

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos

Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente



TESINA DE MÁSTER

---

PARAMETRIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PRESAS  
DE MATERIALES SUELTOS, LA SOTONERA (T.M. DE ALCALÁ  
DE GURREA, PROVINCIA DE HUESCA) Y MAIDEVERA (T.M. DE  
ARANDA DEL MONCAYO, PROVINCIA DE ZARAGOZA),  
PERTENECIENTES A LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL EBRO,  
VINCULADO A LOS POTENCIALES MODOS DE FALLO

---

Valencia, Octubre de 2009

Autor: Luis Gerardo Chaparro Carrasquel

Director: Ignacio Escuder Bueno

*A mis Padres.*

## **Agradecimiento**

A todos quienes de alguna u otra manera me han su brindado apoyo en la elaboración de este trabajo. Entre ellos:

- Mis padres y hermanos, por brindarme todo su apoyo desde el primer momento.
- Luis García, mi amigo, compañero de estudio y trabajo.
- Mis amigos y colegas del grupo ipresas, Javier Fluixa, José María Carrillo, Ana Vilaplana y Armando Serrano.
- Dr. Ignacio Escuder, director de la tesis.

A todos, mi sincero agradecimiento.

## Resumen

Al hablar de comportamiento de presas, y en particular, de materiales sueltos, es posible destacar dos características muy determinantes en ellas: los niveles de saturación y los grados de deformabilidad. Concretamente, el seguimiento a esta evolución determina el correcto funcionamiento de la misma, de ahí la importancia de la auscultación, y sobretodo del juicio ingenieril en el análisis de la información.

El planteamiento seguido en esta tesis para el estudio del comportamiento tomó como punto de partida las exigencias de la normativa vigente (art. 33.2, RTSPE), y usó como herramienta de apoyo un análisis de tipo estadístico, para de esta manera poder evaluar el estado del comportamiento de la presa.

Un análisis de tipo cualitativo de modos de fallo (M.F.) vinculado a este tipo de estudio de comportamiento permitió añadir a su vez un peso importante desde el punto de vista de la seguridad, ya que éste entrega nuevos argumentos al propietario de presa al momento de tomar decisiones precisas sobre el sistema.

Las bases sobre las cuáles se centra el estudio de M.F. parten de las investigaciones desarrolladas por FERC [6] y Membrillera [7]; las ideas de estos autores fueron recogidas y plasmadas en un protocolo que describe los pasos a seguir para alcanzar con éxito el proceso de identificación de M.F.

Aunado a este protocolo, la elaboración de una herramienta genérica capaz de cubrir los M.F. que normalmente ocurren en esta tipología de presas, refuerza aún más su objetivo al vincular los M.F. con el sistema de auscultación típicamente instalado en presas de esta tipología.

En el caso de la presa de La Sotonera y la presa de Maidevera, ambas pertenecientes a la C.H.E., se puede ver cómo la aplicación de las metodologías esbozadas anteriormente le da un carácter mucho más amplio, al estado actual de seguridad. En ambas presas se desarrolló un informe de comportamiento a partir de los datos de auscultación disponibles, complementándolos a su vez con los posibles M.F., identificados según el protocolo y la herramienta de M.F.

El resultado de este estudio conjunto permitió por un lado parametrizar el comportamiento de gran parte de los instrumentos de cada presa, y por el otro, permitió relacionar a éstos con los M.F. identificados en el sistema. En esencia, un comportamiento distinto al esperado según los modelos estadísticos revelaría el eventual inicio o desarrollo de un M.F. y a su vez permitiría, teóricamente, la detección y posible intervención sobre el sistema.

## **Abstract**

Assessing the behavior of an earthfill dam is important to distinguish two essential features: the saturation levels and the degree of settlement of the dam itself. Good dam instrumentation and an appropriate engineering judgment of the data gathered will ensure a satisfactory operation of the dam.

This thesis followed the guidelines established in the current law (art. 33.2, RTSPE) and with the support of a statistical analysis tool, behavior of the dam was analyzed.

A qualitative assessment of the failure modes link to the analysis of the behavior the dam, permitted to add an greater weight to the dam security. This analysis could give to the dam owner more arguments in the decision making process about the system.

The failure mode analysis was supported by the research developed by FERC [6] and Membrilla [7]. The concepts developed by these authors where gathered and put into practice in a protocol which describes the steps needed to identify the failure modes in a dam.

In addition to this protocol, a generic tool was developed which includes the most distinguishable failure modes of the dam. This tool will strengthen the assessment of the dam as it links the instrumentation system to the failure modes.

In La Sotonera and Maidevera dams, both owned by C.H.E., was implemented the previous methodologies. These methodologies complemented the actual safety of the dam, made by classical analysis, a broader character. In both dams a report of the behavior of the dam was developed from the instrumentation data, and the reports were complemented with the most probable failure modes, identified by the protocol and the generic tool.

This research allowed us to parameterize the behavior of most of the dam data gathered by the instrumentation and related them to the failure modes identified by the system. In general, a different behavior of the data to the expected one once the statistical análisis is done could reveal the development of a failure mode, which could lead to the detection of the mechanism and the possible intervention of it.

## Resum

Al tractar de comportament de preses, i en particular, de materials solts, és possible destacar dos característiques molt determinants en elles: els nivells de saturació i els graus de deformació. Concretament, el seguiment d'aquesta esta evolució determina el correcte funcionament de la mateixa, d'ací la importància de l'auscultació, i sobretot del juí ingenieril en l'anàlisi de la informació.

El plantejament seguit en esta tesi per a l'estudi del comportament va prendre com a punt de partida les exigències de la normativa vigent (art. 33.2, RTSPE), i va usar com a ferramenta de suport una anàlisi de tipus estadístic, i així manera poder avaluar l'estat del comportament de la preses.

Una anàlisi de tipus qualitatiu de modes de fallida (M.F.) vinculat a este tipus d'estudi de comportament va permetre afegir al seu torn un pes important des del punt de vista de la seguretat, ja que planteja nous arguments al propietari de preses a l'hora de prendre decisions precises sobre el sistema.

Les bases sobre les quals se centra l'estudi de M.F. partixen de les investigacions desenrotllades per FERC [6] i Membrillera [7]; les idees d'estos autors van ser arreplegades i plasmades en un protocol que descriu els passos a seguir per a aconseguir amb èxit el procés d'identificació de M.F.

Unit a este protocol, l'elaboració d'una ferramenta genèrica capaç de cobrir els modes de fallida que normalment ocorren en esta tipologia de preses, reforça encara més el seu objectiu al vincular els M.F. amb el sistema d'auscultació típicament instal·lat en preses d'esta tipologia.

En el cas de la preses de La Sotonera i la preses de Maidevera, ambdós pertanyents a la CHE, es pot vore com l'aplicació de les metodologies esbossades anteriorment li dóna un caràcter molt més ampli, a l'estat actual de seguretat. En ambdós preses es va desenrotllar un informe de comportament a partir de les dades d'auscultació disponibles, complementant-los al seu torn amb els possibles M.F., identificats segons el protocol i la ferramenta de M.F.

El resultat d'este estudi conjunt va permetre d'una banda parametrizar el comportament de gran part dels instruments de cada preses, i d'una altra, va permetre relacionar a estos amb els M.F. identificats en el sistema. En essència, un comportament distint a l'esperat segons els models estadístics revelaria l'eventual inici o desenrotllament d'un M.F. i al seu torn permetria, teòricament, la detecció i possible intervenció sobre el sistema.



# Índice

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL COMPORTAMIENTO EN PRESAS DE MATERIALES SUELTOS</b>	<b>4</b>
2.1. COMPORTAMIENTO Y AUSCULTACIÓN EN PRESAS DE MATERIALES SUELTOS	4
2.2. PARAMETRIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A PARTIR DE LOS DATOS DE AUSCULTACIÓN	5
2.3. LOS INFORMES ANUALES DE COMPORTAMIENTO	7
<b>3. MODOS DE FALLO EN PRESAS DE MATERIALES SUELTOS</b>	<b>10</b>
3.1. LOS MODOS DE FALLO EN SISTEMAS PRESA-EMBALSE	10
3.2. ESTUDIOS PRECEDENTES AL ANÁLISIS CUALITATIVO DE MODOS DE FALLO	11
3.2.1. <i>Federal Energy Regulatory Commission (FERC). Engineering Guidelines for the Evaluation of Hydropower Projects, Chapter 14. Dam Safety Performance Monitoring Program. 2005.</i>	11
3.2.2. <i>Manuel Membrillera, 2007, Contribución a la Aplicación del Análisis y Declaración de Riesgos en Presas Españolas, Incluyendo Priorización de Inversiones. Capítulo 5, Propuesta para el desarrollo de un programa complementario de seguridad en el contexto español basado en el análisis de riesgos.</i>	12
3.3. PROTOCOLO PARA EL ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO EN SISTEMAS PRESA-EMBALSE	15
3.4. HERRAMIENTA COMPLEMENTARIA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO EN PRESAS DE MATERIALES SUELTOS	18
3.4.1. <i>Definición de modos de fallo con el uso de la herramienta</i>	22
<b>4. CASOS DE ESTUDIO, PRESA DE LA SOTONERA (HUESCA) Y PRESA DE MAIDEVERA (ZARAGOZA)</b>	<b>25</b>
4.1. APLICACIONES	25
4.1.1. <i>Presa de la Sotonera. Informe Anual de Auscultación. Comportamiento de la presa en el período comprendido entre los días 01.11.91 y 31.12.08</i>	27
4.1.2. <i>Cuadro Resumen de los Aspectos más Relevantes del Informe Anual de Auscultación de la Presa de la Sotonera. Período 01.11.91 al 31.12.08</i>	86
4.1.3. <i>Protocolo para el Análisis de Modos de Fallo en Sistemas Presa Embalse</i>	87
4.1.4. <i>Presa de Maidevera. Informe Anual de Auscultación. Comportamiento de la presa en el período comprendido entre los días 01.09.03 y 31.12.08</i>	103

4.1.5. Cuadro Resumen de los Aspectos más Relevantes del Informe Anual de Auscultación de la Presa de Maidevera. Período 01.09.03 al 31.12.08	165
4.1.6. Protocolo para el Análisis de Modos de Fallo en Sistemas Presa Embalse	166
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>178</b>
5.1. Conclusiones derivadas del informe anual de comportamiento	178
5.2. Conclusiones referentes al protocolo de identificación de modos de fallo	184
5.3. Conclusiones sobre la herramienta para la identificación de modos de fallo	184
5.4. Conclusiones sobre los modos de fallo identificados en el sistema presa-embalse	184
5.5. Recomendaciones generales	187
<b>6. REFERENCIAS</b>	<b>192</b>
<b>APÉNDICES</b>	
A. ANEJOS DEL INFORME ANUAL DE COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE LA SOTONERA	194
A.1. Anejo nº 1. Planos	196
A.2. Gráfico de las Variables Auscultadas	211
A.3. CD con la Base de Datos	230
A.4. Documentación Fotográfica	234
A.5. Informe del Estado del Sistema de Auscultación de la Presa de la Sotonera	244
A.6. Modelación Estadística de los Datos de Auscultación	263
A.7. Visita a la Presa	368
A.8. Documentación Relativa a la Auscultación	372
B. ANEJOS DEL INFORME ANUAL DE COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE MAIDEVERA	375
B.1. Anejo nº 1. Planos	377
B.2. Gráfico de las Variables Auscultadas	388
B.3. Listado de los Datos de Auscultación Obtenidos hasta Diciembre de 2008	407
B.4. Documentación Fotográfica	409
B.5. Informe del Estado del Sistema de Auscultación de la Presa de Maidevera a fecha 31.12.2008	422
B.6. Modelación Estadística de los Datos de Auscultación	446
B.7. Visita a la Presa	504
B.8. Documentación Relativa a la Auscultación	508
C. PROTOCOLO PARA EL ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO EN SISTEMAS PRESA-EMBALSE.	512



# Capítulo I

## INTRODUCCIÓN

Las grandes infraestructuras de presas constituyen un potente beneficio hídrico para la sociedad desde hace ya miles de años, representan además un riesgo ineludible que permanece latente en mayor o menor medida a lo largo de su vida útil. Éste último punto es precisamente el centro de apoyo sobre el cual giran los cálculos, diseños y técnicas constructivas que dan vida a estas obras, ya que todos apuntan, como es de pensar, a niveles de seguridad cada vez más exigentes.

En algunos países punteros, la gestión integral de la seguridad de las presas trata de ir más allá del enfoque tradicional, ya que busca entregar al propietario de presa nuevos argumentos para la toma de decisiones, complementando así el análisis clásico indiscutiblemente necesario. Parte fundamental de ello lo constituyen los potenciales modos de rotura o fallo, *y de forma abreviada M.F.*, que puedan ser identificados en los sistemas presa-embalse, ya que estos determinan los puntos vulnerables presentes en el sistema.

Sobre el planteamiento anterior se centra el desarrollo de este trabajo, más específicamente, el objetivo de esta tesis trata del análisis del comportamiento en presas de materiales sueltos y su vinculación con los modos de rotura, siendo la clave de esta conexión, la elaboración de una estructura general con los casos típicos de rotura, relacionados a su vez con la instrumentación normalmente instalada en este tipo de presas.

La estructura trazada se orienta bajo un esquema que contempla en primer lugar un capítulo (capítulo II) dedicado a la revisión de las metodologías de estudio del comportamiento de presas de materiales sueltos, dejando ver la importancia tanto de la auscultación como de la parametrización del comportamiento. Adicionalmente se

expone un modelo de elaboración de informes de comportamiento, cuya base se centra en las exigencias de la normativa vigente.

En el capítulo III, se tratan las ideas fundamentales del análisis cualitativo de los potenciales modos de rotura, las cuales forman bases en el desarrollo de un protocolo para llevar a cabo un proceso de identificación de M.F. Por otro lado, se propone en este apartado una herramienta de carácter genérico que vincula los modos de rotura típicos en presas de materiales sueltos con el sistema de auscultación, sirviendo de enlace entre el estudio del comportamiento y los modos de fallo que puedan ser identificados.

La aplicación de estas ideas se llevan a cabo en el capítulo IV, los casos de estudio han sido elaborados en dos presas de titularidad estatal pertenecientes a la Confederación Hidrográfica del Ebro C.H.E, presentando primeramente los estudios de comportamiento y posteriormente los posibles modos de fallo identificados en el sistema presa-embalse, aplicando en cada una las estructuras organizativas planteadas en los capítulos precedentes.

Por últimos se extraen en el capítulo V las conclusiones más importantes derivadas del estudio del comportamiento de cada una de las presas, y del análisis cualitativo de modos de fallo, comentando a su vez sobre las ventajas y aplicabilidad del protocolo y la herramienta para identificar modos de fallo.



## Capítulo II

### CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL COMPORTAMIENTO EN PRESAS DE MATERIALES SUELTOS

#### 2.1 Comportamiento y auscultación en presas de materiales sueltos.

Al hablar de comportamiento de presas, y en particular a lo que este trabajo refiere, presas de materiales sueltos, no es posible establecer un patrón único de comportamiento ya que cada caso es un estudio particular. Se entiende que al margen de una impermeabilidad necesaria en este tipo de obras se les exige además, una deformabilidad adecuada para evitar asentamientos diferenciales importantes, una resistencia al deslizamiento de taludes de acuerdo a las hipótesis de carga, y unos niveles de saturación conformes a la tipología de la presa.

El seguimiento asociado a este tipo de comportamiento debe y tiene que estar vinculado a la evolución de las filtraciones, al estudio de las presiones intersticiales y a las deformaciones que se desarrollan tanto en el cuerpo de presa como en cimentación, de modo que la auscultación asociada a estas variables sea lo más certera posible.

Los registros obtenidos mediante los sistemas de auscultación de presas son fundamentales para poder analizar su comportamiento y evaluar su seguridad. Sin embargo se deben considerar una serie de factores que pueden afectar a la calidad del dato medido, como son posibles incertidumbres sobre detalles de instalación de los equipos, el proceso de lectura de datos, el tipo de sensor y su estado de conservación. De hecho, las lecturas pueden ser mal interpretadas e incluso llevar a tomar decisiones equivocadas, lo que puede fomentar un cierto escepticismo relativo a los datos de auscultación. (Angel Núñez *et. al*, 2009 [1])

El estudio de los datos de auscultación permite además detectar comportamientos anómalos en la presa, de allí la importancia de acercar este proceso a un sistema práctico, preciso y fiable capaz de permitir un análisis global del comportamiento.

Se admite generalmente, que la seguridad de una presa, no depende solo de un buen proyecto y correcta ejecución, sino también hay que considerar la vigilancia, especialmente durante los primeros años de su explotación, y a lo largo de toda la vida de la misma. (CNEGP, Guía N° 7 [2]).

## **2.2 Parametrización del comportamiento a partir de los datos de auscultación.**

Básicamente puede entenderse como parametrización del comportamiento, al proceso en el cual se determina una ecuación matemática que describe el comportamiento de una variable controlada en la presa, la cual representa un modelo en el que es posible simular respuestas de la variable al cambiar los parámetros que rigen la ecuación.

Existen herramientas como la modelación estadística de los datos y la elaboración de modelos deterministas de comportamiento estructural que ayudan al análisis y permiten evaluar el comportamiento de la presa. Al mismo tiempo y si no se elaboran con el necesario criterio y rigor, los modelos pueden arrojar nuevas incertidumbres. (Angel Núñez *et. al*, 2009 [1])

El proceso de localización de comportamientos anormales en una presa exige conocer las leyes de respuesta de la misma frente a las acciones exteriores. Estas leyes se pueden obtener fundamentalmente por dos vías:

- Efectuando los cálculos teóricos para determinar la respuesta de la presa frente a las acciones exteriores actuantes: Supone conocidas las características mecánicas y geológicas de los materiales y las condiciones geométricas, e intenta obtener las funciones que relacionan los efectos y las causas.

- A través de métodos estadísticos: Permite prever los valores futuros de los parámetros de control en base a cálculos de tipo estadístico aplicados a los resultados obtenidos durante un determinado número de años de explotación.

La segunda opción en este caso es precisamente la que interesa, ya que esta orientada fundamentalmente cuando la presa se encuentra en fase de explotación y, por tanto con una historia conocida. Basa los resultados del modelo en datos reales, eliminando así la posibilidad de utilizar hipótesis erróneas, incluyendo además factores que podrían considerarse despreciables en un modelo determinista.

De esta manera es posible obtener una relación suficientemente estable y precisa entre las variables exteriores (nivel de embalse, precipitación y temperatura ambiente), y las variables de control registradas en la presa desde su puesta en funcionamiento (movimientos, presiones intersticiales, presiones totales, deformaciones etc.), permitiendo realizar una interpretación de la misma que, de otra forma podría tener un carácter especulativo, intuitivo o incluso erróneo.

De entre las numerosas herramientas existentes, la herramienta informática AUSMODEL, permite obtener las ecuaciones empíricas que rigen el comportamiento de cada variable de control de la presa en función del tiempo transcurrido desde una fecha origen. Estas ecuaciones proporcionan un sistema de control de los distintos parámetros medidos en la presa, poniendo de manifiesto los fenómenos anómalos que produzcan desviaciones respecto de lo esperado.

Es un programa de modelización estadística de datos de auscultación enfocado fundamentalmente a presas, desarrollado por OFITECO. Está especialmente concebido para el tratamiento de los datos históricos, el control y la previsión de los fenómenos relacionados con las presas, donde la complejidad en el manejo de las variables que intervienen hace imprescindible el apoyo de las herramientas informáticas. (Ofiteco, S.A., Ausmodel 1996 [3]).

### 2.3 Los informes anuales de comportamiento

Con la entrada en vigencia del actual Reglamento Técnico de Seguridad de Presas y Embalses (RTSPE), aprobado el 12 de marzo de 1996 por el entonces Ministerio de Obras Públicas de Transportes y Medio Ambiente, se hizo necesaria y obligatoria la redacción de un documento técnico que evaluase el estado del comportamiento de las presas de titularidad estatal. Tal y como menciona su Artículo 33.2 *“El Director de explotación redactará un Informe Anual en el que se recogerá los resultados de las inspecciones realizadas y de la auscultación. Este informe se incorporará al Archivo Técnico de la presa.”*, sin embargo no se determina ni el alcance ni la estructura en la que debe estar enmarcado este documento.

