

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

BANCO DE DATOS DE PRESAS DE HORMIGÓN CON EXPANSIONES

F. Pardo¹, A. Aguado², L. Agulló², J. M. Buil³ y A. Gil⁴

RESUMEN: El estudio del comportamiento expansivo del hormigón en presas e instalaciones afines a las mismas comprende diferentes actuaciones que inciden de un modo transversal en aspectos que incluyen a los materiales, la tipología estructural y el régimen de explotación. Asimismo, los efectos derivados de las expansiones en el hormigón pueden incidir tanto en las condiciones de seguridad de la presa como en la funcionalidad de la misma, o de sus órganos afines.

En esta comunicación se exponen las características y la estructura de una base de datos de presas españolas de hormigón, actualmente en explotación, afectadas por expansiones. La base de datos se estructura en seis campos principales de información, los cuales se refieren a datos de identificación, proyecto, construcción/materiales, explotación, síntomas y diagnóstico de la expansión y medidas adoptadas; también, incorpora información complementaria y/o bibliografía específica, así como planos de la presa.

El software utilizado para la realización de esta Base de datos, concebida desde un principio para ser utilizada en el entorno web, ha sido Microsoft Access 2007 y Visual Basic. Estas herramientas permitieron crear un sistema de búsqueda que se divide en dos grupos: índice general de presas y búsqueda basada en los conceptos técnicos incluidos en los seis campos principales de las fichas, siempre a partir de palabras clave y desplegadas.

¹ Ing. de Caminos, doctorando Departamento Ingeniería de la Construcción. Universitat Politècnica de Catalunya.

² Profesor Dr. Ing. de Caminos. Departamento Ingeniería de la Construcción. Universitat Politècnica de Catalunya.

³ Profesor Ing. de Caminos. Endesa Generación S.A.

⁴ Ing. de Caminos. Iberdrola Generación S.A.U.

1.- INTRODUCCIÓN

Las reacciones expansivas que causan daños estructurales en presa de hormigón no son un problema nuevo, siendo su estudio, de máxima vigencia, lo que queda de manifiesto en jornadas y publicaciones técnicas. Los expertos son conocedores de la importancia de acotar y de resolver, en la medida de lo posible, los problemas que se derivan de las mismas en las estructuras de hormigón que conforman las presas.

La expansión del hormigón de una presa, según *ICOLD (1991)*, puede causar diversos daños: pérdida de resistencia por microfisuración interna, fisuración superficial como consecuencia de una expansión no uniforme, aumento de la permeabilidad y el consiguiente aumento de las filtraciones, variación de las dimensiones debido a las expansiones, transferencia de cargas en los elementos estructurales adyacentes, problemas con los elementos móviles y presencia de productos de la reacción. Estos daños, se agudizan con el paso del tiempo, como consecuencia del envejecimiento del hormigón *ICOLD (1994)*, de ahí, que sea un fenómeno que cada vez más tiende a aparecer en las presas de hormigón, y por este motivo es muy probable que el número de estructuras afectadas por esta problemática aumente en los próximos años.

El ICOLD, o en su defecto los distintos comités nacionales que lo configuran, como es el SPANCOLD, consciente de lo expuesto, ha reservado al estudio de esta temática espacios importantes en algunos de sus congresos, prueba de ello son las distintas cuestiones que se han dedicado a esta materia en diferentes congresos de esta institución, y los distintos documentos que de ellos han derivado. Sirvan como ejemplo: la International Conference of Alkali-Aggregate Reactions in Hydroelectric Plants and Dams, *CEA and CANCOLD (1992)*, la Second International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Hydro-electric Plans and Dams”, *USCOLD (1995)* o el Special workshop - Chemical Expansion of Concrete in Dams & Hydro-electric Projects organizado ICOLD (2007).

En estos eventos se ha constatado que la información sobre presas afectadas por reacciones expansivas está muy dispersa, no siempre al alcance de los ingenieros de explotación que pueden tener necesidad de estudiarlos. No obstante hay que resaltar el banco de datos elaborado por Acres International Limited (1995), que se puede consultar vía web. Este banco de datos si bien es extenso en cuanto al número de casos presentados, es escaso en cuanto a la información transmitida en relación a los daños estructurales existentes en la presa, así como de datos relativos a expansiones por ataque sulfático interno, muy presente en nuestro país y, poco trabajado fuera de él. Ese carácter sucinto hace que sirvan solamente para conocer el nombre de la presa y sus características geométricas más elementales y algún rasgo de sus síntomas, pero para poco más. En consecuencia el usuario que quiere profundizar en el estudio de algún caso concreto, debe recurrir a unos documentos específicos, que como se ha dicho, se encuentran dispersos y con disponibilidad restringida.

