

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

REHABILITACIÓN DE LA RED DE DRENAJE MEDIANTE AGUA A ALTA PRESIÓN. EXPERIENCIA DE LOS ÚLTIMOS CINCO AÑOS EN MÁS DE TREINTA PRESAS ESPAÑOLAS.

Luís García García¹ y Alberto Gonzalo Carracedo²

RESUMEN: Un elemento importantísimo para la seguridad de una presa es el correcto funcionamiento de la red de drenaje, que, además de servir de sistema de control de la regularidad del funcionamiento de la estructura, deberá impedir la penetración y circulación de agua en el cuerpo de presa, así como controlar la aparición de subpresiones en la cimentación.

Con los años, los drenes van perdiendo efectividad, pudiendo llegar a resultar totalmente inoperantes. En las inspecciones de presas que se vienen realizando en España, el mal funcionamiento del sistema de drenaje aparece como una constante.

El presente trabajo explica el mecanismo de envejecimiento de la red de drenaje, describe algunos sistemas de verificación de su estado, pasa revista a los métodos tradicionales de limpieza de drenes y, finalmente detalla la metodología rehabilitación mediante chorros de agua a alta presión, y elevado caudal, que ha dejado de ser un sistema experimental, demostrado con su empleo en una treintena de presas españolas, ser extraordinariamente más eficiente que los procedimientos tradicionales.

¹ Ingeniero de Caminos. Parque de Maquinaria. Mº de M.A.M.R.M. luis.garcia@pm.mma.es

² Dr. Ingeniero de Caminos. H.C.C. alberto@hcc-es.com

1. MECANISMO DE ENVEJECIMIENTO DE LOS DRENES.

Tanto los drenes de cimentación, como los de cuerpo de presa, van sufriendo, a lo largo del tiempo, un proceso de depósitos de carbonatos que van mermando su eficacia, llegando incluso a anularlos. En los drenes del cimientto, además se producen arrastres de partículas del terreno que pueden, por un efecto de filtro prensa, consecuencia del movimiento de arrastre de finos, disminuir sustancialmente la capacidad de evacuación de agua. En las inspecciones de presas que se vienen realizando, el mal funcionamiento del sistema de drenaje aparece como una constante.

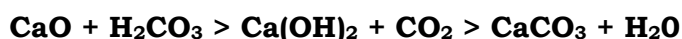
Dado que el proceso de colmatación de la red de drenaje por depósitos de carbonatos, suele producirse independientemente de la naturaleza química del terreno, hay que buscar el origen de las concreciones en el cemento, tanto de la propia presa como, muy especialmente, de la pantalla de impermeabilización. El mecanismo tanto de degradación del cemento como de la formación de depósitos de carbonatos, es el siguiente:

- El dióxido de carbono, CO₂, presente tanto en la atmósfera, como, sobre todo en el terreno procedente de la descomposición orgánica, se disuelve fácilmente en el agua de lluvia.
- Esta agua, cargada con CO₂ disuelto, si la presión aumenta, o sea a partir de una cierta cota de embalse, reacciona produciéndose ácido carbónico:



Hay que insistir en que esta reacción es sensible a la presión y se dará en las cotas más bajas del embalse, y con más razón, en el agua que se filtre bajo la presa.

- El cemento de la pantalla de inyección y del hormigón de la presa tiene cal, tanto libre como de constitución, CaO, que se combina con el ácido carbónico, dando lugar a hidróxido de calcio, y luego a carbonato cálcico que precipita:



- El precipitado de carbonato cálcico es prácticamente insoluble en el agua básica. Sin embargo cuando existe suficiente ácido carbónico en el agua, y ésta reduce su pH por debajo de 8,2, ambos compuestos se combinan dando lugar a bicarbonato cálcico:



Este bicarbonato es muy soluble, pero también muy inestable y sensible a la presión.

- Cuando el agua cargada de bicarbonato llega al dren, pierde súbitamente presión, y precipita el insoluble carbonato cálcico en las paredes de aquél.

- Conviene apuntar que, aunque en menor medida, también se deposita carbonato magnésico CO_3Mg previamente disuelto en el agua ácida en forma de bicarbonato magnésico:



Se comprueba de esta manera, que el cemento que se inyectó en las diaclasas, inexorablemente se va disolviendo, a velocidades variables, en el agua de filtración. Cuanto mayor sea la superficie específica expuesta de cemento, al agua, y cuanto mayor sea la capacidad de disolución de ésta, más rápida será la degradación de la pantalla.