Sobre esta base se centra el trabajo elaborado por (Carlos Riera, 2008 [5]); este autor propone en su proyecto final de carrera (PFC) una metodología para la elaboración de los mencionados informes anuales, manteniendo la esencia principal acordada en el artículo 33.2 (RTSPE) y cuya estructura contempla:

#### MEMORIA

- a) Introducción y objeto
- b) Descripción de la presa:
- c) Características geológicas de la cerrada y el vaso del embalse
- d) Observaciones especiales.
- e) Descripción del sistema de auscultación instalado
- f) Situación actual del sistema de auscultación instalado
- g) Metodología para el análisis global del comportamiento de la presa.
- h) Análisis del comportamiento de la presa
- i) Conclusiones
- j) Programa de lecturas recomendado
- k) Recomendaciones

#### ANEJOS

- 1) Planos
- 2) Gráficos de las variables auscultadas
- 3) CD con la base de datos
- 4) Documentación fotográfica

- 5) Informe de estado del sistema de auscultación
- 6) Modelación estadística
- 7) Visita a la presa
- 8) Documentación relativa a la auscultación

Bajo este esquema de trabajo, el autor recoge los resultados de las inspecciones realizadas y de la auscultación, de manera que puedan identificarse las deficiencias del sistema y así proponer las acciones correctoras oportunas.

Dentro de los casos de estudio planteados en este proyecto final de carrera, el autor contempla el análisis preliminar del comportamiento de la presa de la Sotonera y de la presa Maidevera, con los datos de instrumentación disponibles hasta agosto de 2008.



# Capítulo III

## MODOS DE FALLO EN PRESAS DE MATERIALES SUELTOS

### 3.1 Los modos de fallo en sistemas presa-embalse

El análisis clásico de la seguridad de presas se ha regido tradicionalmente y de forma general, por la evaluación de coeficientes de seguridad y leyes teóricas que gobiernan los diseños estructurales, hidráulicos, geotécnicos, etc. Actualmente la gestión en materia de seguridad ha evolucionado a un ámbito integral de las partes que conforman el sistema presa-embalse, cuyo objetivo apunta al análisis de los potenciales modos de fallo.

Se entiende como modo de fallo, una secuencia particular de eventos que puede dar lugar a un funcionamiento inadecuado del sistema presa-embalse o una parte del mismo. Esta serie de sucesos debe estar asociada a un determinado escenario de sollicitación y tendrá una secuencia lógica; constará de un evento inicial desencadenante, una serie de eventos de desarrollo o propagación y culminará por la rotura de la presa.

En principio, se analiza cualquier modo de fallo con potencial para producir un vertido incontrolado de caudales y, por tanto, con potencial para causar daños sobre la vida humana, o en un determinado caso, ocasionar consecuencias económicas por pérdidas de misión. Así mismo, el análisis de los modos de fallo no se ciñe exclusivamente a las estructuras de retención de un embalse, sino que tiene en cuenta cualquier infraestructura incluida en el sistema presa-embalse.

### 3.2 Estudios precedentes al análisis cualitativo de modos de fallo

En este apartado se dan a conocer un par de investigaciones que han permitido entender la manera en que debe realizarse un estudio de M.F., dando pie a la elaboración de un protocolo que busca alcanzar con éxito un análisis de carácter cualitativo de M.F.

#### 3.2.1 Federal Energy Regulatory Commission (FERC). Engineering Guidelines for the Evaluation of Hydropower Projects, Chapter 14. Dam Safety Performance Monitoring Program. 2005

Esta agencia federal reguladora de energía de los Estados Unidos, tiene como objetivo la regulación del comercio energético y su distribución en el país. Este organismo ha llevado a cabo un programa de vigilancia al comportamiento de sus presas bajo el nombre de "Dam Safety Performance Monitoring Program". Éste consiste en una guía de criterios y procedimientos que permiten evaluar la seguridad de la presa desde el punto de vista de los modos de fallo, contemplando una estructura global enmarcada en:

- La creación de un archivo con documentación técnica relativa a la presa,
- El análisis de los Potenciales Modos de Fallo, y
- La elaboración de un plan de Inspección, Vigilancia y Auscultación.

De forma que la integración del análisis de los Potenciales Modos de Fallo con el plan de Inspección, Vigilancia y Auscultación, y el archivo con la documentación técnica, suponga un resultado más eficiente y efectivo al programa de gestión en materia de seguridad de presas. El programa establece para ello un proceso específico orientado a:

1. Crear un grupo de trabajo para el análisis de los Potenciales Modos de Fallo.
2. Recopilar toda la información y datos de la presa para que puedan ser revisadas por el grupo de trabajo.
3. Dialogar con el personal clave, encargados de presa y personal que haya participado en el proyecto de construcción de la obra.

4. Poner en conjunto el entendimiento de la información disponible.
5. Elaborar sesiones de identificación de los Potenciales Modos de Fallo (conducidas por un facilitador).
6. Considerar las medidas de reducción del riesgo y la vinculación con la vigilancia e inspección a los MF.
7. Documentar el trabajo realizado.

El modelo ha sido concebido y aplicado por esta agencia en presas de titularidad no estatal, cuya estructura ha sido plasmada en plantillas tipo con el objeto de hacer más práctica y sencilla la aplicación de la metodología.

- 3.2.2 Manuel Membrillera, 2007, Contribución a la Aplicación del Análisis y Declaración de Riesgos en Presas Españolas, Incluyendo Priorización de Inversiones. Capítulo 5, Propuesta para el desarrollo de un programa complementario de seguridad en el contexto español basado en el análisis de riesgos.

En este trabajo doctoral, (Manuel Membrillera, año 2007 [7]) presenta una metodología de trabajo cuyo objetivo se centra en realizar una gestión robusta de la seguridad de presas y embalses con bases en la declaración del riesgo, intentando con ello complementar y perfeccionar el enfoque tradicional en materia de seguridad. La figura N° 3.1 muestra el esquema sobre el cual el autor concibe este planteamiento.

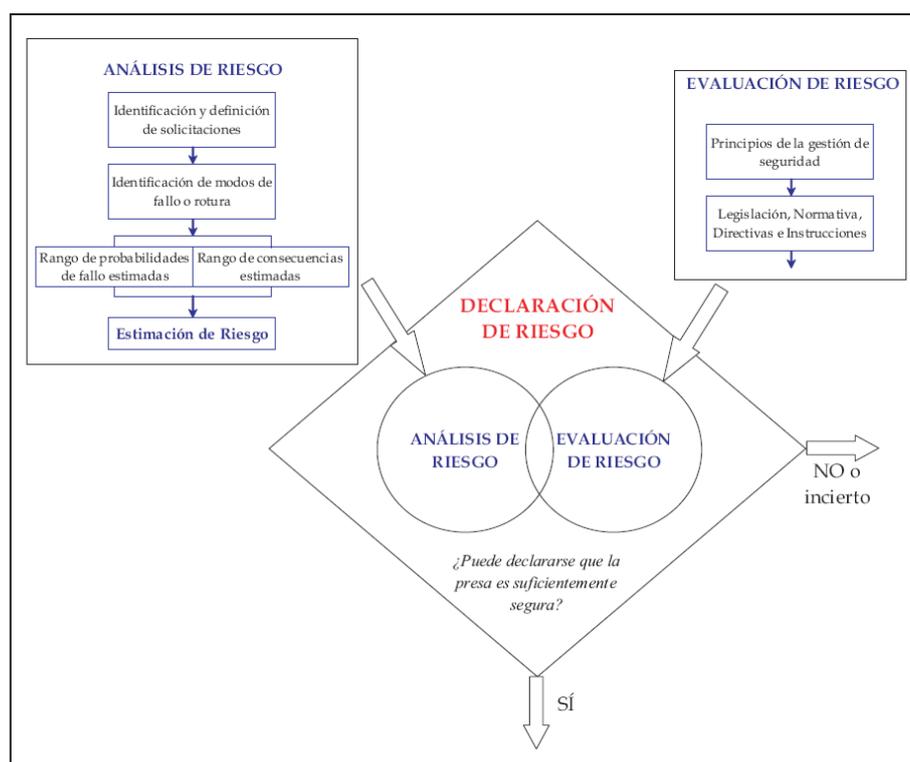


Figura Nº 3.1. Esquema general para la Gestión de Riesgos en presas. Fuente: M. Membrillera, 2007

La declaración del riesgo, según plantea el autor, tiene como objetivo: *“decidir si los riesgos existentes son tolerables así como determinar las medidas de control que resulten adecuadas. Para ello se parte de la caracterización llevada a cabo dentro del análisis de riesgos y, por otra parte, de la importancia asignada al riesgo estimado según la normativa vigente, en la evaluación de riesgos”*.

Para alcanzar este objetivo, el autor ha propuesto una metodología de trabajo basada en el análisis cualitativo de los potenciales modos de fallo, incorporando en ella todos los elementos del análisis de riesgos (identificación y definición de solicitaciones, identificación de modos de rotura o fallo, rango de probabilidades de fallo estimadas, rango de consecuencias estimadas y estimación de riesgo), y bajo el nombre de Programa Complementario basado en Análisis de Riesgos y, de forma abreviada, PCAR.

Fundamentalmente la propuesta busca conocer la manera en que una presa específica puede romper. *“Implica un proceso de identificación, análisis y descripción que aporta conocimiento sobre las solicitaciones, la potencial respuesta de la presa*

*Parametrización del Comportamiento de las Presas de Materiales Suelos, La Sotonera (T.M. de Alcalá de Gurrea, Provincia de Huesca) y Maidevera (T.M. de Aranda del Moncayo, Provincia de Zaragoza), pertenecientes a la Confederación Hidrográfica del Ebro, Vinculado a los Potenciales Modos de Fallo.*

como estructura y cualquier evento que justifique, en una presa concreta, la inclusión de un determinado modo de rotura. (Manuel Membrillera, 2007 [7]).”.

Las partes que conforma el Programa Complementario de seguridad basado en Análisis de Riesgos (PCAR) son:

- Designación y cometidos del Grupo de Trabajo (GT) responsable del PCAR.
- Recopilación, organización y entrega de la información necesaria.
- Análisis de los modos de rotura potenciales (PFMA).
- Trabajos de gabinete subsiguientes
- Comunicación de aspectos fundamentales y resultados
- Integración de los resultados del PCAR en los documentos que, en relación con la seguridad, contempla el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses.

Las fases anteriores quedan resumidas según el esquema de la figura N° 3.2,

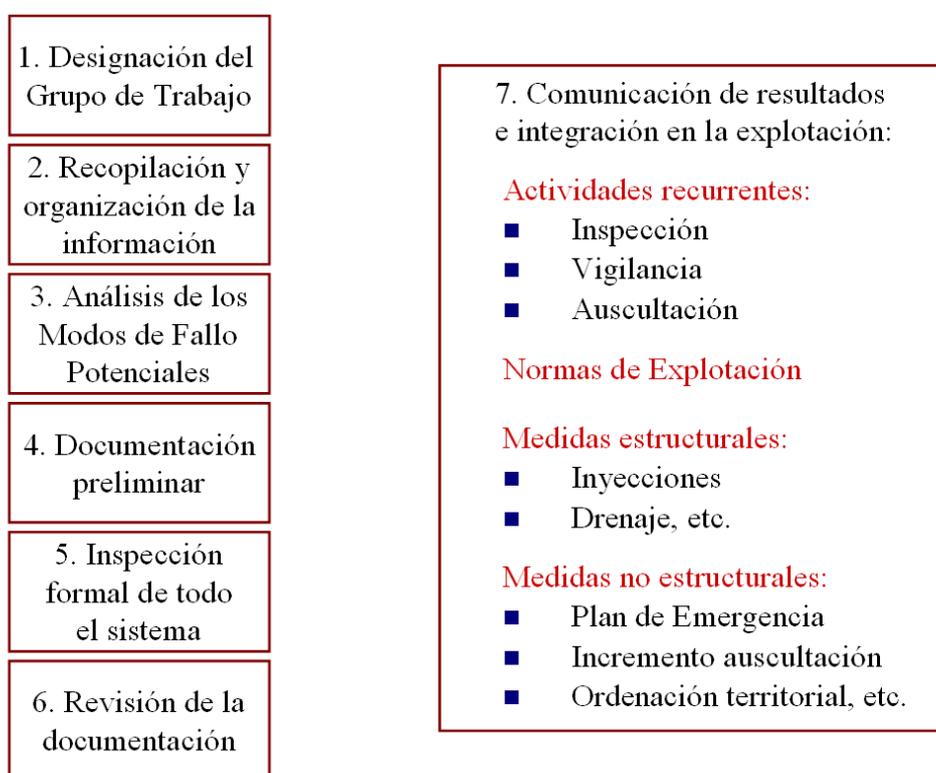


Figura N° 3.2. Fases del P.C.A.R. (fuente: M. Membrillera, año 2007)

### 3.3 Protocolo para el análisis de modos de fallo en sistemas presa – embalse.

Este documento, elaborado por este autor en conjunto con García Kabbabe L., viene a ser una adaptación de *FERC* y *PCAR*, ya que toma las ideas planteadas por estos autores y las transforma en una estructura práctica para el proceso de identificación de los Potenciales Modos de Fallo en sistemas presa-embalse. La figura N° 3.3. muestra el esquema en el que se encuentra concebido.

Se trata de un proceso de trabajo grupal, en el que es necesario contar con profesionales de distinta índole y sobretodo vinculados al sistema de presa en estudio, bajo la dirección de un facilitador que oriente a los participantes en el proceso de identificación.

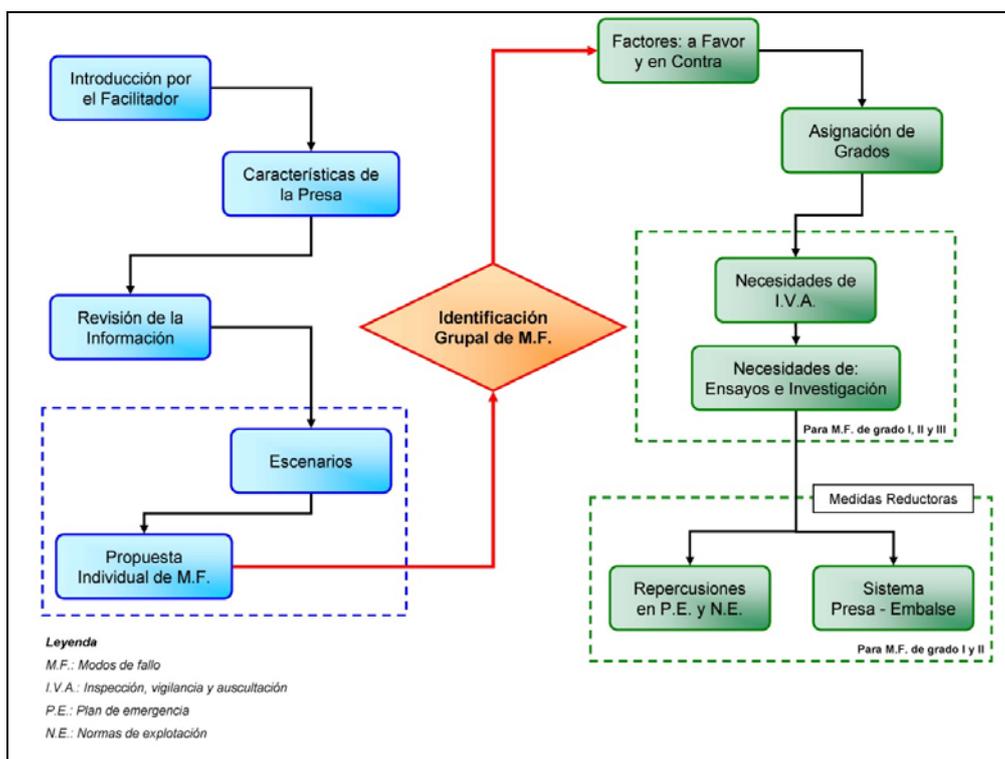


Figura N° 3.3. Secuencia para realizar un análisis de modos de fallo. Fuente: Protocolo para el Análisis de Modos de Fallo en Sistemas Presa-Embalse.

El Protocolo para la Identificación de Modos de Fallo, dentro de su estructura general plantea una secuencia de trabajo individual y otra grupal, y específicamente el documento se compone de:

1. Ficha técnica de la presa
2. Revisión y análisis de la información
3. Propuesta individual de modos de fallo
4. Factores a favor y en contra de la aparición de los modos de fallo grupales
5. Clasificación de modos de fallo grupales
6. Necesidades de actuación sobre modos de fallo grupales
7. Necesidades de reducción de vulnerabilidad
8. Notas y/o comentarios

Los puntos 1, 2 y 3 tienen carácter de individual y el resto grupal, de modo que:

- La Ficha Técnica de la Presa, constituye un resumen de los aspectos estructurales, hidráulico-hidrológicos, geotécnicos, entre otros, que son claves en el sistema presa-embalse.
- La Revisión y Análisis de la Información, conforma una exhaustiva revisión de la información técnica disponible, con miras a la visualización de puntos susceptibles en los que puede desarrollarse algún mecanismo de fallo.
- La Propuesta Individual de Modos de Fallo; pieza clave del protocolo, representa una comprensión individual de la información disponible, en la que cada participante someterá a debate cada uno de los modos de fallo identificados, y así poder establecer un consenso definitivo bajo la figura de modos de fallo grupales.
- Los Factores a Favor y en Contra, son los argumentos lógicos que dan peso a la ocurrencia o no de algún mecanismo de rotura.

- La valoración cualitativa para ponderar que modos de fallo resultan más o menos factibles que ocurran, se puede realizar según lo plantea (Manuel Membrillera, 2007 [7]). Esta evaluación se realiza mediante la siguiente clasificación.
  - Grado I: Modos de fallo que claramente se consideren factibles al existir alguna condición o estado sintomático detectado, resultar la serie de eventos probables e implicar consecuencias potenciales importantes.
  - Grado II: Modos de rotura considerados igualmente factibles, aunque con menores posibilidades de ocurrir o consecuencias reducidas.
  - Grado III: Modos de fallo para los que la información disponible resulta, a todas luces, insuficiente aunque se estiman factibles y con consecuencias potenciales de magnitud elevada. Requieren una campaña de investigación urgente.
  - Grado IV: Modos de rotura descartados y cuya aparición no se considera razonable.

De esta manera es posible establecer una priorización en los M.F. clasificados como grado I, II y III, identificando las necesidades de inspección, vigilancia y auscultación, o de ensayos e investigación en cada uno de ellos. En particular, para los grados I y II, y por ser más vulnerables, se identificarán medidas reductoras asociadas a los planes de emergencia, a las normas de explotación, o al propio sistema presa-embalse.

En el apéndice C del presente trabajo, se incluye una versión del protocolo en blanco, de modo que sirva de ilustración a lo expuesto anteriormente.

### **3.4 Herramienta complementaria para la identificación de modos de fallo en presas de materiales sueltos**

El proceso de identificación de mecanismos de rotura que impliquen el fallo del sistema presa-embalse no es inmediato, como ya se ha visto, es fundamental entender y visualizar que puntos son vulnerables y de que manera pueden dejar de ejercer su función.

Este apartado plantea una estructura organizativa que facilita el proceso de identificación de M.F. planteado en el apartado 3.3, de modo que ésta no sólo sirva de ayuda, sino que además valga de eslabón entre el sistema de auscultación instalado y los posibles modos de fallos detectados.