2.- OBJETIVOS

En este marco general es donde nace un proyecto para poder realizar una base de datos de presas de hormigón con expansiones, en un primer momento españolas, y a posteriori de todo el mundo, con información relevante y fidedigna. La intención de este trabajo es permitir a un ingeniero responsable de una presa (que en pocas horas, máximo en una mañana donde hasta la fecha necesitaba semanas o incluso meses) pueda estudiar las fichas de otras presas que hayan sufrido reacciones expansivas, para poder, de esta forma, conocer al detalle, mediante casos reales, las consecuencias estructurales de la expansión del hormigón.

Este producto nace para residir en la web del SPANCOLD. La utilización del entorno de Internet permite configurar una adecuada conexión entre el administrador y el administrado, o dicho de otra manera, entre el científico y el técnico, ofreciendo una actualización continua y automática de la información, lo que sin duda redundará en un servicio de mayor profundidad y rigor, más dinámico y más accesible para todos.

Precisamente, por la voluntad de sus autores de que éste sea un trabajo público que pueda ser consultado vía internet, y por tanto al alcance de cualquier usuario de la red, la información en que se basa la base de datos, y todos los documentos adjuntos que ésta presenta son de carácter público, para así, asegurar que no se vulnera en ningún caso el secreto profesional y el código deontológico de la ingeniería civil, garantizándose además la máxima difusión del producto. Esta metodología de trabajo puede ocasionar que en algunos casos la información que se adjunte no sea excesivamente abundante, pero sí altamente contrastada.

3.- LA BASE DE DATOS DE PRESAS DE HORMIGÓN CON EXPANSIONES

En este trabajo se ha elaborado un banco de datos de presas españolas con expansiones de hormigón pensado para que un ingeniero de explotación pueda visualizar, de manera sencilla, distintos ejemplos, documentados científicamente, de diferentes casos reales de presas que padecen una reacción expansiva. En estos momentos el banco de datos consta de 12 Presas españolas.

Para facilitar el acceso a la información del usuario se ha confeccionado para cada presa una ficha resumen, la cual se ha dividido en 7 grandes áreas temáticas que contienen toda la información pública considerada de especial relevancia.

3.1- SISTEMAS DE BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN EN EL BANCO DE DATOS

Para acceder a la ficha de cada una de las distintas presas se han elaborado dos sistemas distintos de búsqueda basados en diferentes conceptos y de fácil trazabilidad a los que se puede acceder desde la página principal de la base de datos. El primero responde al menú *Índice de presas*, donde aparecen las presas españolas con reacciones expansivas ordenadas por el código de registro del Ministerio de Fomento (1988), con su nombre y con la reacción expansiva diagnosticada. El segundo menú de búsqueda es más complejo, y se accede a él mediante el icono *Inicio*. El menú *Índice de búsqueda* que se abre a continuación está dividido según los 7 grandes campos temáticos de que constan las fichas: Datos generales, Proyecto, Construcción/Materiales, Explotación, Síntomas/Diagnóstico, Actuaciones principales y Bibliografía, si bien no está disponible aún el sistema de búsqueda mediante bibliografía.

Para cada área temática se definen los parámetros de búsqueda más relevantes, en la opinión de los autores. Cada parámetro dispone de un desplegable que ofrece al usuario las distintas posibilidades de búsqueda existentes, por ejemplo, si se desea buscar las presas que responden a una determinada tipología, el usuario debe, una vez situado en el menú *Índice de búsqueda* en la zona de *Datos generales*, clicar sobre el desplegable de *Tipología*, apareciendo en este caso 7 opciones.

Una vez seleccionada la opción deseada se abre un índice con las presas que responden a la característica seleccionada, en este caso *Búsqueda por tipología*. Si se clica en *abre formulario*, se accede a la ficha correspondiente a la presa seleccionada.