Por lo tanto, aunque la red de drenaje de la presa haya sido ejecutada de manera correcta, al cabo del tiempo, comienza a perder efectividad, debido tanto a la acumulación de material de arrastre como a la formación de concreciones calcáreas, lo que puede llevar incluso a una completa obturación de la red. En términos generales se podría considerar que es razonable pensar en efectuar una rehabilitación de la red de drenaje cada 15 años, que es el momento en que puede haber perdido el 50% de su capacidad inicial. En la Fig. 1 se aprecia en un caso concreto, la disminución de la efectividad de un dren, en función del tiempo, expresado en % de su aforo inicial. Algunos picos puntuales superan el 100 % inicial y corresponden a meses fríos y cotas muy altas de embalse.

La pérdida de eficacia de los sistemas de drenaje de diferentes presas estudiadas, con el paso de los años, se puede representar, con suficiente aproximación, por una curva logarítmica, situando en abscisas el tiempo expresado en años y los caudales en ordenadas. Si se le atribuye un valor de 100 a los caudales medios obtenidos a partir del primer año de funcionamiento de los drenes, la expresión del caudal al cabo de t años sería el siguiente: $Q = 100 - A \cdot \ln(t)$

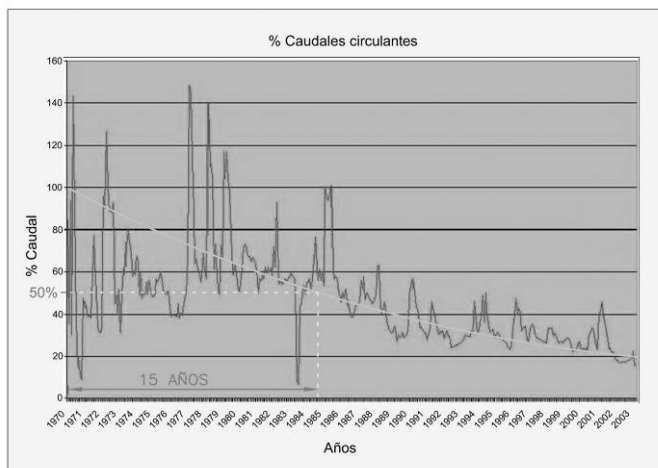


Fig. 1. Histórico típico de aforos en drenes en una presa a lo largo de más de treinta años. Los picos superiores corresponden con cotas máximas de embalse y tiempo muy frío. Por el contrario los valles son épocas estivales de sequía. Se ha superpuesto la curva logarítmica de valores medios.

2. TECNOLOGÍAS DE REHABILITACIÓN.

Se basan en la eliminación de las películas y depósitos en las paredes laterales del taladro, que frenan el flujo de agua al dren. Paralelamente, se debe proceder a la eliminación de tapones que lo cieguen totalmente y, como consecuencia, lo anulen por completo. Además de las razones anteriormente expuestas para entender la pérdida adicional de eficacia en los drenes perforados a rotopercusión, hay que resaltar que es bastante normal que, debido precisamente a la metodología de ejecución, existan incrustaciones de partículas duras en zonas más blandas del terreno que, ya desde el momento de su ejecución, limitan de forma notable su capacidad drenante.

Tradicionalmente, como método de rehabilitación se usan sistemas mecánicos análogos a los utilizados para ejecutar inicialmente el propio dren, siendo la perforación a rotación y rotopercusión los habitualmente empleados.

3. ROTOPERCUSIÓN

Es similar a la rotopercusión empleada en la ejecución de los drenes. Consiste en el empleo de martillo con diámetro de cabeza idéntica a la del taladro inicial, teniendo especial cuidado de que ésta no esté afectada por desgaste para garantizar un buen barrido de las paredes del taladro. Cuando el taladro original fue realizado a rotopercusión, y se hace la rehabilitación por el mismo sistema, surgen problemas como: desviación del taladro, deformación de la sección y reducciones de su diámetro. (Fig. 2). Esto suele acarrear importantes problemas con la reperforación, que obligan generalmente, a disminuir el diámetro de la cabeza, con la consecuente merma de eficacia de la rehabilitación. La eficacia final alcanzada puede llegar a ser escasa. El método resultará efectivo en la zona de terreno más próxima a la pared del dren, pero no tendrá efecto alguno a medida que se aleja de ella.