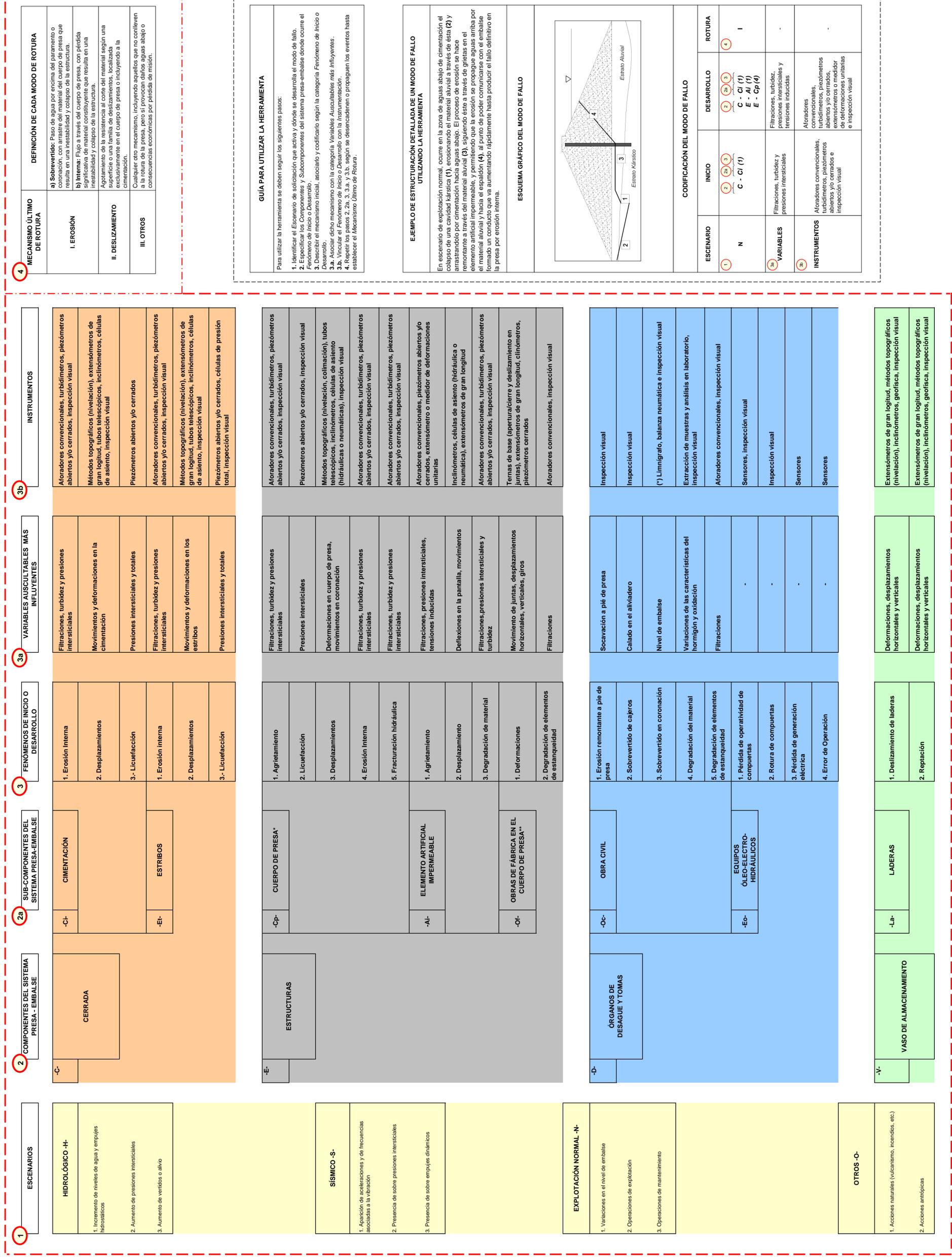
En relación a los tipos de fallos que pueden ocurrir en esta tipología de presas (materiales sueltos), resulta interesante ver, como distintos autores han planteado maneras en que estas estructuras pueden llegar a colapsar por completo, centrándose casi exclusivamente en el proceso último que desencadena el fallo. Éste es precisamente el punto sobre el cual se centra el desarrollo de la herramienta, ya que ésta intenta englobar los casos típicos de rotura o fallo.

La clave para la elaboración de ésta herramienta, se centra en la metodología planteada por (R. Fell et al, año 2004 [8]), este autor entiende que el proceso para definir el M.F. consiste en identificar: la zona y el fenómeno de inicio desencadenante (p.ej. una filtración concentrada en el núcleo impermeable), la continuación del proceso visto como una consecuencia del primero, el progreso de este mecanismo (p.ej. una erosión remontante) y el fallo definitivo en la presa. De ésta manera es posible estructurar un cuadro con los modos de fallo típicos en presas de este tipo.

Adicionalmente, la herramienta vincula el sistema de auscultación a cada mecanismo de inicio o desarrollo que pueda suscitarse en el sistema, dándole así el carácter integral al análisis de modos de fallo planteado en el apartado 3.3. Éste vínculo con la instrumentación parte de un cuadro resumen que refleja la auscultación típicamente instalada en estas presas, y cuya elaboración se centra en lo estipulado por (CNEGP, Guía N° 7 [2]).

En la figura N° 3.4 y N° 3.5 se presenta la herramienta complementaria y el cuadro de auscultación.

# HERRAMIENTA PARA ESTRUCTURAR MODOS DE FALLO, EN PRESAS DE MATERIALES SUELTOS, Y VINCULARLOS CON EL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN



\*referido únicamente a elementos de origen natural (que conforma el cuerpo de presa (espaldones, núcleos, fillos y drones).  
 \*\* tales como: túneles, galerías, y todas aquellas que contemplen una rigidez distinta a la del cuerpo de presa (excluyendo a los desagües).  
 Nota: (\*) En general, la instrumentación vinculada a las variables exteriores están asociadas a los escenarios de sollicitación

Figura Nº 3.4. Herramienta para la identificación de modos de fallo en presas de materiales sueltos

INSTRUMENTACIÓN EN PRESAS DE MATERIALES SUELTOS			
TIPO DE AUSCULTACIÓN	VARIABLE A CONTROLAR	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	FINALIDAD DE LA MEDICIÓN
Deformacional (cuerpo de presa)	Desplazamientos (Horizontales)	Triangulación topográfica	Registrar los desplazamientos horizontales de puntos característicos de la presa midiendo ángulos desde al menos tres bases fijas
		Distanciametría	Registrar los desplazamientos horizontales de puntos característicos de la presa mediante el uso de equipos electrónicos
		Colimación topográfica.	Registrar los desplazamientos horizontales de puntos característicos de la presa mediante la colimación topográfica.
		Inclinómetro	Control de los desplazamientos horizontales en una vertical de la presa (si son anclados profundamente en cimentación, se considera que los movimientos son absolutos)
		Tubos telescópicos horizontales con crucetas o bastidores	Control de las deformaciones diferenciales horizontales entre elementos de distinta rigidez. (en contactos núcleo-estribos, fuerte pendiente, etc.)
	Desplazamientos (Verticales)	Nivelación Topográfica	Evolución de los desplazamientos verticales de la coronación, bermas y terreno próximo a la presa mediante la nivelación topográfica de alta precisión.
		Tubos Telescópicos	Control rápido y eficaz de las deformaciones en una vertical de la presa y su cimiento.
Células de asiento (hidráulica o neumática)		Medición de los desplazamientos verticales en el cuerpo de presa (control de asientos)	
Inclinaciones	Inclinómetro	Equipo utilizado para medir inclinaciones o giros en diversos puntos de una misma línea.	
Deformacional (cimentación)	Desplazamientos o movimientos en fallas o accidentes geológicos	Extensómetros de gran longitud (de un anclaje, de anclajes múltiples)	Control de la evolución de las deformaciones en el terreno (diaclasas, fallas geológicas importantes, deslizamientos de taludes, etc.).
	Deformaciones en el cimiento	Extensómetros de gran longitud o tubos telescópicos	Control de las deformaciones verticales en cimentación (especialmente si el cauce está formado sobre una capa muy blanda o muy compresible)
Deformacional (elemento artificial impermeable)	Movimiento de juntas	Ternas de base. Medidor de apertura, cierre y deslizamiento entre elementos de hormigón.	Control de las juntas entre losas de la pantalla de hormigón.
	Módulos de deformabilidad vertical y horizontal en el cuerpo de presa	Células de presión total, extensómetros de gran longitud	Estimación del módulo de deformación horizontal. (con esta medida se pueden establecer modelos de comportamiento)
		Células de asiento (hidráulica o neumática)	Estimación del módulo de deformación vertical. (con estas medidas se pueden establecer modelos de comportamiento)
	Giros	Bases de clinómetro (en galería del plinto)	Obtener la inclinación en 2 planos ortogonales (radial y tangencial) entre sí, por la diferencia de lecturas entra fechas.
Hidráulica	Presiones intersticiales	Piezómetro cerrado (eléctricos, neumáticos o hidráulicos)	Seguimiento de la presión del agua intersticial en medios saturados de baja permeabilidad. (Control de la curva de saturación).
		Piezómetro abierto o convencional.	Seguimiento de la presión del agua intersticial en medios saturados de alta permeabilidad. (Control de la curva de saturación).
	Turbidez del agua	Turbidímetro	Determinar si existe arrastre de material perteneciente al cuerpo de presa
	Filtraciones parciales y totales	Aforo en pie de presa aguas/abajo y en puntos diversos (aforadores convencionales)	Determinar el caudal de filtración y controlar la evolución del mismo en sectores importantes y de interés (estribos, pie de aguas abajo, galerías, cuerpo de presa, cimentación)
Cargas	Presiones totales	Células de presión total (eléctrico o de cuerda vibrante, sistema hidráulico)	Seguimiento de las tensiones totales en núcleos y contactos de núcleos con cimentaciones, espaldones, y zonas singulares.
Tensional (elemento artificial impermeable)	Tensiones inducidas	Extensómetro o medidor de deformaciones unitarias (tipo cuerda vibrante ó resistencia óhmica)	Medición de las deformaciones unitarias que las tensiones inducidas crean en el medio en el que se encuentra embebido o fijado.
Volumétrica y Química	Variaciones volumétricas en el hormigón	Termómetros y extensómetro corrector	Medir las temperaturas y las deformaciones unitarias en el hormigón, no debidas a las tensiones
	Variaciones de las características del hormigón	Extracción de muestras y análisis en laboratorio	Caracterizar el estado del hormigón

Figura Nº 3.5. Cuadro resumen de auscultación típica en presas de materiales sueltos.

La estructura principal de la herramienta está compuesta por:

Escenarios: abarcan las solicitaciones que inciden sobre el sistema presa-embalse.

Componentes y Sub-Componentes del Sistema Presa-Embalse: esta categoría identifica los elementos susceptibles a fallo donde se desencadena el mecanismo de rotura.

Fenómenos de Inicio o Desarrollo, referidos a los procesos que definen claramente un Modo de Fallo.

Variables Auscultables más Influyentes e Instrumentos: Vinculan los fenómenos de Inicio o Desarrollo con el sistema de instrumentación.

Mecanismo Último de Rotura: definido como el proceso último que debe ocurrir para dar origen al fallo de la presa.

#### 3.4.1 Definición de modos de fallo con el uso de la herramienta

La manera de trabajar bajo esta estructura es simple: primero identificar el escenario de sollicitación que activa el Modo de Fallo, segundo establecer en cual componente y subcomponente del sistema se inicia el modo de fallo, tercero asociar el mecanismo de fallo identificado, con los que figuran como Fenómeno de Inicio y/o Desarrollo, los pasos anteriores se repiten según se desencadenen los eventos, hasta poder establecer la rotura definitiva en la presa.

##### 3.4.1.1 Caso hipotético de un modo de fallo con el uso de la herramienta.

En escenario de explotación normal, ocurre en la zona de aguas debajo de cimentación el colapso de una cavidad cárstica (1), erosionando el material aluvial a través de ésta (2) y arrastrándolo por cimentación hacia aguas abajo. El proceso de erosión se hace remontante a través del material aluvial (3), siguiendo éste a través de grietas en el elemento artificial impermeable, permitiendo que la erosión se propague aguas arriba por el material aluvial y hacia el espaldón (4), al punto de poder

comunicarse con el embalse formando un conducto que aumentando rápidamente hasta producir el fallo definitivo en la presa por erosión interna.

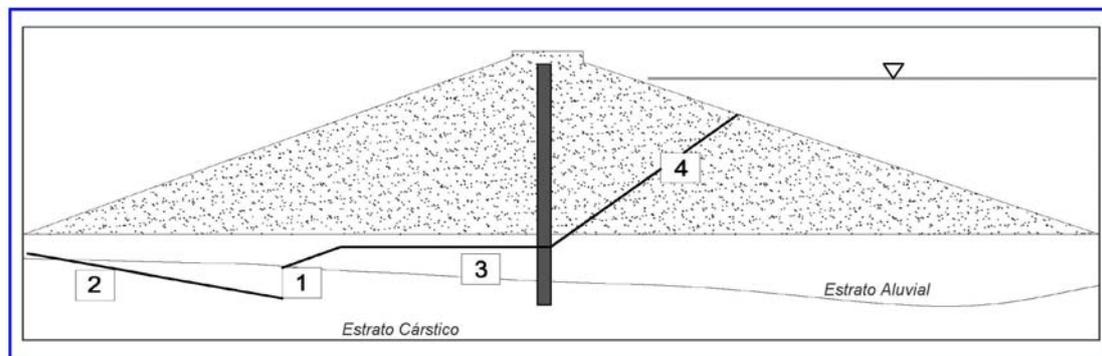


Figura Nº 3.6. Caso Hipotético para la definición del modo de fallo.

La clasificación de este modo de fallo dentro de la herramienta queda esquematizada de la siguiente manera:

ESCENARIO	INICIO	DESARROLLO	ROTURA
<b>N</b>	<i>C-Ci(1)</i>	<i>C-Ci(1) ; E-Ai(1) ; E-Cp(4)</i>	<i>l (b)</i>
<b>Variables</b>	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales, tensiones inducidas	-
<b>Instrumentos</b>	Aforadores convencionales, turbidímetros, piezómetros abiertos y/o cerrados e inspección visual	Aforadores convencionales, turbidímetros, piezómetros abiertos y/o cerrados, extensómetros o medidor de deformaciones unitarias e inspección visual	-

Cuadro Nº 3.1. Clasificación del caso hipotético según la herramienta.

Con el cuadro de identificación de modos de fallo, es posible vincular de forma directa las variables de control a cada mecanismo de fallo, de modo que la instrumentación disponible en el sistema presa-embalse, puede en determinado momento revelar el desarrollo de algún fenómeno de rotura que conlleve al fallo de la presa.





## Capítulo IV

### CASOS DE ESTUDIO, PRESA DE LA SOTONERA (HUESCA) Y PRESA DE MAIDEVERA (ZARAGOZA)

#### 4.1 Aplicaciones

Entendida la necesidad e importancia de los informes anuales de comportamiento de las presas, se presenta en este capítulo dos casos de estudio que recogen la estructura establecida en apartados anteriores, presentando en primer lugar el informe anual de comportamiento de la presa, y luego la identificación de los potenciales modos de fallo de cada presa. Cabe mencionar que el formato de presentación de los informes es el utilizado para las entregas definitivas al titular de presa.

El esquema de exposición se ha jerarquizado de la siguiente manera:

1. Informe Anual de Comportamiento.
2. Cuadro resumen de los aspectos más significativos extraídos del informe anual de comportamiento.
3. Cuadernillo con los potenciales modos de fallo identificados en el sistema presa-embalse.

Las presas que han sido objeto de estudio son de titularidad estatal y pertenecen a la Confederación Hidrográfica del Ebro; La Sotonera (T.M. de Alcalá de Gurrea, provincia de Huesca) y Maidevera (T.M. de Aranda del Moncayo, provincia de Zaragoza).

Presentándose en primer lugar la presa de La Sotonera y en segundo término la presa de Maidevera, ambas bajo el esquema comentado anteriormente.

Por otro lado es necesario comentar nuevamente que el análisis de comportamiento en estas presas ya ha sido objeto de estudio anteriormente por (Carlos Riera, 2008 [5]), ya que su PFC contempla el análisis del comportamiento de las presas

---

Parametrización del Comportamiento de las Presas de Materiales Suelos de La Sotonera (T.M. de Alcalá de Gurrea, Provincia de Huesca) y Maidevera (T.M. de Aranda del Moncayo, Provincia de Zaragoza), pertenecientes a la Cuenca Hidrográfica del Ebro, Vinculado a los Potenciales Modos de Fallo.

hasta agosto de 2008, de manera que el análisis que conforma esta tesis, se fundamenta en la misma información más los datos obtenidos de los meses de septiembre a diciembre de 2008.

# **PRESA DE LA SOTONERA**



## **INFORME ANUAL DE AUSCULTACION**

**COMPORTAMIENTO DE LA PRESA EN EL PERIODO  
COMPRENDIDO ENTRE LOS DÍAS 01.11.91 Y 31.12.08**

**EBRO/OF/2009-06/047**

**CONSULTORÍA Y ASISTENCIA PARA LA ELABORACIÓN DE INFORMES DE  
COMPORTAMIENTO Y REVISIÓN DE LOS SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN Y  
CONTROL, ELEMENTOS HIDROMECÁNICOS E INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y  
PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN DE GESTIÓN DE LAS NORMAS DE  
EXPLOTACIÓN DE LAS PRESAS DE TITULARIDAD ESTATAL EN EXPLOTACIÓN DE LA  
CUENCA DEL EBRO. Clave: 09.803.371/0411**

**PRESA DE LA SOTONERA**

**INFORME DE AUSCULTACIÓN**

**COMPORTAMIENTO DE LA PRESA  
EN EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE  
LOS DÍAS 01.11.91 Y 31.12.08**

Referencia: EBRO/OF/2009-06/047

Revisión: 1

Fecha: Junio de 2009

CONSULTORÍA Y ASISTENCIA PARA LA ELABORACIÓN DE INFORMES DE COMPORTAMIENTO Y REVISIÓN DE LOS SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN Y CONTROL, ELEMENTOS HIDROMECAÑICOS E INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN DE GESTIÓN DE LAS NORMAS DE EXPLOTACIÓN DE LAS PRESAS DE TITULARIDAD ESTATAL EN EXPLOTACIÓN DE LA CUENCA DEL EBRO. Clave: 09.803.371/0411

**PRESA DE LA SOTONERA**  
**INFORME DE AUSCULTACIÓN**  
**COMPORTAMIENTO DE LA PRESA EN EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE**  
**LOS DÍAS 01.11.91 Y 31.12.08**

**ÍNDICE**

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO.....	31
2. DESCRIPCIÓN DE LA PRESA .....	34
2.1 FICHA TÉCNICA DE LA PRESA .....	35
2.2 BREVE HISTORIAL DE LA PRESA.....	44
3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA CERRADA Y EL VASO DEL EMBALSE.....	47
4. OBSERVACIONES ESPECIALES .....	49
5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN INSTALADO .....	53
6. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN INSTALADO.....	58
7. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS GLOBAL DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA. ....	60
8. ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA.....	62
8.1 VARIABLES EXTERIORES .....	62
8.1.1 Nivel de embalse.....	62
8.1.2 Precipitaciones.....	64
8.1.3 Temperatura del aire.....	65
8.2 VARIABLES DE CONTROL .....	66
8.2.1 Nivel piezométrico. ....	66
8.2.1.1. Niveles piezométricos en la sección de control S-1 o Sotón. ....	69
8.2.1.2. Niveles piezométricos en la sección de control S-2 o Astón 2. ....	71
8.2.1.3. Niveles piezométricos en la sección de control S-3 o Astón 1. ....	72
8.2.1.4. Niveles piezométricos en la sección de control S-4 o Alberca de Alcalá.....	73
8.2.1.5. Niveles piezométricos en la sección de control S-2N.....	74
8.2.1.6. Niveles piezométricos en la sección de control S-3N.....	76
9. CONCLUSIONES.....	78

---

10. PROGRAMA DE LECTURAS RECOMENDADO. ....	83
11. RECOMENDACIONES .....	84

ANEJO Nº 1 PLANOS

ANEJO Nº 2. GRÁFICOS DE LAS VARIABLES AUSCULTADAS

ANEJO Nº 3. CD CON LA BASE DE DATOS

ANEJO Nº 4. DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA

ANEJO Nº 5. INFORME DE ESTADO DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN

ANEJO Nº 6. MODELIZACIÓN ESTADÍSTICA CON AUSMODEL

ANEJO Nº 7. VISITA A LA PRESA

ANEJO Nº 8. DOCUMENTACIÓN RELATIVA A LA AUSCULTACIÓN

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

El Informe que se presenta a continuación corresponde al estudio del comportamiento de la presa de Maidevera sobre la base de los datos de auscultación disponibles desde el 1 de noviembre de 1991 hasta el día 31 de diciembre del año 2008, los cuales fueron recibidos por OFITECO de la Confederación Hidrográfica del Ebro, en cumplimiento del contrato:

**“CONSULTORÍA Y ASISTENCIA PARA LA ELABORACIÓN DE INFORMES DE COMPORTAMIENTO Y REVISIÓN DE LOS SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN Y CONTROL, ELEMENTOS HIDROMECÁNICOS E INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN DE GESTIÓN DE LAS NORMAS DE EXPLOTACIÓN DE LAS PRESAS DE TITULARIDAD ESTATAL EN EXPLOTACIÓN DE LA CUENCA DEL EBRO. Clave: 09.803.371/0411”.**

El presente informe se adapta a lo que se indica en el Reglamento Técnico de Seguridad de Presas y Embalses (RTSPE), aprobado en O.M. de 12 de marzo de 1996 por el entonces Ministerio de Obras Públicas de Transportes y Medio Ambiente y publicado en el B.O.E. del 30 de marzo de 1.996, que concretamente, en el Artículo 33.2 de dicho Reglamento establece que ***“El Director de explotación redactará un informe anual en el que se recogerá los resultados de las inspecciones realizadas y de la auscultación... Este informe se incorporará al Archivo Técnico de la presa...”***

En este informe se analizan los datos de auscultación obtenidos en la presa en el periodo comprendido entre los días 1 de noviembre de 1991 y el 31 de diciembre de 2008, haciendo hincapié en los datos de los últimos cinco años. Estos datos comprenden los archivados con el sistema automático de toma de lecturas que se ha instalado en la presa, así como los manuales que fueron realizados por el personal de la CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO.