3.2- CARACTERÍSTICAS DE LA FICHAS DEL BANCO DE DATOS

Cada presa del banco de datos tiene asociada una ficha dividida, como se ha comentado, en las 7 grandes áreas temáticas citadas con anterioridad y que se describen a continuación.

3.2.1.- Datos generales

Esta área permite identificar la presa de manera inequívoca mediante su nombre y su código, así como situarla geográficamente, se especifica, también, el propietario, el proyectista y el constructor de la misma. Además se presentan dos imágenes, una de la presa vista desde aguas abajo, y en la segunda se presenta un perfil transversal de un bloque representativo, figura 1.

DATOS GENERALES							
Nombre Presa:	San Esteban	Código:	344				
País:	España	Situación en el mapa:	C-2				
Comunidad autónoma:	Galicia	Provincia:	Orense				
Término municipal:	Nogueira y Ramuín	Río:	Sil	Cuenca hidrográfica:	Norte	Destino:	Energía
Propietario:	Iberdrola Generación	Proyectista:	Zapata, Corral y Rz.Conde	Constructor:	D. y C.		

Figura 1: Ejemplo del área Datos generales

3.2.2.- Proyecto

Esta área, tal como puede verse en la figura 2, permite conocer las características técnicas de la presa, desde su tipología, a la capacidad de su aliviadero, pasando por el tipo de cerrada, la altura, la longitud de coronación, el ancho de la coronación, el volumen de la presa, el volumen del embalse, la superficie del embalse y el tipo de aliviadero.



PROYECTO									
Tipología:									
Arco Gravedad									
Tipo cerrada:	Altura (m):	L. coronación (m):	Ancho coronación (m):	V. presa (m ³):	V. embalse (Hm ³):	S. embalse (m ²):			
U	115	295	4,0	474.300	213	737			
Estudios geológicos	<input type="checkbox"/>	Esquema de la presa (planos)	<input type="checkbox"/>	Galerías	<input checked="" type="checkbox"/>	Compuertas	<input checked="" type="checkbox"/>	Desagüe de fondo	<input type="checkbox"/>
		Tipo de aliviadero:		Capacidad del aliviadero (m ³ /s):					
Con compuertas				4.500					

Figura 2: Ejemplo del área Proyecto

Además, en este apartado se deja constancia sobre si la presa dispone de: galerías, compuertas y/o desagüe de fondo. También se puede, si se dispone de ello, adjuntar estudios geológicos y de algunos planos de la presa.

3.2.3.- Construcción/Materiales

La construcción de estructuras de hormigón de grandes volúmenes, como es el caso de las presas, en las que los áridos generalmente proceden de las zonas próximas a la obra, puede implicar el uso de áridos inadecuados que con el paso del tiempo conducen al desarrollo de expansiones y, por consiguiente, a la introducción de acciones no previstas en la estructura, Ayora *et al.* (1998), de ahí que sea muy necesario conocer al detalle todo lo referente a los materiales que se usaron en la construcción de las estructura.

En este bloque temático se puede conocer el año en que se iniciaron y finalizaron las obras, el método constructivo, la procedencia del árido, el tipo de árido, el tipo de conglomerante, la ubicación de la central de hormigón y la procedencia del agua. En este caso, la base de datos permite, también, incorporar documentos referentes a estudios sobre de los áridos, sobre el cemento, sobre el hormigón y/o sobre el agua (Ver figura 3).

CONSTRUCCIÓN /MATERIALES		
Año inicio construcción: 1961	Año terminación construcción: 1965	Método constructivo: Bloques
Procedencia del árido: cantera de la zona	Tipo de árido: pizarra metamórfica	Estudios sobre los áridos <input type="checkbox"/>
Tipo de conglomerante: P-250 (PIRINEO)	Estudios sobre el cemento <input type="checkbox"/>	Procedencia del agua:
Ubicación central de hormigón:	Estudios de Hormigón <input type="checkbox"/>	Estudios sobre el agua <input type="checkbox"/>

Figura 3: Ejemplo del área Construcción/Materiales

3.2.4.- Explotación

Las distintas fases de la vida de una presa: proyecto, construcción, puesta en carga y posterior explotación forman un conjunto único y continuo. La información que se recoja en las distintas etapas deben fijar los aspectos que deben controlarse con especial cuidado durante el periodo de explotación, Pérez (1982). En consecuencia es de vital trascendencia conocer qué tipo de actuaciones asociadas a la actuación ordinaria se han realizado en la presa a lo largo de los años, lo cual se recoge en la pantalla mostrada en la figura 4. También es muy importante saber cuáles son los instrumentos de auscultación de que disponen la presa, y el tipo de análisis que se realiza con los datos obtenidos. En este caso también se ofrece la posibilidad al administrador de la base de datos de adjuntar informes relacionados con el control de la explotación.