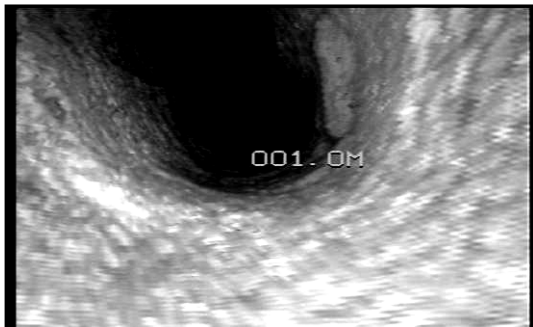


Fig.2. Ejemplo de deformación de un dren realizado a rotopercusión.

4. ROTACIÓN

El sistema de limpieza a rotación emplea los mismos medios que para la perforación, sustituyendo la corona de perforación por una cabeza ciega, o trialeta, de aspecto similar a las empleadas para la perforación a destroza (Fig. 3). La ventaja de este sistema respecto al anterior es que va realizando un auténtico fresado del interior del taladro, regularizándolo y eliminando parte de las esquirlas que pudieron quedar incrustadas en el momento de la

ejecución del dren. Es notablemente más eficaz, por lo tanto que la reperforación a rotopercusión, siendo su precio, en este caso, similar.

Tiene, sin embargo los mismos inconvenientes de dificultad para seguir las desviaciones originales del dren, así como necesidad de ir reduciendo el diámetro de la trialeta, si el del dren también lo hace. Además, aunque consigue abrir atascos y descalcificar las paredes del dren, no limpia más allá de su propio diámetro.

La maquinaria necesaria para realizar el trabajo a rotación, como ocurre en el caso de la rotopercusión, puede presentar dificultades en galerías de reducidas dimensiones o de difícil acceso.

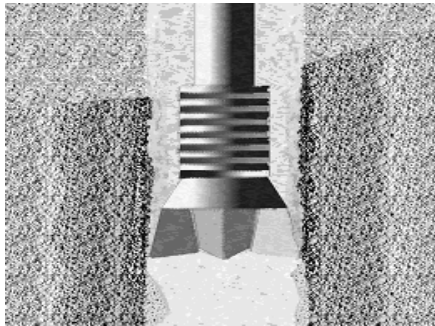


Fig. 3. Limpieza a rotación con trialeta.

5. LIMPIEZA QUÍMICA

Para reducir los depósitos de carbonatos de los drenes, puede rellenarse el dren con una mezcla de agua y ciertos productos químicos que, tras actuar durante un tiempo más o menos largo, ayudan a desatascar los taladros y mejorar su rendimiento. Finalizado este proceso, se introduce una manguera hasta el fondo del dren y se bombea agua a baja presión con gran caudal, lo que provoca la salida de materiales sueltos.

La limpieza química presenta, sin embargo, serios inconvenientes:

- Escaso rendimiento: más etapas o más tiempo de permanencia de la mezcla en el interior del dren supone una mayor limpieza, pero a un coste superior.
- Escasa efectividad: en la composición de los productos químicos utilizados suelen figurar ácidos de diversos tipos, pero, en general, naturales y biodegradables (láctico, cítrico, etc.) por lo que su utilización no representa, en principio, agresión al medio ambiente.
- Sin embargo, su capacidad para disolver concentraciones calcáreas de gran espesor, y tapones de gran dureza, es muy cuestionable. No es admisible, por motivos ambientales, la inclusión en la mezcla de ácido sulfúrico o clorhídrico con el fin de acelerar la eliminación de dichos depósitos y mejorar el rendimiento.

6. AGUA A ALTA PRESIÓN

En los últimos tiempos, sin embargo, el desarrollo industrial de equipos de bombeo a alta presión ha permitido con éxito su empleo en presas, aportando la posibilidad de limpiezas intersticiales y capilares de los paramentos internos de drenes, y solventando los problemas que presentaban habitualmente las técnicas anteriormente mencionadas.

Se trata de un sistema nuevo, lanzado al mercado hace cinco años, de extraordinaria eficacia. Utiliza medios similares a los empleados en técnicas de hidrodemolición, con potentes equipos de bombeo de media-alta presión (500-1.500 bar.) combinados con importantes caudales (> 100 l/mn), que impulsan el agua de limpieza hasta toberas de alta resistencia que son introducidas en el interior del dren.