El Informe contempla:

- Los gráficos de evolución temporal elaborados con los datos registrados desde la lectura inicial de cada uno de los aparatos.

- Análisis de los aspectos más relevantes que se deducen del estudio de dichos aparatos respecto al comportamiento de la presa durante el período estudiado.
- La estimación de las leyes de subpresión, en cada una de las secciones de control.
- Conclusiones generales, las cuales se han clasificado en cuatro grupos significativos de la siguiente manera:
  - Conclusiones sobre las lecturas de instrumentos y el estado actual del sistema de auscultación instalado.
  - Conclusiones sobre el comportamiento de la presa en función de las variables de control.
  - Conclusiones sobre la inspección realizada el día 8 de septiembre de 2008.
  - Conclusiones sobre la seguridad de la presa.
- Recomendaciones de tipo general de cara al seguimiento continuo de la auscultación de la presa y a la elaboración de informes trimestrales y futuros informes anuales de comportamiento.
- Un programa de lecturas de los aparatos de auscultación.

La elaboración de este informe se ha basado en:

- El análisis de los datos del sistema de auscultación instalado, tanto manuales como automáticos.
- La revisión de la documentación técnica referente a la presa desde el punto de vista de la auscultación, comportamiento y seguridad de la presa, los cuales se citan a continuación:
- Documento XYZT de la Presa de La Sotonera (1ª Edición; 1981).
- Auscultación de presas. Presa de La Sotonera (1991).

- Proyecto de Gran Reparación de la presa de La Sotonera (1992).
- Instrumentación Parcial de la presa de La Sotonera. 1ª Fase. Documento Técnico del Sistema. (Geocisa; marzo de 2000).
- Instrumentación Parcial de la presa de La Sotonera. 2ª Fase. Documento Técnico del Sistema. (Geocisa; marzo de 2001).
- 1ª Actualización del Documento XYZT de la presa de La Sotonera. (Euroestudios; noviembre de 2002).
- Instrumentación Parcial de la presa de La Sotonera. 3ª fase. Documento Técnico. (Geocisa; noviembre de 2003).
- Normas de explotación de la Presa de La Sotonera (Euroestudios; diciembre de 2003).
- Plan de emergencia de la Presa de La Sotonera (Euroestudios; diciembre de 2003).
  
- La visita realizada a la presa el día 11 de septiembre de 2008 (Anejos Nº 4 y Nº 5).

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA PRESA<sup>1</sup>

La presa de La Sotonera está situada sobre los ríos Sotón, Astón y Vacas, en las proximidades del poblado de Tormos, en el término municipal de Alcalá de Gurrea (Huesca).

El río Sotón es afluente por la margen izquierda del río Gallego que, a su vez, lo es del río Ebro. De la misma forma, el río Astón es afluente del río Sotón por la margen derecha, recibiendo por su izquierda la vaguada del Vacas y por su derecha la de Alberca de Alcalá.

En realidad se trata de tres presas separadas que, enumeradas de izquierda a derecha en el sentido del río, se denominan: Sotón, Astón y Vacas, y Alberca de Alcalá.

El uso actual del embalse de La Sotonera es en su mayor parte para riegos, a través del Canal de Monegros, siendo el total de hectáreas regadas 68.902 Has. También, a través del mismo canal, se aportan caudales para abastecimiento de varios núcleos de población. Otro uso es el hidroeléctrico, teniendo la concesión de su explotación la Asociación de Regantes del Alto Aragón. Esta minicentral se encuentra a pie de presa aguas abajo.

Las coordenadas de la intersección del eje de la presa con el cauce del río son:

- Geográficas (respecto Greenwich):
  - Longitud: 0° 41' 00" Oeste
  - Latitud: 42° 06' 40" Norte
- Coordenadas UTM (intersección río Gallego con el eje de la presa):
  - X: 692.000
  - Y: 4.664.000
  - Huso 30

Tanto la presa como el embalse se encuentran en la hoja número 285 (Almudévar) del Mapa Topográfico Nacional de España escala 1:50.000; en los fotogramas 44.638/41 y 46.467/69 del vuelo americano y en los A-7/12, B-10/16, C-7/13 del vuelo a escala 1:18.000.

---

<sup>1</sup> La información sobre la descripción de la presa se ha extraído del Documento XYZT y del Plan de Emergencia de la Presa de La Sotonera.

La forma de acceso a la presa y a los distintos edificios de la Confederación Hidrográfica del Ebro se realiza por la carretera de servicio de los Monegros, a partir del punto de cruce de esta con la N-330, en el punto kilométrico 552.30.

## 2.1 FICHA TÉCNICA DE LA PRESA



Figura. Imagen de la presa de La Sotonera.

### UBICACIÓN

- PROVINCIA ..... Huesca
- TÉRMINOS MUNICIPALES ..... Alcalá de Gurrea
- EMPLAZAMIENTO ..... Río Sotón y Astón

**TIPOLOGÍA** Presa de gravedad de materiales sueltos, homogénea, espaldones permeables de zahorra.

### CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL RIESGO POTENCIAL

- Presa La Sotonera ..... Categoría A

## CARACTERÍSTICAS

### Características de la cuenca y embalse

El río Sotón es el afluente de mayor longitud (51.80 km) del río Gállego, que, después del Segre, Jalón, Cinca y Aragón, es el quinto afluente del Ebro si se tiene en cuenta la superficie de cuenca. Concretamente tiene 4010 km<sup>2</sup> que representan el 5% de la superficie de cuenca del Ebro (85000 km<sup>2</sup>).

La superficie total de la cuenca propia del Sotón es de 383 km<sup>2</sup>, aportando al embalse una superficie de 338 km<sup>2</sup>. Además el embalse recibe la aportación transvasada de 2051 km<sup>2</sup> de cuenca del río Gállego desde la presa de Ardisa a través del canal del Gállego.

La principal aportación que llega al embalse de la Sotonera proviene del agua transvasada de la cuenca del embalse de Ardisa en el río Gállego.

Cuenca	Sotón
Superficie de la cuenca propio (Km <sup>2</sup> )	338
Superficie de cuenca trasvasada (Km <sup>2</sup> )	2051
Nivel máximo normal (NMN) (m.s.n.m.)	417.50
Volumen de embalse (N.M.N.) (Hm <sup>3</sup> )	189.22
Nivel avenida proyecto (NAP) (m.s.n.m.)	418.64
Volumen de embalse para N.A.P. (Hm <sup>3</sup> )	212.78
Nivel avenida extrema (NAE) (m.s.n.m.)	419.00
Volumen de embalse para N.A.E. (Hm <sup>3</sup> )	220.67
Superficie de embalse (N.M.N.) (Ha.)	1969.64
Superficie de embalse (N.A.P.) (Ha.)	2162.76
Caudal punta avenida de proyecto (m <sup>3</sup> /s)	539

Tabla. Resumen de las características del embalse y su cuenca vertiente.

### Aspectos estructurales

La tipología de la presa es del tipo de materiales sueltos (arcillas, gravas, escolleras y losas de arenisca y hormigón), tratándose en realidad de tres presas cuyas coronaciones se enlazan sin solución de continuidad.

La longitud total de coronación es de 3858.80 m. y la altura máxima sobre cimientos de 34 m., que corresponde al tramo Astón y Vacas en su cruce con el valle de Vacas. La

coronación tiene una anchura total de 6.00 m., teniendo una anchura útil de 4.30 m. de firme de carretera.

Existen dos secciones tipo que sólo difieren en una zona de escollera al pie de aguas arriba.

Esta modificación, que afecta sólo a los tramos en que hay talud de aguas arriba por debajo de la cota 402 m.s.n.m., se debió a la necesidad de construir bajo el agua vertiendo escollera, a fin de conservar un volumen de embalse necesario para el riego.

En ambas secciones se aprecia que se trata de secciones arcillosas homogéneas reforzadas con espaldones de material permeable incoherentes y provistas de los oportunos filtros de separación.

Los taludes externos aguas arriba son, en sentido descendente, 1.50H:1V; 2.75H:1V; 3.35H:1V; 3.50H:1V en la sección que no tiene escollera al pie, y 1.50H:1V; 3.35H:1V, 3.50H:1V y 1H:1V en la sección tipo que lleva talud de escollera.

Ambas secciones tienen una berma de 5.20 m. de anchura a la cota 414.09 m.s.n.m. y otra de 4.00 m. de anchura a la cota 406.09 m.s.n.m.

Los taludes internos de la arcilla y del hormigón de arcilla en el mismo sentido son 1.5H:1V; 2.75H:1V y 3H:1V con bermas coincidentes con las anteriores y otra más de 3.00 m. de anchura a la cota 392.50 m.s.n.m. en la sección sin escollera.

Aguas abajo, los taludes exteriores son 2.35H:1V; 3H:1V y 4H:1V. Hay una berma de 9.30 m. de anchura a la cota 407.00 m.s.n.m. y otra de 12.30 m. de anchura a la cota 400.25 m.s.n.m.

Los taludes internos de la arcilla y del hormigón de arcilla son 1.40:1 y 2.50:1 (h/v). Existen también dos bermas que no coinciden con las anteriores. La más alta está a la cota 405 m.s.n.m. y tiene 18 m. de anchura. Por su extremo de aguas arriba corre la galería de inspección y drenaje, y por su punto medio una cuneta hormigonada de recogida de aguas, principalmente pluviales. La inferior está a la cota 397 m.s.n.m. y tiene 4 m. de anchura, y por su extremo de aguas arriba corre otra cuneta hormigonada con análoga finalidad que la anterior.

La anchura del hormigón de arcilla es, en ambas, de 117 m. con una prolongación en tapiz de aguas abajo de 12 m. El talud aguas arriba va protegido del oleaje mediante un recubrimiento de losas de 0.50 m. de espesor, de arenisca o de hormigón según las zonas, que desciende hasta la cota 412 m.s.n.m. Desde la cota 412 m.s.n.m. hasta la 402 m.s.n.m., el recubrimiento es de mampostería de 0.30 m de grueso.

La presa disponía de un total de 3412 m. de longitud de galerías dispuestos en dos tramos separados por el terreno natural que separa el collado de la presa de La Alberca y la presa de Astón y Vacas. Las dimensiones de la galería son 1.00 m. por 1.72 m. de altura con bóveda de medio punto y contrabóveda. La galería está situada a la cota 404.78 m.s.n.m., en el interior del espaldón permeable de aguas abajo, al pie de la zona de arcilla.

El acceso a la galería desde el talud de aguas abajo se hace a través de 13 puntos o bocas de acceso.

Hay tres zanjones grandes, de 6 m. de profundidad, situados uno en el eje de la presa, otro en el pie aguas arriba y el tercero equidistante de ambos, y diez zanjas de 2 m. de profundidad repartidas uniformemente en la sección transversal. Tiene dos dispositivos de drenaje además del existente en las galerías cuya principal misión es el drenaje, uno en el contacto con el cimiento y otro a la cota 405 m.s.n.m., aguas abajo de la zona de arcilla.

Tipo	Materiales sueltos
Planta	Recta
Longitud de coronación (m.)	3858.80
Cota de coronación presa (m.s.n.m.)	420.00
Cota de cimientos (m.s.n.m.)	Sotón (389), Astón-Vacas (386), Alberca de Alcalá (394.00)
Cota del cauce (m.s.n.m.)	Sotón (390.75), Astón-Vacas (388.10), Alberca de Alcalá (395.47)
Altura máxima presa sobre cimientos (m.)	34.00
Ancho coronación (m.)	6.00
Talud aguas arriba	1.50H:1V; 3.35H:1V, 3.50H:1V y 1H:1V
Talud aguas abajo	2.35H:1V; 3H:1V y 4H:1V
Volumen de materiales presa (m <sup>3</sup> )	5617874
Galerías	1.00 x 1.72 m. Longitud=3.412 m.

Tabla. Resumen de características estructurales de las 3 presas.

## **Aliviadero**

La presa no tiene aliviadero. Se consideró, al analizar las avenidas y la capacidad de los últimos metros de embalse (12 Hm<sup>3</sup> por metro y 3 m de resguardo), que no era necesario.

## **Desagüe de fondo**

No tiene desagüe de fondo porque la toma de agua inferior hace su función.

## **Tomas de agua.**

Las tomas de agua son tres, todas con capacidad de 90 m<sup>3</sup>/s y con umbrales a las cotas 393.20, 400.00 y 408.50 m.s.n.m.

### ***Toma superior***

Situada en el extremo izquierdo de la presa, excavada en el estribo, la toma superior tiene su solera a la cota 408.50 m.s.n.m.

Consta de un canal de entrada de 200 m. de longitud y 25 m. de anchura en la base y parcialmente revestido, una torre de compuertas con el edificio de mecanismos de accionamiento sobre ella y tres túneles artificiales contiguos que, después de atravesar la presa, confluyen en un canal de aproximadamente 430 m. de longitud y 90 m<sup>3</sup>/s de capacidad. El canal conduce el agua a un partidior-aliviadero del que arranca el Canal de Monegros. La longitud de los túneles es de 43.00 m, incluyendo los conductos de acceso.

La sección tipo del canal es rectangular, de dimensiones 16.20 m. de anchura en su inicio y 5.00 m. de altura. El espesor es de 0.50 m. tanto en muros como en solera (hormigón).

La diferencia de cota sobre la toma y el partidior-aliviadero se pierde en una fuerte pendiente inicial y en escalón.

La sección de los túneles es de 4.20 m. de anchura por 4.50 m. de altura con bóveda rebajada.

Cada túnel, dotado cada uno de una sola compuerta oruga con accionamiento manual y electro-mecánico, está alimentado por dos vanos de 1.20 m. de anchura por 2.80 m. de altura.

La capacidad de desagüe de cada compuerta a una cota de agua de 412.35 m.s.n.m. es de 15 m<sup>3</sup>/s, luego al canal pueden llegar a salir 90 m<sup>3</sup>/s.

Situado	Margen izquierda collado Sotón
Dimensiones túneles (m.)	3 túneles artificiales de 4.20 x 4.50
Cota umbral de túneles (m.s.n.m.)	408.50
Capacidad desagüe total a cota de agua (412.35 m.s.n.m.) (m <sup>3</sup> /s)	90
<b>Compuertas</b>	6 (2 compuertas por túnel)
Tipo compuertas	Compuertas deslizantes-oruga
Canal de conducción a canal de Monegros	Canal de hormigón de 16.20 x 5.00 m. y longitud 430.00 m.
Edificio de maniobras	Situado a 14.40 m. respecto eje de coronación. Cota solera: 420 m.s.n.m.

Tabla. Características fundamentales de la toma superior.

### ***Toma intermedia***

La toma intermedia tiene una disposición análoga a la superior, aunque sin canal de entrada y con el umbral a la cota 400 m.s.n.m.

Los seis conductos de 1.20 m. de anchura por 2.80 m. de altura desaguan en tres túneles artificiales de 4.20 m. de anchura por 4.50 m. de altura con bóveda rebajada que se unen en un canal de aproximadamente 1090 m. de longitud y 90 m<sup>3</sup>/s de capacidad, que enlaza con el de la toma superior. La longitud de los túneles es de 88 m., incluyendo los conductos de acceso.

Las secciones tipo del canal y de los túneles artificiales son idénticas al de la toma superior.

Cada conducto está dotado de una sola compuerta deslizante con accionamiento manual y electro-mecánico.

La capacidad de desagüe de cada compuerta a la cota de agua 403,85 m.s.n.m. es de 15 m<sup>3</sup>/s, siendo la capacidad del canal de 90 m<sup>3</sup>/s.

El edificio o torre de maniobras de la toma intermedia se encuentra situado aproximadamente 350.00 m. a la derecha de la toma superior en la Presa del Sotón.

Situado	A 350.00 m. de toma superior, en collado Sotón
Dimensiones túneles (m.)	3 túneles artificiales de 4.20 x 4.50 y 88.00 m. de longitud
Cota umbral de túneles (m.s.n.m.)	400.00
Capacidad desagüe total a cota de agua (403.85 m.s.n.m.) (m <sup>3</sup> /s)	90
<b>Compuertas</b>	6 (2 compuertas por túnel)
Tipo compuertas	Compuertas deslizantes-oruga
Canal de conducción a canal de Monegros	Canal de hormigón de 16.20 x 5.00 m. y longitud 1090 m.
Edificio de maniobras	Situado a 32.00 m. respecto eje de coronación. Cota solera: 420 m.s.n.m.

Tabla. Características fundamentales de la toma intermedia.

### ***Toma inferior***

La toma inferior tiene el umbral a la cota 393.20 m.s.n.m. y dispone sólo de cuatro conductos de 1.20 m. de anchura por 2.80 m de altura.

Los conductos se juntan mediante una corta transición en un canal de aproximadamente 760 m. de longitud y 90 m<sup>3</sup>/s de capacidad. Dicho canal conduce las aguas hasta el Canal de Monegros.

La sección tipo del canal es rectangular, de 6 m. de anchura en su inicio. El espesor es de 0.50 m. tanto en muros como en solera.

Cada conducto está dotado de una compuerta Stoney con accionamiento manual y electro-mecánico, este último con dos velocidades.

La capacidad de desagüe de cada compuerta a una cota de agua de 399,88 m.s.n.m. es de 22,50 m<sup>3</sup>/s, luego al canal pueden llegar a salir 90 m<sup>3</sup>/s.

El edificio o torre de maniobras de la toma inferior se encuentra situado respecto al eje del camino de coronación a 45.30 m., estando su solera a la cota 420.00 m.s.n.m.

Situado	En collado del Astón y Vacas
Dimensiones túneles (m.)	1 túnel artificial de 6.00 x 4.50
Cota umbral de túneles (m.s.n.m.)	393.20
Capacidad desagüe total a cota de agua (399.88 m.s.n.m.) (m <sup>3</sup> /s)	90 (22.50 por compuerta)
<b>Compuertas</b>	4
Tipo compuertas	Stoney (Maquiebro)
Dimensiones compuertas (m.)	1.20 x 2.80
Edificio de maniobras	Situado a 45.30 m. respecto del eje de coronación. Cota solera: 420 m.s.n.m.

Tabla. Características fundamentales de la toma inferior.

### Aliviadero lateral del canal (Almenara)

El aliviadero lateral del canal termina aproximadamente 60 m. antes del comienzo del Canal de Monegros.

Tiene una longitud total de 102.00 m y un talud 1:3 (h/v) aguas arriba, mientras que el talud de aguas abajo es de 1.25:1 (h/v). Los taludes tienen un espesor de hormigón de 0.80 m., tanto aguas arriba en el Canal, como aguas abajo del aliviadero.

La cota del umbral del aliviadero es 395.74 m.s.n.m. en toda su longitud. Existe una pasarela de hormigón a la cota 396.26 m.s.n.m. que permite el paso por encima del mismo. La pasarela tiene una longitud de 102.00 m., una anchura de 2.00 m y un espesor de 0.10 m.