EXPLORACIÓN	
Actuaciones asociadas a la explotación ordinaria: Impermeabilización	Periodo actuación: 1968-1970
Instrumentación	
Termómetros <input type="checkbox"/>	Defómetros <input checked="" type="checkbox"/>
Piezómetros <input type="checkbox"/>	Péndulos <input checked="" type="checkbox"/>
Medidores de juntas <input checked="" type="checkbox"/>	Extensómetros <input type="checkbox"/>
Limnigrafos <input type="checkbox"/>	Otros <input checked="" type="checkbox"/>
Tipo analisis datos: Comparación estadística con método numérico	Disponibilidad de estudios <input type="checkbox"/>

Figura 4: Ejemplo del área Explotación

3.2.5.- Síntomas/Diagnóstico expansión

Un buen diagnóstico y su desarrollo temporal es de vital importancia, pues los métodos existentes para mitigar y solucionar los daños derivados de expansiones están estrechamente ligados al hecho de conocer cuál es y el porqué del problema real que padece la estructura (Pardo, 2009). Para determinar con precisión el diagnóstico deben estudiarse al detalle los fenómenos que revelan la existencia de una anomalía, o dicho de otra forma, deben estudiarse los síntomas, tanto directos como indirectos, que se manifiestan en la estructura de hormigón.

Por lo referido, en este apartado de la Base de Datos existe una sub-área dedicada a mostrar los síntomas, sean directos o indirectos, que ha manifestado la presa a lo largo de la inspección realizada, habiéndose considerado oportuno aportar el año en que se detectaron los primeros síntomas de la patología y la edad de estructura en ese momento, al relacionarse la cinética de las reacciones con la edad de la presa (Ver figura 5).

SÍNTOMAS/DIAGNÓSTICO EXPANSIÓN

Síntomas

Año detección síntomas: 1994 Edad de la presa al detectarse los síntomas: 25 años

Fisuración orientada Fisuración mapeada Cambios de coloración

Cerramiento de juntas Filtraciones Productos de reacción

Movimientos remanentes Incidencias en órganos móviles Análisis de obras del entorno

Disponibilidad de informes relacionados con los síntomas

Localización del daño: Cuerpo de presa

Diagnóstico

Tipo de reacción: Ataque sulfático interno Disponibilidad de informes

Figura 5: Ejemplo del área síntomas/ diagnóstico expansión

La segunda sección de que consta esta área es la dedicada al diagnóstico. En esta se presenta la conclusión final del estudio. Tanto en este sub-apartado como en el de sintomatología, una vez más, se permite adjuntar informes relacionados con la temática.

3.2.6.-Actuaciones principales

Existen tres grandes filosofías de actuación ante una presa expansiva. Las medidas adoptadas para hacer frente a la expansión pueden oscilar desde el caso extremo de abandono de la presa hasta la reparación de la misma mediante variadas técnicas. La tercera posibilidad es controlar de manera exhaustiva la presa y valorar con el tiempo la expansión, pues en ocasiones no hace falta aplicar ningún sistema corrector dado que la reacción ha entrado ya en fase de desactivación, donde el proceso de degradación se reduce gradualmente, tendiendo a su estabilización. La base de datos permite distinguir entre las distintas filosofías de actuación. Dado el caso que se haya aplicado alguna medida correctora se permite que estas sean enumeradas, y que se detalle el periodo en que estas fueron aplicadas. También en este caso, se pueden adjuntar, si se disponen de ellos, informes públicos referentes a las actuaciones efectuadas, figura 6.