Los chorros de agua a alta presión, no solamente desincrustan las concreciones de carbonatos, sino que penetran en las diaclasas y redes de poros superficiales, efectuando una eficaz limpieza tanto de antiguos detritus como de los eventuales arrastres de finos (Fig.4). Además el flujo de agua ascendente arrastra la mayor parte de los sólidos desprendidos hacia la boca del taladro.

En los sistemas mecánicos de perforación, donde el trabajo consiste exclusivamente en alcanzar el fondo de dren, no se requieren grandes precauciones ni personal especializado. Sin embargo las labores de rehabilitación mediante agua a presión deben ser llevadas a cabo por un equipo altamente cualificado, ya que son múltiples las variables que repercuten directamente en la calidad final de la ejecución: tiempo de aplicación, tipología y diámetro de toberas, caudal y presión de trabajo, etc.

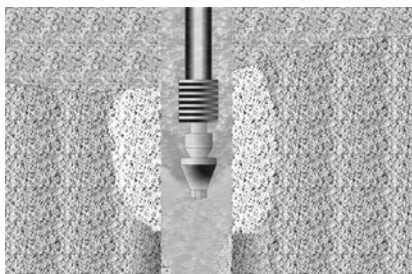


Fig. 4. Limpieza con chorro de agua alta presión. No solamente desincrusta las concreciones de carbonatos, sino que, a diferencia de los medios mecánicos, penetra en las diaclasas y medios porosos.

En lo referente a las toberas a emplear, resulta recomendable la alternancia de distintos tipos, en operaciones de limpieza sucesivas. Existen, a grandes rasgos, 2 familias. Por un lado, las denominadas “rompedoras”, que concentran un importante porcentaje del caudal en su zona frontal, lo que permite su avance hasta el final de la perforación, eliminando tapones e importantes obstrucciones. Su finalidad es principalmente garantizar la introducción de posteriores toberas en toda la longitud del dren, llevando a cabo una primera limpieza de los paramentos (Fig. 5)

Por otra parte, y para efectuar la limpieza completa de las paredes, se recurre, en una segunda operación, al repaso del dren mediante toberas que primen la salida de caudal hacia los laterales, obteniéndose este efecto

mediante una distribución homogénea de un importante número de salidas fijas de agua (hasta 20), o mediante toberas rotatorias con giro a distintas velocidades. (Fig. 6).



Fig. 5. (Izquierda).Tobera de chorro frontal o rompedora. Los chorros laterales sirven para ayudar en el avance.

Fig. 6. (Derecha).Tobera limpiadora de 20 chorros laterales fijos.

El sistema no presenta problemas en adaptarse a irregularidades del taladro, al tratarse de mangueras semi-rígidas, de reducido diámetro, capaces de seguir las eventuales sinuosidades de la directriz del dren. Dado que los voluminosos equipos (Fig. 7) se sitúan fuera de la presa y que las mangueras pueden tener longitudes de centenares de metros, sin merma para la eficacia del trabajo, este sistema permite su empleo en galerías de reducidas dimensiones o de difícil acceso.



Fig. 7. Camiones motobomba . Izquierda de HCC y derecha del Parque de Maquinaria

Una vez concluida la limpieza, se bombea agua limpia desde el fondo del dren, a baja presión y gran caudal, lo que permite la extracción de los detritus generados por el chorro a alta presión (Fig. 8).



Fig. 8. Extracción del detritus depositado en el fondo del dren tras la limpieza. Se aprecia la gran cantidad de materia sólida que se consigue desprender y eliminar del dren.

7. CONTROL Y TRAZABILIDAD DEL SISTEMA.

Obviamente, la medición de los aforos antes y después de los trabajos, permite una evaluación estimativa de la aptitud del sistema elegido e, indirectamente, de su correcta ejecución. También es muy importante la inspección ocular del dren mediante cámaras de TV y equipos de filmación específicos, susceptibles de operar con decenas de metros de columna de agua, y con elementos de blindaje de cabezales que permitan su empleo en duras condiciones de trabajo (Fig. 9).



Fig. 9. Introducción de la manguera con mini cámara en un dren para su inspección

La perfecta identificación de la profundidad de las obstrucciones, tapones de carbonatos, desviaciones importantes del dren en el momento de su realización a rotopercusión, reducciones del diámetro, etc., son posibles gracias a la inspección previa de los drenes con cámara de televisión, con sobreimpresión de posición de la cámara y grabación digital (Fig. 10).