Al final del aliviadero lateral hay 7 compuertas deslizantes de 1.00 m. de anchura por 2.50 m. de altura, por las que se puede mandar agua al cauce del río Sotón. Sus elementos de manipulación están ubicados dentro de un edificio, situado a continuación del canal y a la cota de la pasarela, que tiene una planta de 1.38 m de longitud por 2.80 m de anchura.

El agua vertida por el aliviadero hacia el cuenco amortiguador, así como el procedente de las siete compuertas que se encuentran situadas a continuación del aliviadero, es encauzada hacia el río Sotón. El muro lateral del cuenco amortiguador es de 2.00 m. de

altura por 0.70 m. de espesor. La solera es de 0.60 m. de espesor, siendo su anchura variable.

Inmediatamente después del emplazamiento de las 7 compuertas existe un pequeño escalón o aliviadero dispuesto transversalmente en el canal. El aliviadero está 2.00 m por encima de la solera y favorece la evacuación del agua por las 7 compuertas mencionadas anteriormente, denominadas compuertas de limpia, en el caso que se quiera limpiar el canal.

Situado	60 m. antes del Canal de Monegros
Dimensiones (m.)	102 m. longitud. Taludes 0.3 (h/v) y 1.25 (h/v) aguas arriba y aguas abajo respectivamente
Cota umbral de aliviadero (m.s.n.m.)	395.739
<b>Compuertas</b>	7 compuertas deslizantes
Dimensiones compuertas (m.)	1.00 x 2.50
Pasarela sobre aliviadero	Longitud 102.00 m., anchura 2.00 m., espesor 0.10 m.
Edificio de maniobras	Situado en margen izquierda del canal, para accionamiento de compuertas, de 13.80 x 2.80 m.

Tabla. Características fundamentales del aliviadero del canal.

### Toma para la central hidroeléctrica

La central hidroeléctrica se encuentra situada aguas abajo de la presa en la salida de los túneles artificiales de la toma inferior.

Se realiza a través de la toma intermedia. El agua turbinada pasa directamente después al canal de conducción de la toma inferior, con lo cual este caudal se destina a riego.

El caudal mínimo teórico que necesita la central para turbinar es de 7 m<sup>3</sup>/s mientras que el máximo asciende a 22.0 m<sup>3</sup>/s.

## 2.2 BREVE HISTORIAL DE LA PRESA.<sup>2</sup>

A continuación se hace un breve resumen de los antecedentes e historia más significativos de la presa de La Sotonera:

- 8 de Julio de 1910. *Proyecto General de un Plan de Riegos en el Alto Aragón*, suscrito en Huesca por el Ingeniero de Caminos D. Rafael Izquierdo y Jaúregui y D. Felix de los Ríos y Martín. El fin era crear un embalse que permitiese el riego de 300.000 has. de cereal para el que se consideraría una dotación anual de 1.800 m<sup>3</sup>/ha.
- 8 de Enero de 1915. La obra se considera de interés nacional y se publica en la Gaceta de Madrid.
- 29 de Marzo de 1915. Se inauguraron los trabajos en la presa.
- 5 de Marzo de 1926. Se crea la Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro, lo que obliga a la Entidad Riegos del Alto Aragón a formar parte de la misma. Se dispone de importantes recursos económicos que permiten activar el desarrollo de las obras.
- 1930. Se redacta el *Pantano de la Sotonera – (Riegos del Alto Aragón) – 2º Proyecto Reformado*, suscrito en Huesca el 1 de Junio de 1930 por el ingeniero D. Julio Sans Brunet. Se aprobó por Real Orden el 1 de Diciembre de 1930.
- 16 de Marzo de 1931. Se redacta *El Pantano de la Sotonera – Proyecto de terminación*, con el objetivo de la licitación del final de las obras.
- 1951. La Jefatura de Sondeos, Cimentaciones e Informes Geológicos realizó una serie de sondeos, a través de la sección máxima de la presa ejecutada, para determinar la línea de saturación e imbibición.
- Diciembre de 1952. *Estudio sobre la estabilidad del Perfil tipo de la Presa de la Sotonera*, redactada por el Ingeniero D. José Antonio Jiménez Salas. Se analizan los materiales, la permeabilidad, el procedimiento de construcción y la estabilidad, proponiendo finalmente una nueva sección tipo.

---

<sup>2</sup> A partir del Documento XYZT de la Presa de La Sotonera se ha extraído información acerca de los antecedentes históricos de la presa.

- 16 de Octubre de 1953. Se redacta el *2º Proyecto de Terminación de las obras del Pantano de la Sotonera (Nueva Solución)*, elaborada por el Ingeniero de Caminos de la Confederación Hidrográfica del Ebro, D. José María Atristaín Muguruza. Se redacta ajustado al estudio y propuesta de Jiménez Salas.
- 24 de Julio de 1958. Aprobación del *Proyecto reformado del 2º Proyecto de terminación de las obras del Pantano de la Sotonera (Nueva Solución)*, por D. José María Atristaín Muguruza. Se introduce una modificación en el pie aguas arriba de la sección tipo.
- 1 de Diciembre de 1962. Recepción definitiva de la obra. Quedaron algunos detalles como coronación, carretera de coronación, embellecimiento, que no se incluyeron hasta 1965,
- 1962-1963. Finalización de la obra.
- 1966. Se llevaron a cabo dragados y limpieza de los desagües 4º y 5º para corregir los desbordamientos y mejorar el control de las filtraciones.
- 1968. Primer llenado a cota máxima normal (417.50 m.s.n.m.).
- 1973. Reparación del asiento producido en el revestimiento de losas del tramo de la presa de Astón y Vacas.
- 1981. Documento XYZT de la presa de La Sotonera (1ª Edición).
- 1991. Auscultación de presas. Embalse de La Sotonera.
- 1992. Proyecto Gran Reparación de la presa de La Sotonera.
- Marzo de 2000. Instrumentación Parcial de la presa de La Sotonera. 1ª Fase. Documento Técnico del Sistema.
- 2000. Instalación de dos secciones de control constituidas por piezómetros de cuerda vibrante y piezómetros abiertos.
- Marzo de 2001. Instrumentación Parcial de la presa de La Sotonera. 2ª Fase. Documento Técnico del Sistema.
- 2001. Instalación de 2 piezómetros de cuerda vibrante en la sección de control nº 2.

- Noviembre de 2002. 1ª Actualización del Documento XYZT de la presa de La Sotonera.
- Noviembre de 2003. Instrumentación Parcial de la presa de La Sotonera. 3ª Fase. Documento Técnico.
- Diciembre de 2003. Redacción de las Normas de explotación de la Presa de La Sotonera.
- Diciembre de 2003. Redacción del Plan de emergencia de la Presa de La Sotonera.
- Entre los años 2005 y 2006 y según nos ha comentado el encargado de presa el día de la visita, se han hecho obras en el desagüe de fondo, se han instalado compuertas Taintor en el desagüe intermedio y se ha construido un aliviadero en el estribo izquierdo de la presa. Actualmente no se cuenta con la documentación técnica correspondiente, no obstante se pudo constatar que el aliviadero se encuentra construido en su totalidad.

### **3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA CERRADA Y EL VASO DEL EMBALSE**

Los datos geológicos se han descrito a partir del Documento XYZT, que a su vez se obtuvieron del Mapa Geológico de España. Escala 1:50000. Hoja Nº 285 Almodóvar (IGME).

#### **Geología de la Cerrada**

La cerrada se encuentra íntegramente en el tramo intermedio del Mioceno lacustre del Ebro. La presa de la Sotonera se sitúa sobre una serie prácticamente horizontal de margas rojizas y pardas con algunos niveles de arenisca blanda molásica.

La caracterización geológica de la zona de la cerrada se puede dividir en dos subzonas claramente diferenciadas:

- El extremo bajo-izquierdo oriental (este) de la presa, en la zona de cimentación de la actual toma alta del canal de Monegros, se observa que las margas son menos arenosas, algo más plásticas, incluso aparecen cristales de yeso reconocibles. La serie siempre es de predominancia margosa pero hacia el este presenta tendencia margo-yesífera a cotas bajas.
- La parte de la derecha occidental (oeste) de la presa y a niveles altos, se individualizan paquetes de areniscas que pueden incluso cartografiarse como el que aparece en el Valle de la Alberca de Alcalá y entre los valles de la Alberca y Astón. Los niveles de areniscas son más rígidas y en ellas sí se identifican las fisuras. La facies es más areniscosa sobretodo a cotas altas.

#### **Geología del Vaso del embalse**

Todo el vaso se encuentra situado en las molasas y margas del tramo intermedio del Mioceno lacustre del Ebro y está recubierto parcialmente y con poco espesor por terrenos diluviales procedentes de la denudación del propio Mioceno y del Cretácico y demás formaciones que se encuentran en las sierras del Gratal, donde nacen los ríos.

Los estratos están muy poco alterados respecto de su posición primitiva y, en algunos cerros altos, se encuentra la caliza del tramo superior del Mioceno, gris clara y algo silíceo.

Se trata de una formación muy monótona con alternancia prácticamente indefinida de margas y areniscas con estratificación subhorizontal.

Este mioceno que rellena la Depresión del Ebro, se sedimentó después de ocurridos los empujes que levantaron los Pirineos y la Cordillera Ibérica. Aunque, a primera vista, podría parecer que no ha sufrido ya ningún movimiento, la realidad es que los últimos reajustes postorogénicos del zócalo rígido han trascendido en la cobertura miocena induciendo fisuras.

Las fracturas que afectan a la serie miocena son un detalle tectónico de poca entidad, con saltos milimétricos o centimétricos de la serie estratigráfica.

Estas fisuras condicionan ciertas alineaciones de debilidad geomorfológica que trascienden en la red de drenaje.

En todo el valle del Ebro se detectan fracturas sobre las fotos aéreas y concretamente se hacen visibles en algunas excavaciones.

#### 4. OBSERVACIONES ESPECIALES

El dispositivo de drenaje construido introduce un peligro de sifonamiento (posibilidad de arrastres de la parte inferior de la presa). Existen dos incidentes históricos que vinculaban el sistema de drenaje a peligro de sifonamiento.

La fuente de la cual se ha extraído la información proviene del apartado 2 “Conclusiones” del Capítulo III del Documento XYZT de la presa de La Sotonera y que a continuación se reseñan estos dos incidentes:

- *En Noviembre de 1960, se produjo un hundimiento en el talud de aguas arriba de la presa en el valle del Sotón (enfrente de la denominada isla del Polvorín) debido a un arrastre de arcilla a través del drenaje, produciéndose una socavación. Hubo que excavar, reponer con escollera y gravas e inyectar posteriormente este material y el drenaje.*
- *A finales del verano de 1966, unas filtraciones observadas en el cuerpo derecho de la presa (zona de la Alberca) hicieron preciso el desembalse parcial con objeto de estudiar debidamente el origen de las mismas y los efectos que pudieran observarse, apreciándose dos hundimientos en el talud aguas arriba comprendidos entre las banquetas de cotas 406 y 414 m.s.n.m., de forma sensiblemente semiesférica y radios de 3 y 4 m., se hallaban entre los perfiles 280 y 285.*

*En la zona del perfil 265 se apreciaba un burbujeo que denotaba entrada de agua en la presa. El caudal total de filtración era de unos 50 litros por segundo, medido en el aforador de pared delgada del emisario. Dichas filtraciones se corrigieron mediante una campaña de inyecciones con arcilla estabilizada con cemento con una presión máxima de 3 Kg/cm<sup>2</sup> a reducir si tendía a producirse agrietamiento de la presa. Se realizaron en el talud de aguas arriba, en el sentido supuesto que seguían las filtraciones hasta llegar al dren central. De esta forma se consiguió el cese de las filtraciones a costa de perder el dren central en esta zona como órgano de auscultación.*

*Se ejecutaron e inyectaron los siguientes taladros:*

- *En socavones del talud, se realizaron nueve (9) taladros en pantalla circular por socavón, con 18 m. de profundidad.*

- *En la banquetta a cota 414 m.s.n.m., pantalla con taladros de 19 m. hasta llegar al terreno.*

- *En la zona de perfil 265, otra serie de taladros de 8 o 10 m. de profundidad.*

- *Finalmente se inyectó el dren central, se ejecutó una serie de taladros desde la coronación con una profundidad del orden de 29 m. y otra serie desde el perfil 285 hacia aguas abajo siguiendo el emisario desde su unión con el dren central.<sup>3</sup>*

A continuación se hace un resumen de los acontecimientos más importantes que sucedieron durante el periodo de este informe, es decir, del 1 de enero de 2003 hasta el 31 de diciembre de 2008. Se trata de obras o incidencias que pudieran haber influido el comportamiento de la presa o el funcionamiento del sistema de auscultación.

- Durante los últimos años se han realizado varios trabajos de acondicionamiento de los cuales se destacan los siguientes:
  - Desagüe de fondo (años 2005 y 2006)
  - Instalación de compuertas Taintor en el desagüe intermedio (años 2005 y 2006)
  - Construcción de un aliviadero en el estribo izquierdo de la presa (años 2005 y 2006)

Actualmente no se cuenta con la documentación técnica de estos trabajos, se sabe de la existencia de ello sólo a través del encargado de la presa.

De la visita realizada a las instalaciones de la presa el día 11 de septiembre de 2008, se observó que la principal incidencia respecto del punto de vista de la seguridad es sin duda el pésimo estado de la galería de drenaje. En la visita efectuada para el reconocimiento de la presa, se intentó su inspección desde diferentes entradas o bocas de acceso pero fue imposible por el estado de la galería y por el aviso previo del personal de la explotación

---

<sup>3</sup> Transcripción literal del Documento XYZT de la presa de La Sotonera acerca de los dos incidentes históricos que vinculaban el sistema de drenaje a peligro de sifonamiento.

sobre la falta de seguridad en la visita y la inconveniencia de esta. Sin embargo, desde las bocas de acceso, se puede intuir la gravedad del estado en que se encuentran las galerías, observándose acumulaciones de arcilla que impiden la circulación o recogida del agua filtrada.

En la visita realizada se pudo constatar la existencia del aliviadero. Como se menciona anteriormente se sabe de la existencia de este y los demás trabajos por medio del encargado de la presa.

En las figuras que a continuación se presentan se muestran fotos tomadas el día de la visita, en el anejo nº 7 del presente informe se expone de manera más detallada el resultado de la visita.

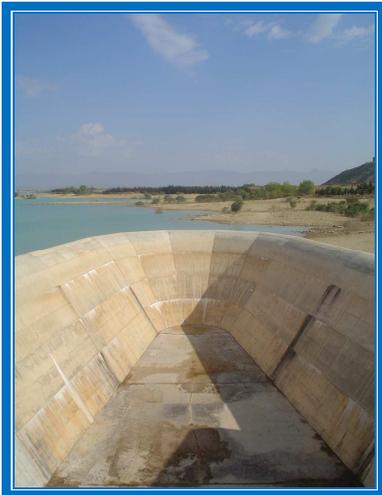


Imagen. Aliviadero lateral en margen izquierda



Imagen. Nueva modificación en la presa



Imagen. Boca de la Galería (cota 404.78 m.s.n.m.)

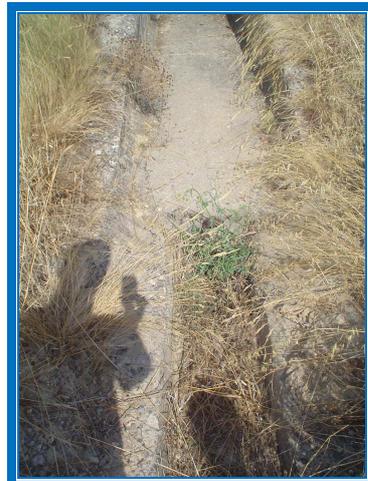


Imagen. Dren abierto de la berma

Como complemento adicional para la elaboración del presente informe se cuenta con la siguiente documentación técnica:

1. Documento XYZT de la Presa de La Sotonera (1ª Edición; 1981).
2. Auscultación de presas. Presa de La Sotonera (1991).
3. Proyecto de Gran Reparación de la presa de La Sotonera (1992).
4. Instrumentación Parcial de la presa de La Sotonera. 1ª Fase. Documento Técnico del Sistema. (Geocisa; marzo de 2000).
5. Instrumentación Parcial de la presa de La Sotonera. 2ª Fase. Documento Técnico del Sistema. (Geocisa; marzo de 2001).
6. 1ª Actualización del Documento XYZT de la presa de La Sotonera. (Euroestudios; noviembre de 2002).
7. Instrumentación Parcial de la presa de La Sotonera. 3ª fase. Documento Técnico. (Geocisa; noviembre de 2003).
8. Normas de explotación de la Presa de La Sotonera (Euroestudios; diciembre de 2003).
9. Plan de emergencia de la Presa de La Sotonera (Euroestudios; diciembre de 2003).

## 5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN INSTALADO

En este capítulo se hace un corto resumen de los aparatos y elementos de auscultación existentes en la presa. Para un mayor grado de detalle, en el Anejo N° 5 se incluye una descripción detallada del sistema de auscultación, su estado actual y fiabilidad de las lecturas obtenidas.

En los planos del Anejo N° 1 se puede ver la localización de los diferentes equipos y en el Anejo N° 4 pueden verse fotografías de los mismos.

El sistema de auscultación de la presa de La Sotonera se amplió y modernizó varias veces durante los últimos años. Se destacan los siguientes procesos:

- Instrumentación Parcial de la presa de La Sotonera. 1ª Fase. Documento Técnico del Sistema. Elaborada en marzo de 2000, después de instalar la instrumentación existente en la presa.
- Instrumentación Parcial de la presa de La Sotonera. 2ª Fase. Documento Técnico del Sistema (marzo de 2001).
- Instrumentación Parcial de la presa de La Sotonera. 3ª Fase. Documento Técnico (noviembre de 2003).
- Actualización del Documento XYZT de la Presa de La Sotonera (noviembre de 2002).

### 5.1 VARIABLES EXTERIORES

Las instalaciones cuentan con una estación meteorológica, situada en las inmediaciones de la Casa de Administración. Está dotada de los siguientes instrumentos: pluviómetro manual, termómetro de máxima y de mínima diarias.

El SAIH dispone de las siguientes señales meteorológicas y de hidrología:

- Nivel del embalse
- Precipitaciones de lluvia

- Temperatura del aire

## 5.2 VARIABLES DE CONTROL

### 5.2.1 Control de las filtraciones.

No hay ningún elemento para el control de las filtraciones.

Según menciona el apartado de Auscultación del Documento XYZT: *“Hace tiempo había, por cada emisario un aforador o vertedero de pared delgada, por un total de tres (3) aforadores. Debido al pésimo estado de las galerías de drenaje, que prácticamente no recogen agua de filtraciones por los emisarios, no se vierte caudal apreciable.”*

En la actualidad no existen estos aforadores, de manera que no se controlan las filtraciones. Sin embargo, según indica el “Resumen del comportamiento” del Documento XYZT: *“las filtraciones recogidas por estos emisarios son mínimas y casi no existen, deduciéndose que el sistema de recogida de las filtraciones no funciona o está colapsado”*. Esto podría ser por las inyecciones de la época.

### 5.2.2 Control de los niveles piezométricos.

Para realizar este control hay instalados los siguientes sensores:

- 31 piezómetros de cuerda vibrante: dos (2) piezómetros en la sección Astón 1 ó S-3 (A6, A7), seis (6) en la sección Astón 2 ó S-2 (B3, B4, B5, B6, B7, B8), ocho (8) en la sección Sotón ó S-1 (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8), ocho (8) en la sección Alberca de Alcalá ó S-4 (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8), dos (2) en la sección S-2N (B1, B2) y cinco (5) en la sección S-3N (A1, A2, A3, A4, A5).
- 18 piezómetros abiertos: tres (3) piezómetros (3-1, 3-2, 3-3) en la sección Astón 1 ó S-3, tres (3) en la sección Astón 2 ó S-2 (2-1, 2-2, 2-3), cuatro (4) en la sección Sotón ó S-1 (1-1, 1-2, 1-3, 1-4), cuatro (4) en la sección Alberca de Alcalá ó S-4 (4-1, 4-2, 4-3, 4-4), dos (2) en la sección S-2N (2-4, 2-5) y dos (2) en la sección S-3N (3-4, 3-5).