ACTUACIONES PRINCIPALES					
Ninguna intervención	<input type="checkbox"/>	Abandono de la presa	<input type="checkbox"/>	Sellar/inyectar fisuras	<input checked="" type="checkbox"/>
Realizar juntas	<input type="checkbox"/>	Rehacer juntas	<input checked="" type="checkbox"/>	Sustitución hormigón	<input type="checkbox"/>
Realizar Anclajes	<input type="checkbox"/>	Realizar cortes hormigón	<input type="checkbox"/>	Impermeabilizar	<input type="checkbox"/>
Imprimación	<input checked="" type="checkbox"/>	Ajuste órganos afines	<input type="checkbox"/>		
Disponibilidad de informes	<input type="checkbox"/>			Perido actuaciones:	<input type="text" value="Año 2000"/>

Figura 6: Ejemplo del área actuaciones principales

3.2.7.-Bibliografía

Con la intención de facilitar al usuario el acceso a los textos de referencia utilizados para realizar y actualizar la base de datos, la última área temática de la base de datos, es una bibliografía donde se adjuntan los textos públicos abiertos a todos los lectores con su referencia bibliográfica y la web del organismo editor, o en su defecto, si no son textos abiertos solamente se presenta la referencia y la web, figura 7.






Titulo	Referencia	Documento
"Diagnosis of the behaviour of the Graus and Tabescán dams".	http://www.icold-cigb.net/	
"Funciones de ajuste del comportamiento de expansiones en hormigón de presas."	http://www.taylorandfrancis.com/default.asp	
"Análisis del comportamiento estructural del hormigón: de la micro a la macro estructura. Aplicación al caso de presas".	http://www.e-ache.net/articulos_detalle.asp?id=87	
"Estudio de fenómenos expansivos en presas de hormigón. De la micro a la macro estructura."	http://www.spancold.es	
"Weathering of iron sulfides and concrete alteration: thermodynamic model and observation in dams from Central Pyrenees, Spain."		

Figura 7: Ejemplo del área de bibliografía

4.- SOPORTE INFORMÁTICO

El software utilizado para la realización de esta Base de datos, ha sido Microsoft Access 2007 y Visual Basic. Microsoft Access es un programa creado para ser un sistema de gestión de bases de datos relacional. La ventaja de este software es su gran difusión, permitiendo crear formularios para insertar y modificar datos fácilmente. Asimismo tiene un entorno gráfico para ver las relaciones entre las diferentes tablas de la base de datos. Visual Basic es un lenguaje de programación constituyendo un IDE que ha sido empaquetado como un programa de aplicación, es decir, consiste en un editor de código, un depurador, un compilador y un constructor de interfaz gráfica.

Todo ello se ha concebido desde un principio para utilizarse en el entorno web, habiendo nacido con la voluntad de que este abierto por el técnico y disponible en la página web de SPANCOLD.

5.- CONCLUSIONES

Gracias a este trabajo es sencillo y rápido estudiar casos reales de presas de hormigón que padezcan o hayan padecido reacciones expansivas por ser un documento público bien referenciado.

Elaborar este trabajo ha sido largo y costoso, debido a los problemas intrínsecos de la programación informática, y de la recopilación de información, hay que añadir los

derivados de la confección de un modelo de ficha didáctico, funcional y a la vez estético. Además, los autores tuvieron que acreditar en fase experimental que la base de datos era un instrumento útil, accesible, dinámico y fácil de usar. Para tal menester se realizaron unas pruebas con una serie voluntarios de distinto perfil, este proceso permitió reprogramar el sistema hasta ir definiendo el modelo que aquí se presenta.

El objetivo que, ahora, se debe plantear es ampliar la BASE DE DATOS DE PRESAS DE HORMIGÓN CON EXPANSIONES para extenderla a nivel internacional. Esta base de datos debería constar como mínimo con las presas que en su día aparecían en el banco de datos de ACRES. Es importante puntualizar que a nivel informático el programa ya está en disposición de realizar este salto cualitativo, siendo, solamente, necesario recabar la información de las presas.

6.- AGRADECIMIENTOS

Con estas líneas se agradece la colaboración de Endesa Generación S.A. e Iberdrola Generación S.A.U. en el desarrollo de este proyecto. Asimismo se agradece a Felipe Río y a Rodrigo del Hoyo, la aportación de documentos públicos relacionados con su experiencia.