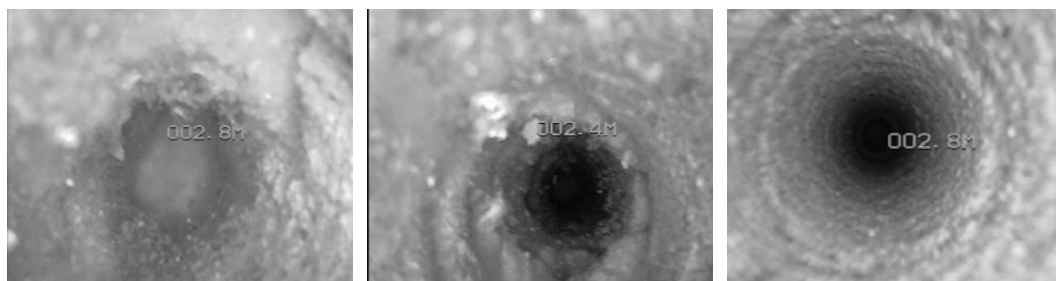


Fig. 10. Imágenes obtenidas con la cámara de TV.

Izquierda, zona taponada en un dren.

Centro, el mismo dren, una vez deshecho el tapón con tobera rompedora.

Derecha, aspecto final, una vez rehabilitado.

La verificación de los aforos, conjuntamente con la inspección con cámara de televisión después de la rehabilitación de los drenes, asegura la correcta restitución de la funcionalidad de los mismos. El tercer factor de control de la ejecución es el peso de la materia sólida recuperada. Se consiguen hasta un 5 % de materia sólida por litro de aguas de limpieza, lo que supone eliminaciones superiores a 1 Kg/m de dren rehabilitado, lo que da una idea de la efectividad del sistema. Finalmente, y como cuarto factor de control, si existe una correcta red de piezometría aguas abajo de la de drenaje, detectará, en tiempo real el efecto de la limpieza, marcando una disminución de la subpresión.

Esta nueva tecnología permite llevar a cabo una limpieza hasta grado intersticial del interior de los drenajes, mediante equipos de alta presión y gran caudal, derivados del campo de la hidrodemolición, alternando o combinando dicho sistema con el empleo de procesos mecánicos habituales, en función de las necesidades o dificultades que pueda presentar la rehabilitación de la conducción, a fin de garantizar la posibilidad de actuación independientemente de los imprevistos que puedan surgir.

8. PROCEDIMIENTO

El sistema consta de distintas fases. Entre las iniciales está la recogida de datos de aforos y subpresiones, el análisis de históricos, el estudio del terreno a través de la información disponible o ejecutando sondeos previos, el desmontaje de tuberías o aforadores existentes así como la filmación y grabación íntegra del estado original de cada dren. Una vez analizadas la grabaciones, la estratigrafía del terreno y la cota del contacto hormigón-roca, se preparan los cuadernos de órdenes, donde se recogen, para cada dren, la metodología a emplear, los puntos de control, las precauciones a tomar, los tipos de toberas, el número de pasadas, la velocidad de trabajo, etc..

En la primera inspección con la cámara se pueden localizar obstrucciones totales del dren, como la que se aprecia en la Fig. 10. La sobre-impresión indica la distancia del tapón a la boca del dren, lo que facilita su localización posterior cara a su eliminación. Generalmente la aplicación de una boquilla rompedora es suficiente para perforarlo y permitir el paso, posteriormente de la boquilla de limpieza lateral. Si no se consiguiera con agua a alta presión, siempre se cuenta a pie de tajo con sondas mecánicas tradicionales para la perforación del tapón.

Una vez superado el tapón se puede continuar la inspección del dren. Se observa en el fotograma adjunto que las paredes se encuentran recubiertas de una importante capa de depósitos de carbonatos. Es el momento de dar una nueva pasada con una cabeza de chorros fijos o rotatorios radiales que incidan perpendicularmente a los depósitos. Cuando se ha hecho circular la cabeza limpiadora por la totalidad del dren, se realiza un aforo y se vuelve a efectuar una nueva inspección y grabación con cámara. Se rellena un parte por cada dren, anotando el estado tras la limpieza, indicando las zonas donde pudieran haber quedado aún restos de concreciones. Si hubiera zonas importantes con bajo nivel de efectividad del primer tratamiento, se volverá a dar una siguiente pasada de limpieza, aumentando el binomio presión-caudal, y eventualmente cambiando el tipo de cabezal, para conseguir un efecto más enérgico del conjunto. Una nueva inspección con cámara así como los datos de aforos y subpresiones aguas abajo, garantizan la bondad del trabajo efectuado.

