justo, J.L. y Serrano, A.A. (1981). Geotécnica y Cimientos II: Mecánica del Suelo y de las Rocas. Ed. Rueda, pp 1188