7.- BIBLIOGRAFÍA

Acres International Limited (1995), "Alkali-Aggregate Reactions in Hydroelectric Plants and Dams". (<http://www.acres.com/AcresGroup/Services/ServHydroAAR/indprj.htm>)

Ayora, C., Cinchón, S., Aguado, A. y Guirado, F. (1998), "Weathering of iron sulfides and concrete alteration: thermodynamic model and observation in dams from Central Pyrenees, Spain." Cement and Concrete Research, vol. 28, pp. 1223-1235.

M.O.P.U. (1988) "Inventario de presas españolas 1986" Dirección general de obras hidráulicas (1988) M.O.P.U. Madrid.

ICOLD (1991) "Alkali-Aggregate Reaction in concrete dams – Review and Recommendations". Boletín 79.

ICOLD (1994) "Ageing of dams and appurtenant works. Review and recommendations" Boletín 93.

Pardo, F. (2009), "Estudio del diagnóstico y del tratamiento de presas de hormigón con expansiones". Tesina de especialidad. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Canales, Caminos y Puertos. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona. Tutor: A. Aguado

Pérez A. (1982), "Reflexiones sobre instrumentación de presas. Instrumentación automática. Enfoque actual en España." Revista de obras públicas, vol. abril- mayo, pp. 283-290.

8.- ANEJO 1. FICHA DE LA PRESA DE GRAUS



Base de datos de presas de hormigón con expansiones



DATOS GENERALES

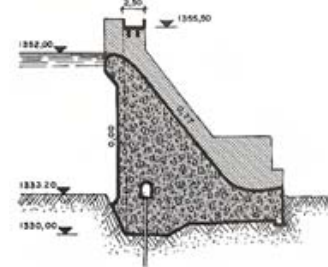


Nombre Presa:

Graus

Código:

713



País:

España

Situación en el mapa:

K-2

Comunidad autónoma:

Cataluña

Provincia:

Lérida

Termino municipal:

Lladorre

Río:

Tavascán

Cuenca hidrográfica:

Ebro

Destino:

Energía

Propietario:

Endesa Generación

Proyctista:

Serrano Camarasa

Constructor:

C.O.P.I.S.A.

PROYECTO

Tipología:

Gravedad recta

Tipo cerrada: Altura (m): L. coronación (m) Ancho coronación (m): V. presa (m3): V. embalse (Hm3) S. embalse (m2)

U

28,90

99,5

2,5

15.000

0,3

5

Estudios geológicos

Esquema de la presa (planos)

Galerías

Compuertas

Desagüe de fondo



Tipo de aliviadero:

Lámina libre

Capacidad del aliviadero (m3/s)

205,000

CONSTRUCCIÓN /MATERIALES

Año inicio construcción:

1968

Año terminación construcción:

1971

Método constructivo:

Bloques

Procedencia del árido:

Tipo de árido:

Estudios sobre los áridos

Tipo de conglomerante:

Estudios sobre el cemento

Procedencia del agua:

Ubicación central de hormigón:

Estudios de Hormigón

Estudios sobre el agua

EXPLOTACIÓN

Actuaciones asociadas a la explotación ordinaria:

Impermeabilización y sellado de fisuras

Periodo actuación:

Instrumentación

Termómetros Defórmómetros Medidores de junta Extensómetros
Piezómetros Péndulos Limnígrafos Otros

Tipo análisis datos:

Comparación estadística con método numérico

Disponibilidad de estudios



SÍNTOMAS/DIAGNÓSTICO EXPANSIÓN

Síntomas

Año detección síntomas

Edad de la presa al detectarse los síntomas:

Fisuración orientada Fisuración mapeada Cambios de coloración
Cerramiento de juntas Filtraciones Productos de reacción
Movimientos remanentes Incidencias en órganos móviles Análisis de obras del entorno

Disponibilidad de informes relacionados con los síntomas



Localización del daño

Cuerpo de presa/elementos auxiliares

Diagnóstico

Tipo de reacción

Ataque sulfático interno

Disponibilidad de informes

ACTUACIONES PRINCIPALES

Ninguna intervención Abandono de la presa Sellar/inyectar fisuras
Realizar juntas Rehacer juntas Sustitución hormigón
Realizar Anclajes Realizar cortes hormigón Impermeabilizar
Imprimación Ajuste órganos afines

Disponibilidad de informes

Periodo actuaciones



PRINCIPIA

Base de datos de presas de hormigón con expansiones