<i>APARATOS DE AUSCULTACIÓN</i>	<i>Sección ASTÓN 1 ó S-3</i>	<i>Sección ASTÓN 2 ó S-2</i>	<i>Sección SOTÓN ó S-1</i>	<i>Sección ALBERCA ó S-4</i>	<i>Sección S-2N</i>	<i>Sección S-3N</i>	<i>TOTAL</i>
<i>Piezómetros de cuerda vibrante</i>	2	6	8	8	2	5	31
<i>Piezómetros abiertos</i>	3	3	4	4	2	2	18

Tabla. Resumen de los aparatos de auscultación instalados en la presa de La Sotonera.

A continuación se clasifican los dispositivos de auscultación divididos por secciones de control:

- Sección de control S-1 ó Sotón (se encuentra aproximadamente en el centro de la presa del Sotón).
  - Tres (3) piezómetros abiertos antiguos (1-1, 1-2, 1-3) en la berma de aguas arriba, coronación y en la berma aguas abajo a las cotas 419.09, 420.00 y 407.00 m.s.n.m., respectivamente.
  - Dos (2) piezómetros de cuerda vibrante (C7, C8) en un taladro vertical realizado desde la berma del espaldón aguas arriba, cota 419.09 m.s.n.m.
  - Cuatro (4) piezómetros de cuerda vibrante (C1, C2, C3, C4) en un taladro vertical realizado desde coronación de la presa, a la cota 420.00 m.s.n.m.
  - Dos (2) piezómetros de cuerda vibrante (C5, C6) en un tercer taladro vertical realizado desde la berma superior del espaldón aguas abajo, cota 407.00 m.s.n.m.
  - Un (1) piezómetro convencional (1-4) colocado en sondeos verticales en la coronación a la cota 420.00 m.s.n.m. a una profundidad de 38.50 m.
  
- Sección de control S-2 ó Astón 2.
  - Tres (3) piezómetros abiertos antiguos (2-1, 2-2, 2-3) dispuestos en la berma de aguas arriba, coronación y en la berma aguas abajo a las cotas 419.09, 420.00 y 407.00 m.s.n.m., respectivamente. Profundizando los tres hasta la cota 384.00 m.s.n.m.

- Dos (2) piezómetros de cuerda vibrante (B7, B8) instalados en un taladro vertical realizado desde la berma del espaldón de aguas arriba a la cota 414.09 m.s.n.m.
  - Tres (3) piezómetros de cuerda vibrante (B3, B4, B5) en el sondeo vertical de la coronación.
  - Un (1) piezómetro de cuerda vibrante (B6) ubicado en el sondeo vertical aguas abajo a 11.90 m. de profundidad en el contacto entre el hormigón de arcilla y el terreno natural.
- Sección de control S-3 ó Astón 1.
- Tres (3) piezómetros abiertos antiguos (3-1, 3-2, 3-3) en la berma de aguas arriba, coronación y en la berma aguas abajo a las cotas 419.09, 420.00 y 407.00 m.s.n.m., respectivamente. La perforación llega hasta la cota 384.00 m.s.n.m. para los tres piezómetros.
  - Dos (2) piezómetros de cuerda vibrante (A6 y A7) en un sondeo vertical aguas arriba.
- Sección de control S-4 ó Alberca de Alcalá (se encuentra ubicada en la sección transversal central de la presa de la Alberca de Alcalá).
- Tres (3) piezómetros abiertos antiguos (4-1, 4-2, 4-3) que se encuentran en la berma de aguas arriba, en coronación y en la berma aguas abajo a las cotas 419.09, 420.00 y 407.00 m.s.n.m., respectivamente.
  - Dos (2) piezómetros de cuerda vibrante (D7, D8) en el taladro situado aguas arriba.
  - Cuatro (4) piezómetros de cuerda vibrante (D1, D2, D3, D4) instalados en el sondeo de coronación. Dos (2) piezómetros de cuerda vibrante (D5 y D6) en el sondeo vertical realizado desde la berma superior del espaldón aguas abajo.
  - Un (1) piezómetro convencional (4-4) colocado en sondeos verticales en la coronación a la cota 420.00 m.s.n.m. a una profundidad de 37.00 m.

- Sección de control S-2N (ubicada sobre el cauce del río Astón).
  - Dos (2) piezómetros abiertos (2-4, 2-5). Las profundidades alcanzadas son de 36.00 m. y 20.50 m. para los situados en la coronación (2-4) y en la berma (2-5) respectivamente.
  - Dos (2) piezómetros de cuerda vibrante (B1, B2). Uno en coronación (B1) y el otro en la berma de aguas abajo (B2), con los sensores colocados a las cotas 390.60 y 387.60 m.s.n.m., respectivamente.
  
- Sección de control S-3N (situada entre los cauces de los ríos Vacas y Astón).
  - Dos (2) piezómetros abiertos (3-4, 3-5) en paralelo con los taladros realizados para la instalación de piezómetros de cuerda vibrante. Uno en coronación (3-4) hasta la cota 384.00 m.s.n.m. y otro en la berma de aguas abajo (3-5) hasta la cota 386.50 m.s.n.m.
  - Cinco (5) piezómetros de cuerda vibrante (A1, A2, A3, A4, A5). Tres piezómetros se han situado en un taladro vertical realizado desde coronación de la presa (A1, A2, A3). Dos piezómetros se han instalado en otro taladro vertical realizado desde la berma superior a cota 407.00 m.s.n.m. del espaldón de aguas abajo (A4, A5).

## 6. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN INSTALADO

El estado del sistema de auscultación es bueno en general y está funcionando correctamente, pero presenta algunas deficiencias que se deben tener en cuenta. A continuación se hace un corto resumen de las deficiencias más importantes a la fecha 31.12.08. En el Anejo N° 5 se recoge con mayor grado de detalle la situación actual del sistema de auscultación.

- En la actualidad no existen los tres aforadores de pared delgada que había tiempo atrás, de manera que no se controlan las filtraciones.
- Actualmente los piezómetros de cuerda vibrante C7 y C8 instalados en la sección Sotón ó S-1 suministran lecturas incoherentes y aportan datos erróneos. Se consideran dispositivos no operativos. El sistema automático de control remoto hace mención de estos fallos.
- El resto de los piezómetros de cuerda vibrante instalados en la presa suministran información desde el 18.06.07 hasta el 31.12.08. Sólo los PCV-C4, PCV-D6 y PCV-B4 presentan períodos cortos sin datos. Actualmente todos son considerados operativos.
- Algunos piezómetros convencionales presentan lecturas defectuosas porque durante cortos periodos de tiempo se han llenado de barro o de agua. Pero por lo general, se leen regularmente de forma idónea desde el 26.11.91 hasta el 22.12.08. Actualmente se consideran todos operativos.
- Cabe mencionar que los piezómetros convencionales P1-4 y P4-4 suministran datos desde el 16.12.03 hasta el 22.12.08. Por otro lado los piezómetros P2-4, P2-5, P3-4 y P3-5 registran datos desde el 16.02.00 hasta el 22.12.08.

A continuación se muestra una tabla resumen del sistema actual de auscultación. En ella se informa de la situación de todos los aparatos instalados en la presa de La Sotonera y su estado de operatividad a fecha 31.12.08.

**PRESA DE LA SOTONERA**  
**ESTADO DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN EXISTENTE A FECHA 31/12/2008**

VARIABLE AUSCULTADA	SENSOR	GRUPO	Nº TOTAL		Nº SENSORES		% SENSORES OPERATIVOS SOBRE EL TOTAL
			SENSORES	OPERATIVOS	OPERATIVOS	NO OPERATIVOS	
Nivel de embalse	Balanza neumática (SAIH) y escala graduada	Variables exteriores	2	2	2	0	100%
Temperatura ambiente	Termómetro manual y automático (SAIH)	Variables exteriores	2	2	2	0	100%
Precipitación acumulada	Pluviómetro manual y automático (SAIH)	Variables exteriores	2	2	2	0	100%
Caudales y filtraciones	Aforadores de pared delgada	Variables de control	3	0	0	3	0%
Presiones intersticiales	Piezómetros abiertos	Variables de control	18	18	18	0	100%
	Piezómetros de cuerda vibrante	Variables de control	31	29	29	2	93.55%
<b>TOTAL PUNTOS DE CONTROL:</b>			<b>58</b>	<b>53</b>	<b>53</b>	<b>5</b>	<b>91%</b>

**Tabla. Situación del sistema de auscultación instalado en la presa de La Sotonera el día 31/12/2008.**

## 7. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS GLOBAL DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA.

La metodología seguida para la elaboración de este Informe ha sido la siguiente:

- Recopilación de los datos manuales y automatizados de auscultación tomados de variables exteriores y de control, facilitados por el personal de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Estos datos fueron recibidos en archivos informáticos Access y Excel.
- Revisión y depuración de datos, lo que en general permite comprobar calidad y fiabilidad de los mismos.
- Visita a la presa de La Sotonera junto con personal de la Confederación Hidrográfica del Ebro en las que se inspecciona el sistema de auscultación y la obra civil, el día 11 de septiembre de 2008.
- Realización de los gráficos cronológicos de las variables medidas. En todos ellos se presenta la evolución temporal de las variables en cajetines superpuestos para relacionar entre sí causas y efectos: variables exteriores y variables de control.
- Introducción de las lecturas y los valores ingenieriles en la red informática utilizando el programa de ordenador Ausmodel<sup>4</sup>.
- Estudios de modelización estadística de las variables de control de la presa de Maidevera con el programa Ausmodel. Los pasos para obtener un modelo estadístico son: creación del modelo, identificación de los coeficientes, contrastación del modelo, establecimiento de tolerancias y análisis del modelo, obtención de tendencias en valores acumulados en el tiempo.

---

<sup>4</sup> Ausmodel: programa informático de modelización estadística de datos de auscultación enfocada fundamentalmente a presas desarrollado por OFITECO, y especialmente concebido para el tratamiento de los datos históricos, el control y la previsión de los fenómenos relacionados con las presas. (Definición extraída de OFITECO, S.A. Ausmodel 2.0. Manual del Usuario, 1.996).

- Análisis y estudio de los valores de las variables controladas.
- Elaboración de planos y gráficos que permiten conocer el comportamiento de la presa mediante su análisis.
- Elaboración de figuras con la estimación de las líneas de saturación en las secciones de control.
- Estudio e interpretación de resultados, prestando especial atención a la detección de los comportamientos más significativos de la presa y a la evolución de las variables de control.
- Fase de elaboración de los documentos.

## 8. ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA.

En el presente capítulo se analiza el comportamiento de la presa de La Sotonera entre los días 1 de noviembre de 1991 y el 31 de diciembre de 2008, haciendo hincapié en los datos de los últimos cinco años. Para ello se basa en los datos de auscultación obtenidos en este periodo.

Con el fin de facilitar el seguimiento de la memoria de este informe, en los planos del Anejo N°1 se muestra la localización de los distintos aparatos de auscultación de que dispone la presa.

### 8.1 VARIABLES EXTERIORES

La evolución temporal de las variables exteriores está incluida en los gráficos A-1, A-2 y A-3 del Anejo N° 2 donde se presentan los niveles del embalse y las precipitaciones diarias en la zona de emplazamiento de la presa, ya que éstas son variables exteriores que actúan de forma esencial sobre una presa de materiales sueltos.

Las temperaturas del aire no se representan ni se adjuntan en este informe porque la presa de La Sotonera se trata de una presa de materiales sueltos y esta variable exterior no tiene influencia en el análisis y evolución del comportamiento de la presa.<sup>5</sup>

#### 8.1.1 Nivel de embalse

La evolución general anual del nivel del embalse desde el año 1991 se puede repartir en las siguientes tres fases:

1. Otoño: Subida de 10-15 m. desde el nivel mínimo anual a principios de otoño hasta alcanzar un nivel de 416 m.s.n.m. a finales de otoño, aproximadamente.

---

<sup>5</sup> Según el Manual del Usuario del Ausmodel 3.1: *“En general, para la mayoría de los fenómenos a modelizar, no intervendrá la precipitación. En las presas de materiales sueltos, para la mayoría de los fenómenos a modelizar, no se deberá tener en cuenta la temperatura”*.

2. Invierno y primavera: Mantenimiento de un nivel elevado cerca del nivel máximo normal (417.50 m.s.n.m.) con pocas variaciones, hasta llegar al nivel máximo anual, aproximadamente 417 m.s.n.m., a finales de mayo.
3. Verano. Bajada de 10-15 m. hasta alcanzar el nivel mínimo anual.

En la tabla a continuación se presentan los niveles del embalse máximos, mínimos y medios desde el año 1992. El año 1991 no se representa porque únicamente se disponen datos de noviembre y diciembre.

Año	Nivel del Embalse (m.s.n.m.)		
	Máximo	Mínimo	Medio
1992	416.96	408.31	411.40
1993	416.84	409.51	414.71
1994	416.88	406.68	413.79
1995	417.05	402.30	411.18
1996	417.02	409.62	414.00
1997	416.86	411.29	414.74
1998	<b>417.08</b>	406.14	412.69
1999	416.75	409.94	412.63
2000	417.04	406.24	413.76
2001	416.83	405.58	<b>415.74</b>
2002	416.44	404.51	411.02
2003	416.77	405.61	411.27
2004	416.85	407.35	413.03
2005	412.09	<b>401.79</b>	<b>408.94</b>
2006	416.72	406.47	413.21
2007	416.97	406.23	413.04
2008	417.00	406.78	412.67

*Nota. Aparece el estilo de fuente en negrita para remarcar el valor del nivel de embalse máximo y mínimo absoluto y el mayor y menor nivel del embalse medio desde el año 1992.*

Tabla. Características de los niveles del embalse de La Sotonera.

Durante los años que se estudian, la explotación del embalse ha estado regulada y no se han presentado variaciones bruscas en la evolución del nivel, por lo que únicamente se destaca:

- La máxima carga hidrostática de todo el periodo contemplado se tuvo el día 11.06.98, correspondiendo a un nivel del embalse a la cota 417.08 m.s.n.m., y la mínima carga hidrostática los días 8, 9, 10, 11 y 12 de octubre de 2005, con el nivel de embalse a la cota 401.79 m.s.n.m. Siendo la variación máxima de nivel en todo el periodo de 15.29 m.
- Durante el periodo de estudio el nivel de embalse evoluciona de forma similar a años anteriores, variando en función de los ciclos de lluvia anuales y la explotación normal del embalse, de forma que el nivel sube en otoño y primavera y baja en verano.

### 8.1.2 Precipitaciones

Se tienen precipitaciones diarias con el sistema automático de toma de lecturas a partir de enero de 2001.

En la tabla a continuación se presentan las precipitaciones máximas diarias, la media y la suma de las precipitaciones anuales de los años 2001 a 2008.

Año	Precipitaciones		
	Max (mm/d)	Media (mm/d)	Acumulado (mm/a)
2001	26.9	0.80	291.4
2002	43.0	1.06	387.9
2003	46.4	1.68	611.6
2004	<b>106.4</b>	1.34	491.6
2005	24.5	<b>0.78</b>	<b>285.2</b>
2006	38.1	1.23	450.1
2007	30.8	0.85	309.8
2008	31.0	<b>1.15</b>	528.60

*Nota. Aparece el estilo de fuente en negrita para remarcar el valor más pequeño y más grande de las precipitaciones máximas diarias, la media y la suma de las precipitaciones anuales de los años 2001 a 2008.*

Tabla. Características de las precipitaciones en el embalse de La Sotonera.

De la observación de los datos obtenidos se destaca lo siguiente:

- Durante el año 2008 se han registrado las mayores precipitaciones (639.6 mm) desde el año 2001.
- En todo el año 2005 se registró un total de precipitaciones de 285.2 mm., valor que pone en evidencia la sequía del mismo, ya que la precipitación media anual en la cuenca del río Sotón durante los últimos dieciséis (8) años ha sido de 419.53 mm., mientras que en el 2008 la precipitación supera a esta media con un valor de 528.60 mm.
- El mayor volumen de precipitaciones se produce en otoño.
- Las mayores precipitaciones ocurren por el fenómeno conocido como gota fría. Estas perturbaciones son frecuentes en la Península Ibérica en las estaciones intermedias, sobre todo en otoño durante los meses de septiembre y octubre. Los días en que se recogieron mayores precipitaciones fueron los siguientes:
  - 07.09.04: 106.4 mm.
  - 14.10.03: 46.4 mm.
  - 08.10.02: 43.0 mm.
  - 05.09.03: 41.9 mm.

### **8.1.3 Temperatura del aire**

Como se ha mencionado anteriormente, la influencia de la temperatura del aire en una presa de materiales sueltos es despreciable frente a la variación en la evolución del nivel de embalse y las precipitaciones. Por todo esto, no se ha tenido en consideración la temperatura ambiente en la presa de La Sotonera.

## 8.2 VARIABLES DE CONTROL

### 8.2.1 Nivel piezométrico.

Se controlan las subpresiones con treinta y un (31) piezómetros de cuerda vibrante automatizados y dieciocho (18) piezómetros abiertos o hidráulicos que se leen cada (4) cuatro semanas. Estos piezómetros están instalados en seis (6) secciones transversales de control (S-1, S-2, S-3, S-4, S-2N, S-3N).

Se dispone de datos de lectura de los piezómetros abiertos o hidráulicos de cada cuatro (4) semanas desde el año 1991 hasta 2008. De los piezómetros de cuerda vibrante únicamente se dispone de datos desde el 18 de junio de 2007 hasta el 31 de diciembre de 2008.

El nivel piezométrico de los piezómetros de cuerda vibrante situados aguas abajo en las secciones de control, se mantienen casi constante a lo largo del tiempo. No tiene casi influencia de las variables exteriores.

Los piezómetros de cuerda vibrante PCV-D6, PCV-D8, PCV-C7 y PCV-C8 instalados en la sección Sotón ó S-1 suministran lecturas incoherentes y aportan datos erróneos. Además, existen piezómetros de cuerda vibrante, como el PCV-C4, PCV-B4, que alternan lecturas buenas con malas.

Para facilitar el análisis y seguimiento de los niveles piezométricos medidos, se presentan:

- Planos con la localización de los piezómetros en la presa (planos N° 3, 4, 5, 6, 7 y 8).
- Gráficos de la evolución temporal de los niveles piezométricos medidos con los piezómetros de cuerda vibrante (PCV), así como de su relación con respecto a la carga hidrostática del embalse (gráficos C1 a C18).
- Gráficos de la evolución temporal de las presiones medidas con los piezómetros abiertos o hidráulicos, así como de su relación con respecto a la carga hidrostática del embalse (gráficos B1 a B7).

- Alzado con las líneas de saturación estimadas para los días 18.06.07, 21.11.07 y 24.03.08 con los piezómetros de cuerda vibrante (PCV), fecha en la que el nivel del embalse estaba en la cota 462,138 (ver plano N° 11). El día 18.06.07 se ha escogido dado que el nivel de embalse (416.37) presentaba un valor alto cerca del nivel medio normal. Se ha decidido hacer la línea de saturación correspondiente al día 21.11.07 debido a que el nivel de embalse (406.32 m.s.n.m.) se encontraba en un valor muy bajo, representativo de principios de otoño. Finalmente, el día 24.03.08 se ha escogido dado que el nivel del embalse (410.00 m.s.n.m.) presentaba un valor en torno al cual suele estabilizarse durante unos meses todos los años, de forma que una comparación entre distintos periodos en esta situación resulta más fiable que en una situación de transición. En las siguientes figuras se muestran las líneas de saturación estimadas y promediadas según lo expuesto anteriormente.

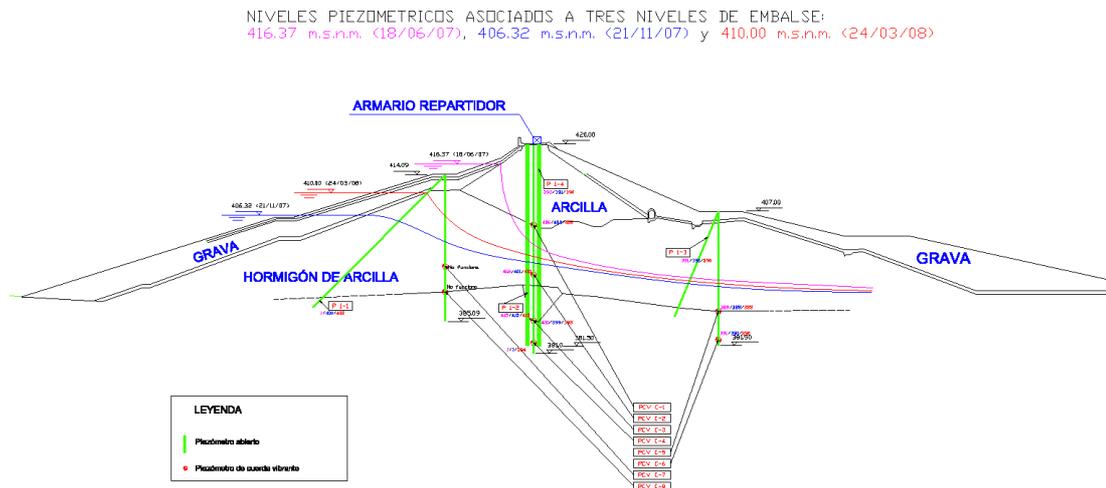


Figura. Líneas de saturación estimadas y promediadas en la sección n° 1.