Los materiales extraídos son recuperados, pesados y analizados, ocupándose una empresa especializada de su correcta gestión medioambiental. Posteriormente se realiza un informe que recoge los pormenores del trabajo, los controles de aforos y su comparación con épocas de condiciones de embalse y temperatura similares en años anteriores, los partes de inspección de los vídeos, así como los propios vídeos.

9. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

En los trabajos realizados hasta la fecha, se aprecia un excelente resultado visual de limpieza, una recuperación global de caudales, superior, en muchos casos, al 100 % de los iniciales en el conjunto de la presa, antes de la rehabilitación, así como un reparto más uniforme en drenes contiguos (Fig.11).

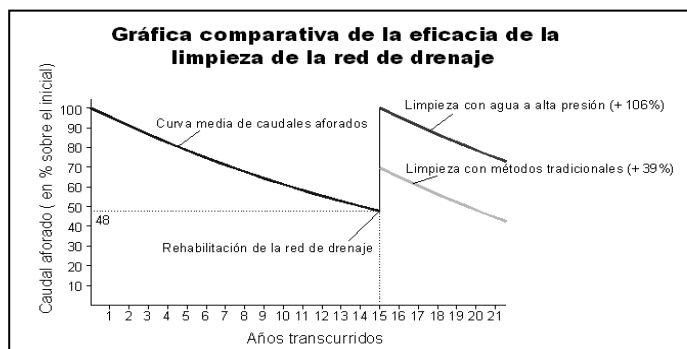


Fig. 11. Gráfico comparativo de la efectividad del tratamiento con agua a alta presión con respecto a métodos tradicionales.

El sistema está protegido por una patente mundial, aunque HCC ha firmado con el Parque de Maquinaria un convenio de colaboración, por el que licencia a éste a su uso en su ámbito de competencia. Se puede concluir que, además de tener una efectividad notablemente mayor, y requerir un tiempo de ejecución inferior, esta tecnología tiene un coste sensiblemente menor a la tradicional con trialeta, por lo que resulta netamente más eficiente. Por ello, se ha convertido en el estándar de rehabilitación de drenes de las empresas eléctricas, la Agencia Catalana del Agua, Emasesa, o el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. En estos cinco años de vida, ya se han rehabilitado más de una treintena de presas en España, cuyo listado se acompaña.

PRESA	AÑO	PROP.	EJE.		PRESA	AÑO	PROP.	EJE.
Torrejón Tiétar	2003	IBERDROLA	HCC		Alsa	2006	VIESGO	HCC
Torrejón Tajo	2003	IBERDROLA	HCC		La Ribeira	2006	ENDESA	HCC
Alcántara	2004	IBERDROLA	HCC		La Minilla	2007	EMASESA	HCC
Caspe	2004	ENDESA	HCC		Boadella	2007	ACA	HCC
Ribarroja	2004	ENDESA	HCC		Rialb	2007	CH. EBRO	PQM
Mequinenza	2004	ENDESA	HCC		Santa Uxía	2007	FERRAT.	HCC
Ricobayo	2005	IBERDROLA	HCC		Bembézar	2007	CH GUADAL.	PQM
Villalcampo	2005	IBERDROLA	HCC		Fervenza	2007	FERRATL.	HCC
Pedro Marín	2005	ENDESA	HCC		C.H. Oliana	2008	ENDESA	HCC
Meicende	2006	U. FENOSA	HCC		Sobradelo	2008	IBERDROLA	HCC
Eirós	2006	ENDESA	HCC		S.Esteban	2008	IBERDROLA	HCC
Cernadilla	2006	IBERDROLA	HCC		San Pedro	2008	IBERDROLA	HCC
Chandreja	2006	IBERDROLA	HCC		Zújar	2008	CH GUAD.	PQM
Edrada	2006	IBERDROLA	HCC		CH S. Esteb.	2008	IBERDROLA	HCC
Guijo	2006	IBERDROLA	HCC		Saucelle	2008	IBERDROLA	HCC
Riaño	2006	CH. DUERO	PQM		Tanes	2008	HIDROCANT	HCC
Las Portas	2006	IBERDROLA	HCC		Salime	2008	SALT.NAVIA	HCC
Bao	2006	IBERDROLA	HCC		La Barca	2008	HIDROCANT	HCC