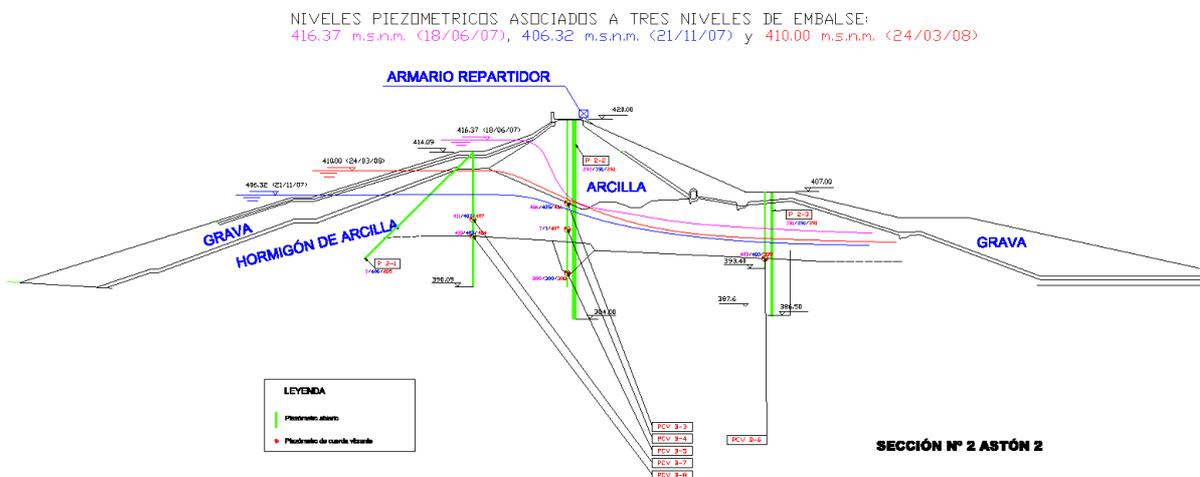


Figura. Líneas de saturación estimadas y promediadas en la sección n° 2.

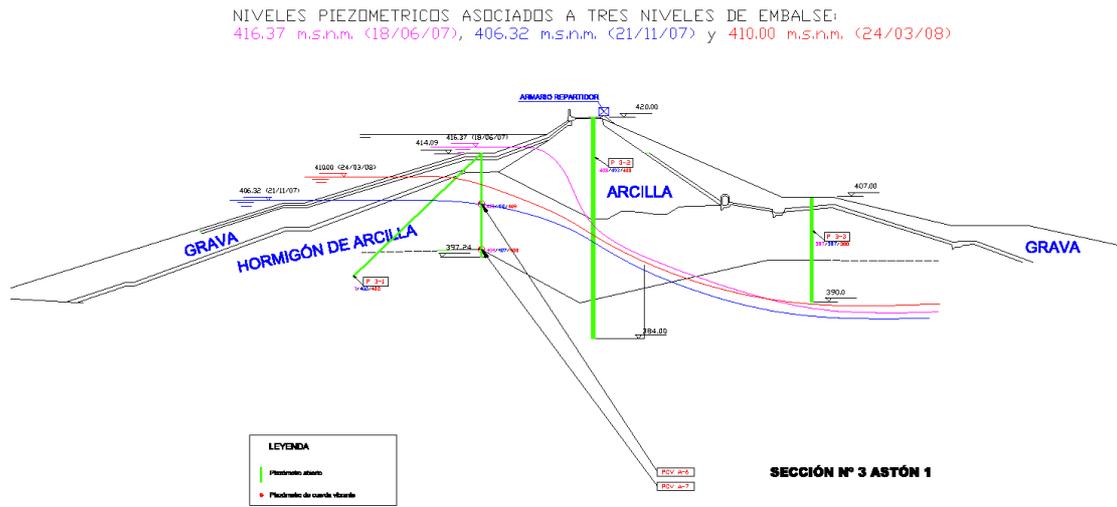


Figura. Líneas de saturación estimadas y promediadas en la sección nº 3.

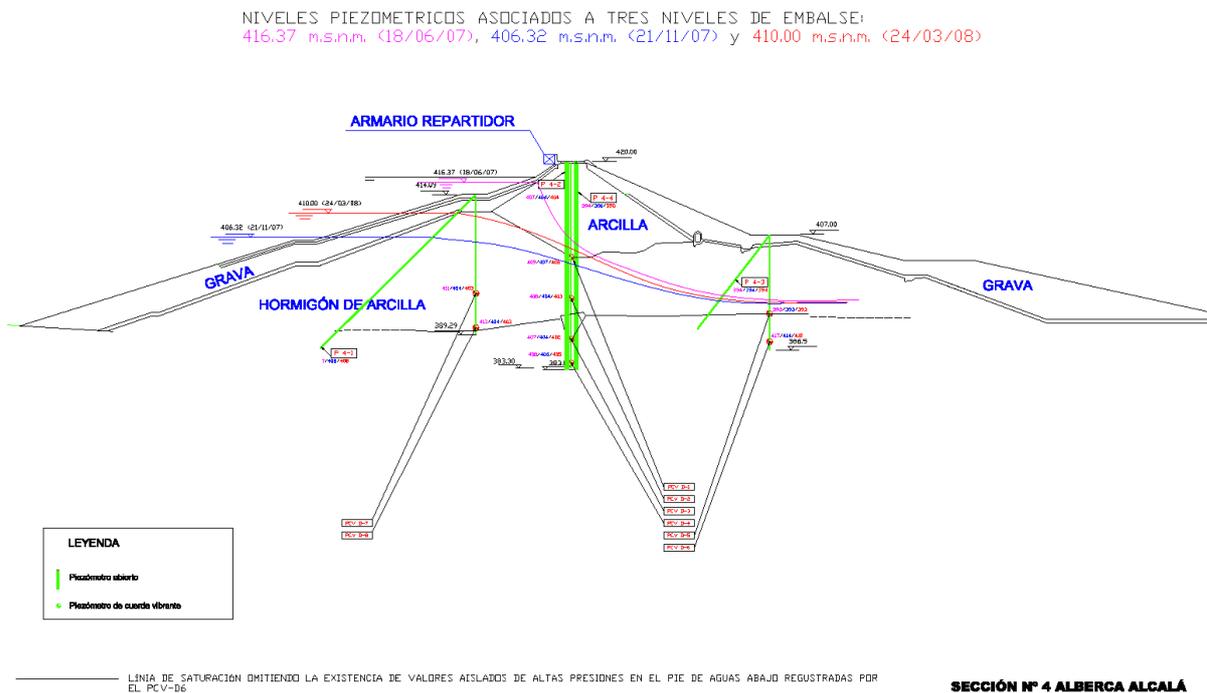


Figura. Líneas de saturación estimadas y promediadas en la sección nº 4.

NIVELES PIEZOMETRICOS ASOCIADOS A TRES NIVELES DE EMBALSE:  
 416.37 m.s.n.m. (18/06/07), 406.32 m.s.n.m. (21/11/07) y 410.00 m.s.n.m. (24/03/08)

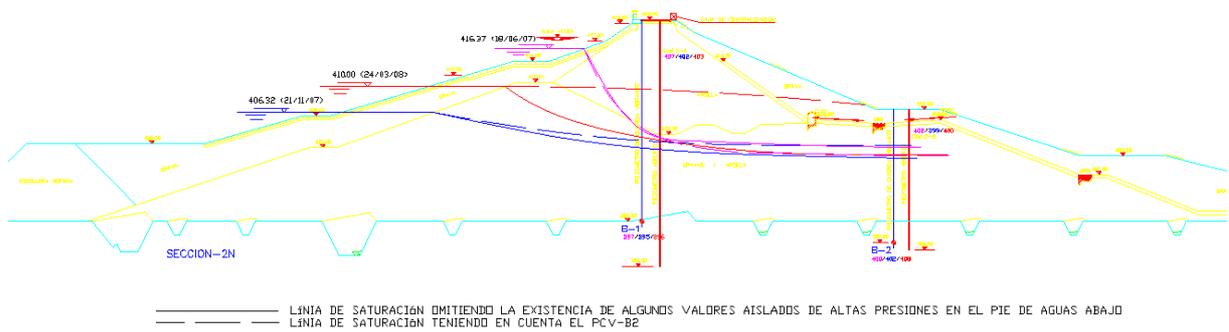


Figura. Líneas de saturación estimadas y promediadas en la sección S2-N.

NIVELES PIEZOMETRICOS ASOCIADOS A TRES NIVELES DE EMBALSE:  
 416.37 m.s.n.m. (18/06/07), 406.32 m.s.n.m. (21/11/07) y 410.00 m.s.n.m. (24/03/08)

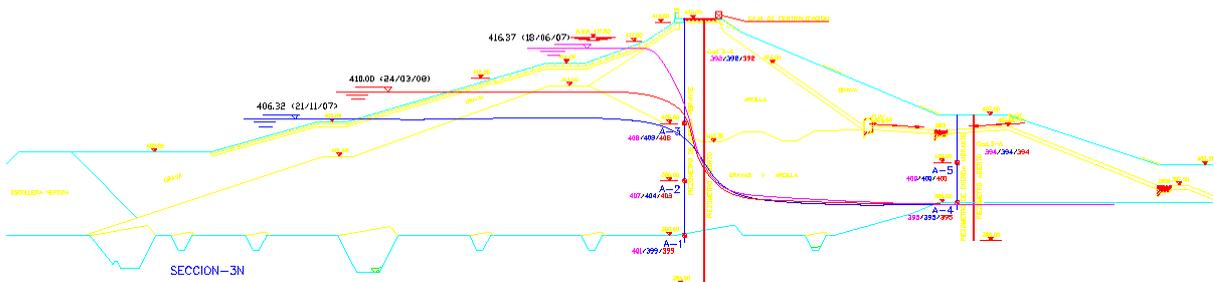


Figura. Líneas de saturación estimadas y promediadas en la sección S3-N.

De la observación de los datos obtenidos y gráficos presentados se resalta lo siguiente:

### 8.2.1.1. Niveles piezométricos en la sección de control S-1 o Sotón.

- Los piezómetros de cuerda vibrante instalados en esta sección son leídos diariamente de forma automática desde el 18.06.07 hasta el 31.12.08. Excepto el PCV-C4, que registra valores desde el 21.06.07 hasta el 31.12.08 presentando en muchos casos algunos períodos sombra sin registro.
- La serie de datos suministrada por el PCV-C4 alterna lecturas buenas con malas, con lo cual no se consideran como lecturas fiables dentro del análisis.

- El piezómetro PCV-C7 y PCV-C8 no suministran datos, actualmente se encuentran averiados.
- En el resto de piezómetros la serie de datos disponible es consistente en toda la historia, sólo destacan las lecturas tomadas el día 19.09.08, ya que en todos los piezómetros hay un salto que no es coherente con el resto.
- Los piezómetros hidráulicos o convencionales P1-1, P1-2 y P1-3 son leídos una vez por semana aproximadamente desde el 26.11.91 hasta el 11.12.01, y luego mensualmente desde el 25.01.02 hasta el 22.12.08. Estos registros presentan en ocasiones períodos sombra sin datos, sobretodo en el año 2001.
- El piezómetro hidráulico P1-4 suministra datos desde el 16.12.03 hasta el 22.12.08.
- El piezómetro hidráulico o convencional P1-2 presenta una inconsistencia de datos desde el 24.07.01 hasta el 31.12.08. Las lecturas son todas iguales a 415.30 m.s.n.m. y a su vez son mayores que la carga hidrostática del embalse. Estas están sobredimensionadas por la acumulación de fango en el piezómetro y no son consideradas en la modelación estadística.
- Es posible constatar con la modelación estadística la relación del nivel de embalse con la variable auscultada en el resto de los piezómetros, tanto de cuerda vibrante como convencionales. Sin embargo la influencia de embalse es reducida.
- Se aprecia una subida irreversible de las presiones medidas con el piezómetro abierto o convencional P1-1 y P1-4 en los últimos diecisiete (17) años, con pendientes medias de 0.353 m.c.a./año y 0.127 m.c.a./año respectivamente.
- Los niveles piezométricos que se registran con los piezómetros de cuerda vibrante C1, C2, C3, C5 y C6 (el C7 y C8 están averiados), instalados en la sección de control S-1 o Sotón, evolucionan en función de las variaciones del nivel de embalse. Sólo destaca el PCV-C5 ya que se mantiene en un nivel constante (388.30 m.s.n.m.) con cambios de muy poca entidad.
- La máxima variación anual se mide con los piezómetros de cuerda vibrante PCV-C2 y PCV-C6 y no supera los 2 m.c.a., siendo un valor muy pequeño en relación con la

oscilación del embalse, que indica una alta impermeabilidad en la zona central de la presa en la sección de Sotón.

- Las variaciones anuales en las presiones que se registran con los piezómetros convencionales son reducidas, pero tienen un comportamiento acorde con la variación del nivel de embalse. Únicamente hay ocasiones en que las variaciones de presiones son altas después de un periodo de acumulación de fango y/o agua.

#### **8.2.1.2. Niveles piezométricos en la sección de control S-2 o Astón 2.**

- Los piezómetros de cuerda vibrante instalados en esta sección de control son leídos diariamente de forma automática desde el 18.06.07 hasta el 31.12.08 y en general son bastante buenas. Sólo el PCV-B4 suministra lecturas desde el 21.06.07 hasta el 31.12.08, y presenta en ocasiones días sin registro de datos.
- Destacan las lecturas tomadas el día 19.09.08, ya que en todos los piezómetros hay un salto que no es coherente con el resto.
- El piezómetro de cuerda vibrante PCV-B4, registra un conjunto de valores iguales a 400.30 m.s.n.m. en los últimos 6 meses del año 2008, considerada inconsistente dentro del análisis.
- El piezómetro PCV-B8 alterna lecturas buenas con erróneas, desde febrero de 2008 hasta diciembre del mismo año.
- Los piezómetros hidráulicos o convencionales P2-1, P2-2 y P2-3 son leídos una vez por semana aproximadamente desde el 26.11.91 hasta el 11.12.01, y luego mensualmente desde el 25.01.02 hasta el 22.12.08. Estos registros son consistentes en la historia, sólo presentan en ocasiones períodos sombra sin datos, sobretodo en el año 2001.
- Es posible constatar con la modelación estadística la relación del nivel de embalse con la variable auscultada en los piezómetros, tanto de cuerda vibrante como convencionales. Sin embargo la influencia de embalse es reducida.

- En el PCV-B4 se ha elaborado un filtrado de los datos inconsistentes intentando con ello conseguir un mejor ajuste. Este proceso fue llevado a cabo en el PCV-B8
- Se aprecia una subida irreversible de las presiones medidas con el piezómetro abiertos P2-1, con una pendiente media de 0.205 m.c.a./año.
- La máxima variación anual se mide con los piezómetros de cuerda vibrante PCV-B7 y PCV-B8, situados aguas arriba de la sección de control, y no supera los 5 m.c.a., siendo un valor pequeño en relación con la oscilación del nivel de embalse.
- Las presiones que se miden con todos los piezómetros abiertos o convencionales P2-1, P2-2 y P2-3 de la sección de control S-2 tienen un comportamiento acorde con la oscilación del embalse.

### **8.2.1.3. Niveles piezométricos en la sección de control S-3 o Astón 1.**

- Los piezómetros de cuerda vibrante instalados en esta sección de control son leídos diariamente de forma automática desde el 18.06.07 hasta el 31.12.08 y en general son bastante buenas. Destacan las lecturas tomadas el día 19.09.08, ya que en todos los piezómetros hay un salto que no es coherente con el resto.
- Los piezómetros hidráulicos o convencionales P3-1, P3-2 y P3-3 son leídos una vez por semana aproximadamente desde el 26.11.91 hasta el 11.12.01, y luego mensualmente desde el 25.01.02 hasta el 22.12.08. En ocasiones se presentan períodos sombra sin datos, sobretodo en el año 2001.
- En general las lecturas son bastante buenas, sin embargo destaca la serie registrada por el P3-2, ya que desde 26.11.91 hasta el 15.03.94 los datos se encuentran alrededor de 10 m.c.a. por debajo del resto de lecturas.
- Es posible constatar con la modelación estadística la relación del nivel de embalse con la variable auscultada en los piezómetros, tanto de cuerda vibrante como convencionales. Sin embargo la influencia de embalse es reducida.
- No es posible parametrizar de forma correcta el comportamiento del piezómetro abierto P3-3.

- No se aprecian efectos irreversibles en los puntos de control.
- El piezómetro de cuerda vibrante PCV-A6 mide una presión reducida en el periodo de tiempo en que el embalse ha estado por debajo de la cota 409 m.s.n.m., pero el porcentaje del nivel de embalse con respecto a la carga hidrostática es superior al 100%. Esto indica un nivel piezométrico que se mantiene por encima del nivel de embalse. Este comportamiento está influenciado por la cota de instalación del piezómetro PCV-A6 que es la 405.90 m.s.n.m., muy cercana a la 409 m.s.n.m. Esto es habitual cuando la cota del agua se encuentra próxima o por debajo de la cota del sensor piezométrico y es debido a la inercia en la disipación de la presión intersticial cuando el embalse desciende de cota.
- En general los piezómetros abiertos presentan variaciones de poca entidad y la influencia del nivel de embalse es muy reducida.

#### **8.2.1.4. Niveles piezométricos en la sección de control S-4 o Alberca de Alcalá.**

- Los piezómetros de cuerda vibrante PCV-D1, PCV-D2, PCV-D3, PCV-D4, PCV-D5 y PCV-D7 instalados en esta sección de control son leídos diariamente de forma automática desde el 18.06.07 hasta el 31.12.08 y en general son bastante buenas. Destacan las lecturas tomadas el día 19.09.08, ya que en todos los piezómetros hay un salto que no es coherente con el resto.
- Los piezómetros de cuerda vibrante PCV-D6 y PCV-D8 suministran datos erróneos de presión y no ha sido considerados en el análisis de los datos y gráficos obtenidos.
- Los piezómetros abiertos P4-1, P4-2 y P4-3 son leídos una vez por semana aproximadamente desde el 26.11.91 hasta el 11.12.01, y luego mensualmente desde el 25.01.02 hasta el 22.12.08. En ocasiones se presentan períodos sombra sin datos, sobretodo en el año 2001.
- El piezómetro P4-4 registra datos mensuales desde 16.12.03 hasta el 22.12.08.
- En general las lecturas registradas por estos piezómetros son bastante buenas y mantienen coherencia a lo largo de la historia.

- Es posible constatar con la modelación estadística la relación del nivel de embalse con la variable auscultada en los piezómetros, tanto de cuerda vibrante como convencionales. Sin embargo la influencia de embalse es reducida.
- No es posible obtener una adecuada parametrización del comportamiento en el piezómetro de cuerda vibrante PCV-D5.
- No se aprecian comportamientos irreversibles en los puntos de control.
- Las presiones medidas por los piezómetros de cuerda vibrante PCV-D1, PCV-D2, PCV-D3 y PCV-D4, emplazados en el núcleo de la presa de Alberca de Alcalá, están influenciadas sobretodo por la cota del embalse y en general son de poca magnitud.
- El nivel piezométrico del PCV-D7, situado aguas arriba de la sección de control S-4, se comporta fielmente según las variaciones del nivel del embalse.
- El nivel piezométrico del PCV-D5, situado aguas abajo de la sección de control S-4, se mantiene casi constante a lo largo del tiempo. No tiene casi influencia de las variables exteriores.
- Las presiones que se miden con los piezómetros abiertos o convencionales P4-2, P4-3 y P4-4 tienen un comportamiento acorde con la oscilación del embalse.
- El piezómetro abierto P4-1, situado aguas arriba de la presa de Alberca de Alcalá, mide presiones altas que equivalen a un 100% de la carga hidrostática del embalse. Con niveles del embalse por encima de la 412 m.s.n.m., este valor baja un poco. Con niveles del embalse por debajo de la cota 410 m.s.n.m., el nivel piezométrico medido con el P4-1 supera el del embalse. Esto puede ser causado por una disipación lenta de las presiones intersticiales en el subsuelo de la presa de Alberca de Alcalá y por la influencia del nivel freático.

#### **8.2.1.5. Niveles piezométricos en la sección de control S-2N.**

- Los piezómetros de cuerda vibrante instalados en esta sección de control son leídos diariamente de forma automática desde el 18.06.07 hasta el 31.12.08 y en general

son bastante buenas. Las lecturas tomadas el día 19.09.08 en todos los piezómetros son inconsistentes ya que dan salto que no es coherente con el resto.

- En general las lecturas suministradas por estos piezómetros son buenas. Sólo destacan las suministradas por el PCV-B2 entre julio y diciembre de 2008, ya que presentan registros iguales a 387.9 m.s.n.m. que son inconsistentes con el resto.
- Los piezómetros abiertos P2-4 y P2-5 instalados en esta sección son leídos una vez al mes aproximadamente desde el 16.02.00 hasta el 22.12.01. El P2-4 no presenta registros de marzo a junio de 2005 y el P2-5 no tiene registro el día 18.04.00.
- Lecturas son bastante buenas en estos piezómetros y son consideradas consistentes. No obstante destacan las del P2-4 entre el período 16.02.00 al 23.01.00, debido a que estas permanecen casi constantes con variaciones de poca entidad.
- Es posible constatar con la modelación estadística la relación del nivel de embalse con la variable auscultada en los piezómetros, tanto de cuerda vibrante como convencionales. Sin embargo la influencia de embalse es reducida.
- Se han elaborado procesos de filtrado de la información en los modelos estadísticos de los piezómetros PCV-B2 y P2-4 intentando con ello obtener un mejor ajuste.
- No se aprecian comportamientos irreversibles en los puntos de control.
- En el piezómetro de cuerda vibrante PCV-B2, se aprecia una subida brusca de la presión desde octubre de 2007 llegando a superar el nivel del embalse a partir de junio de 2008, manteniéndose con series de valores igualmente altos hasta diciembre del mismo año.
- El nivel piezométrico del PCV-B1, emplazado en el núcleo de la sección S-2N, se mantiene casi constante a lo largo del tiempo. No tiene casi influencia de las variables exteriores.
- Los piezómetros abiertos o convencionales P2-4 y P2-5 tienen un comportamiento acorde con las oscilaciones del nivel de embalse.

### 8.2.1.6. Niveles piezométricos en la sección de control S-3N.

- Los piezómetros de cuerda vibrante instalados en esta sección de control son leídos diariamente de forma automática desde el 18.06.07 hasta el 31.12.08 y en general son bastante buenas. Las lecturas tomadas el día 19.09.08 en todos los piezómetros son inconsistentes ya que dan salto que no es coherente con el resto.
- Por otro lado las lecturas de los piezómetros abiertos P3-4 y P3-5 son leídas una vez al mes aproximadamente desde el 16.12.00 hasta el 22.12.08, presentando en ocasiones días sin registro.
- En general los modelos estadísticos obtenidos para PCV-A1 y PCV-A2 son buenos, sin embargo en el resto (PCV-A3, PCV-A4 y PCV-A5) no es posible conseguir una modelación estadística consistente.
- Es posible constatar con la modelación estadística la relación del nivel de embalse con la variable auscultada en los piezómetros, tanto de cuerda vibrante como convencionales. Sin embargo la influencia de embalse es reducida.
- No se aprecian comportamientos irreversibles en los puntos de control.
- El piezómetro de cuerda vibrante PCV-A3, situado en el núcleo de la sección S-3N, mide una presión reducida en el periodo de tiempo en que el embalse ha estado por debajo de la cota 409 m.s.n.m., pero el porcentaje del nivel de embalse con respecto a la carga hidrostática es superior al 100%. Esto indica un nivel piezométrico que se mantiene por encima del nivel de embalse. Este comportamiento está influenciado por la cota de instalación del piezómetro PCV-A3 que es la 405.80 m.s.n.m., muy cercana a la 409 m.s.n.m. Esto se produce cuando la cota del agua se encuentra próxima o por debajo de la cota del sensor piezométrico y es debido a la inercia en la disipación de la presión intersticial cuando el embalse desciende de cota.
- Las presiones que registran los piezómetros de cuerda vibrante PCV-A1 y PCV-A2 evolucionan de la misma forma que las variaciones del nivel de embalse.

- Los niveles piezométricos de los PCV-A4 y PCV-A5, situados aguas abajo de la sección de control S-3N, se mantienen casi constantes a lo largo del tiempo. No tienen casi influencia de las variables exteriores.

## 9. CONCLUSIONES

A la vista del análisis expuesto en los capítulos anteriores y considerando la tipología de la presa, sus características, el comportamiento de la misma durante el período en estudio y su antigüedad, se indican las siguientes conclusiones generales, las cuales se han clasificado en 4 grupos como se presenta a continuación.

a) Sobre las lecturas de instrumentos disponibles y el estado actual del sistema de auscultación instalado:

1. Los datos de nivel de embalse utilizados en el presente informe son automáticos de frecuencia diaria y se han extraídos de la base de datos del Sistema Automático de Información Hidrológica (S.A.I.H).
2. En relación a los datos de las precipitaciones, sólo se tiene información automática diaria a partir de enero de 2001. Entre 1999 y 2000 se cuenta con datos de precipitaciones mensuales.
3. Actualmente, funcionan o se realizan lecturas del 98.93% de los instrumentos instalados en la presa. La siguiente Tabla muestra el porcentaje de operatividad de los instrumentos.

SENSOR / INSTRUMENTO / EQUIPO	NÚMERO TOTAL DE SENSORES	PORCENTAJE DE SENSORES OPERATIVOS	PORCENTAJE DE FIABILIDAD DE LAS LECTURAS
Balanza neumática (SAIH) y escala graduada	2	100%	100%
Termómetro manual y automático (SAIH)	2	100%	100%
Pluviómetro manual y automático (SAIH)	2	100%	100%
Aforadores de pared delgada	3	0%	0%
Piezómetros de cuerda vibrante	31	93.55%	89.65%
Piezómetros abiertos	18	100%	88.88%
TOTAL PUNTOS DE CONTROL:	58	91 %	90.56%

Tabla. Instrumentos operativos en la presa de La Sotonera

4. Actualmente hay 5 instrumentos no operativos instalados en la presa a fecha 31.12.08.

5. Los piezómetros de cuerda vibrante PCV-C4, PCV-D6 y PCV-D8 aportan lecturas que no son consideradas fiables dentro del análisis.
6. Los piezómetros de cuerda vibrante PCV-B4, PCV-B8 y PCV-B2 tienen series de registros que en ocasiones se tornan inconsistentes.
7. Los piezómetros de cuerda vibrante PCV-C7 y PCV-C8 no funcionan.
8. Los piezómetros abiertos o convencionales P1-2 y P3-2 arrojan lecturas que no son consideradas fiables dentro del análisis, ya que estos instrumentos tienen acumulaciones de fango.

b) Sobre el comportamiento de las variables de control.

1. En algunos casos (PCV-B7, PCV-B4, PCV-A6, PCV-A7, PCV-D1) se miden niveles piezométricos ligeramente superiores a la carga hidrostática del embalse. Estas lecturas coinciden normalmente con un nivel bajo o un descenso rápido del nivel de embalse y podría estar influenciada por la inercia hidráulica debida a la impermeabilidad del suelo.
2. Los valores suministrados por los piezómetros de cuerda vibrante PCV-C5, PCV-B5, PCV-D5, PCV-A3, PCV-A4 y PCV-A5 permanecen casi constantes con variaciones de muy poca entidad en todo el período de registro. Con lo cual, no es posible obtener una adecuada modelación estadística.
3. El piezómetro de cuerda vibrante PCV-B2, presenta una subida brusca de presiones desde octubre de 2007, superando a partir de julio de 2008 el nivel piezométrico definido por el embalse manteniéndose con series de valores igualmente altos en el resto del período.
4. Como en cualquier presa de materiales sueltos, no se ha tenido en cuenta la temperatura para los diferentes fenómenos a modelizar.
5. Las series de datos de los piezómetros de cuerda vibrante resultan todavía cortas para poder extraer conclusiones de la modelación estadística. Sin

embargo se constata la influencia del nivel de embalse sobre la variable auscultada.

6. En los piezómetros de cuerda vibrante PCV-B4, PCV-B8 y PCV-B2 se hizo un filtrado de la información inconsistente, intentando con ello mejorar la modelación estadística.
7. No se elaboraran modelos estadísticos en los piezómetros de cuerda vibrante PCV-C4, PCV-D6 y PCV-D8 ya que las lecturas no son fiables. La mayor parte de los registros son inconsistentes.
8. Los piezómetros abiertos P1-2 y P3-2 presentan lecturas no fiables y no son consideradas dentro de la modelación estadística. P1-2 registra niveles por encima del embalse y el P3-2 presenta una acumulación de fango de 17.0 mts.
9. Es posible constatar con la modelación estadística la relación del nivel de embalse con la variable auscultada en la mayoría de los piezómetros convencionales. Sin embargo la influencia de embalse es reducida.
10. Los datos de lecturas de los piezómetros abiertos P3-3 y P1-3, permanecen con variaciones de poca entidad y no permiten establecer una correcta modelación estadística.
11. Los datos de lecturas de los piezómetros abiertos P3-3 y P1-3 presentan oscilaciones de acuerdo al nivel de embalse, sin embargo, no es posible obtener una parametrización del comportamiento coherente.
12. Se aprecian comportamientos irreversibles por el paso del tiempo en los piezómetros abiertos P1-1, P1-4, P2-1, siendo las pendientes medias iguales a 0.353 m.c.a./año, 0.127 m.c.a./año y 0.205 m.c.a./año respectivamente.
13. Las variaciones anuales en las presiones que se registran con los piezómetros abiertos o convencionales son reducidas, pero tienen un comportamiento acorde con la variación del nivel de embalse. Únicamente

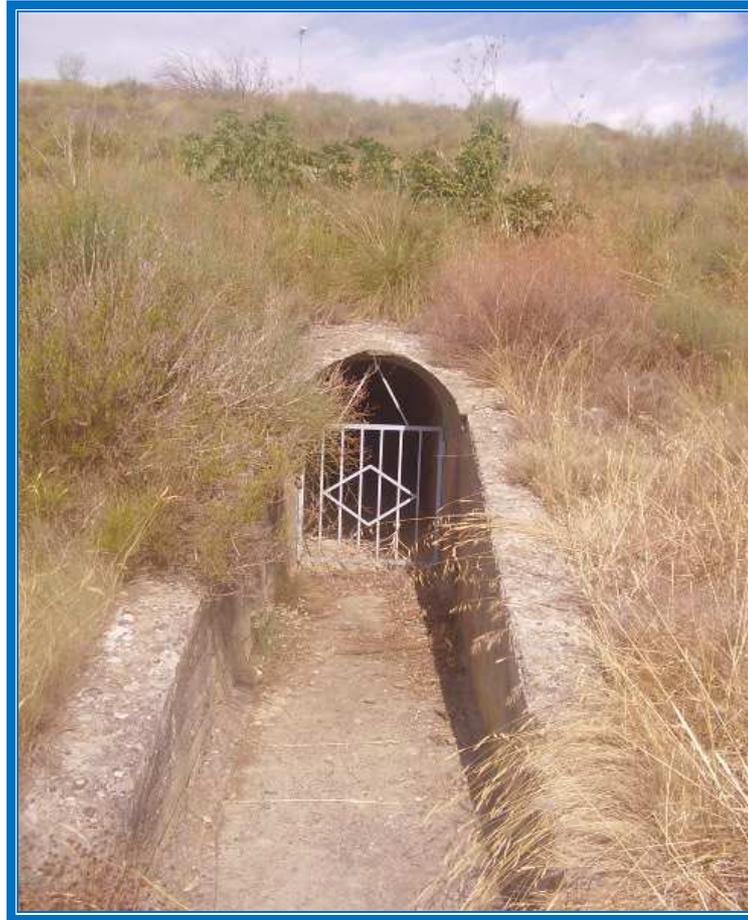
hay ocasiones en que las variaciones de presiones son altas después de un periodo de acumulación de fango y/o agua.

14. Por la especial relevancia que tienen las presiones intersticiales en la estabilidad de las presas de materiales sueltos, se estimaron y promediaron las líneas de en tres días (18.06.07, 21.11.07 y 24.03.08) con diferentes cargas hidrostáticas indican un alto grado de impermeabilidad en el cuerpo de la presa (ver planos n<sup>os</sup> 9, 10, 11, 12 y 13).

- El día 18.06.07 se ha escogido dado que el nivel de embalse (416.37 m.s.n.m.) presentaba un valor alto cerca del nivel medio normal. Se ha decidido hacer la línea de saturación correspondiente al día 21.11.07 debido a que el nivel de embalse (406.32 m.s.n.m.) se encontraba en un valor muy bajo, representativo de principios de otoño. Finalmente, el día 24.03.08 se ha escogido dado que el nivel del embalse (410.00 m.s.n.m.) presentaba un valor en torno al cual suele estabilizarse durante unos meses todos los años, de forma que una comparación entre distintos periodos en esta situación resulta más fiable que en una situación de transición.

c) Sobre la inspección realizada:

1. La principal incidencia respecto del punto de vista de la seguridad es sin duda el estado de la galería de drenaje. En la visita efectuada para el reconocimiento de la presa, se intentó su inspección desde diferentes entradas o bocas de acceso pero fue imposible por el estado de la galería y por el aviso previo del personal de la explotación sobre la falta de seguridad en la visita y la inconveniencia de esta. Sin embargo, desde las bocas de acceso, se puede intuir la gravedad del estado en que se encuentran las galerías, observándose acumulaciones de arcilla que impiden la circulación o recogida del agua filtrada. La siguiente imagen muestra la entrada a la galería de la cota 404.78 m.s.n.m.



Boca de la galería (cota 404.78 m.s.n.m.).

d) Sobre la seguridad de la presa:

1. En conjunto, de la historia conocida y del comportamiento observado, la presa presenta aspectos que merecen especial atención. En particular, el hecho de haber presentado socavones en los años 60 y en distintas zonas puede ser reflejo de defectos de diseño y construcción que pudieran permanecer más allá de las reparaciones que se efectuaron. Añadiendo a esto la existencia de valores de altas presiones en el pie de aguas abajo, registradas por el piezómetro de cuerda vibrante PCV-B2, se concluye que el seguimiento y análisis de la instrumentación debe ser intensivo y, en su caso, aumentarse el nivel de control.

## 10. PROGRAMA DE LECTURAS RECOMENDADO.

A partir de los datos de auscultación y la inspección realizada a la presa, es conveniente mantener un programa de mediciones, ya que es preciso seguir contrastando las lecturas obtenidas de forma automática y las manuales, confirmando las precisiones de los distintos elementos de control.

De los sensores que están conectados al sistema automático de medición se almacenan lecturas diarias.

Las lecturas manuales se realizarán de todos los aparatos y sistemas que no precisen el desmontaje del sensor automático para realizar dicha lectura manual. Estos datos se almacenan en la aplicación SIGAP proporcionada por la Dirección General del Agua desarrollada por el CEDEX.

Las frecuencias establecidas a continuación corresponden a un estado normal y estable de las diferentes variables a estudiar. La elaboración de este Plan se ha realizado atendiendo a las recomendaciones del COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS. En caso de registrar datos anómalos convendría duplicar las frecuencias y si la situación continuase, se realizarán las lecturas diariamente. A continuación se indica el programa de toma de lecturas manuales:

- Piezómetros abiertos o convencionales: lectura semanal.

Siempre que se produzca una avenida importante, o un movimiento sísmico en la zona que sea superior al grado 6 en la escala MKS, o se detecte un comportamiento anómalo en la presa, se deberá realizar inmediatamente una campaña general de toma de lecturas con los aparatos de auscultación y proceder a un análisis inmediato de la información obtenida.

## 11. RECOMENDACIONES

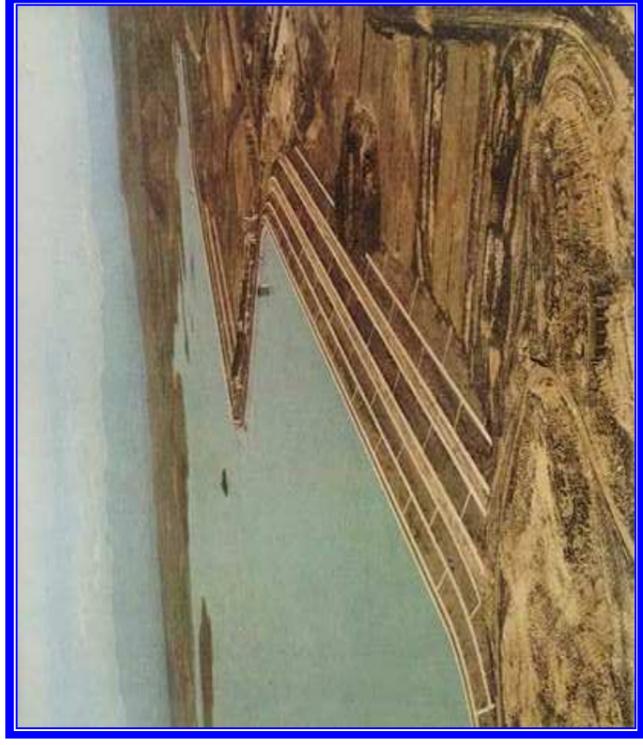
De acuerdo con todo lo indicado en el presente informe y apoyándose en el Anejo N° 5, se dan las recomendaciones siguientes:

1. Debe continuarse analizando las variables de auscultación de la presa y comprobándose el correcto comportamiento de ésta, así como el buen funcionamiento del sistema de auscultación. El seguimiento y análisis de la instrumentación debe ser intensivo y, en su caso, aumentarse el nivel de control.
2. Ejecutar un nuevo sondeo en la sección de control S2-N, con la finalidad de aumentar el control de los niveles piezométricos en la zona de aguas abajo. Con ello es posible verificar el comportamiento observado en el piezómetro PCV-B2.
3. Realizar un mantenimiento de la galería de drenaje. En la actualidad, el acceso a la galería es inviable, por lo que es imposible realizar una visita en el interior de la misma.
4. Rehabilitar el sistema de drenaje dentro de la galería e instalar aforadores para controlar las filtraciones a través de la presa.
5. Instalar un sistema de colimación y nivelación para controlar los asientos y los desplazamientos horizontales en la coronación de la presa.
6. Realizar el programa de mediciones que se incluye en el capítulo 10.
7. Es importante llevar a cabo un especial seguimiento a la evolución de los instrumentos que se presentan en la siguiente Tabla, ya que actualmente son los que auscultan las pocas anomalías caracterizadas en la presa.

Instrumentos	Codificación del instrumento	Motivo por el cual se debe vigilar el instrumento
Piezómetros de Cuerda Vibrante	PCV-C1	El comportamiento ha sido parametrizado con los modelos estadísticos de forma correcta. Con lo cual, los registros suministrados en este instrumento se consideran altamente fiables ante una posible respuesta anómala en el cuerpo de presa.
	PCV-C6	
	PCV-B3	
	PCV-A6	
	PCV-A7	
	PCV-B2	Este piezómetro registra una subida de presiones que llega a sobrepasar el nivel de embalse. Es necesario verificar las lecturas que registra este instrumento.
Piezómetros Abiertos	P1-1	Estos piezómetros son los que registran un comportamiento irreversible acumulado en el tiempo de las presiones intersticiales en el cuerpo de presa.
	P1-4	
	P2-4	
	P4-2	El comportamiento ha sido parametrizado con el modelo estadístico de forma correcta. Con lo cual, los registros suministrados en este instrumento se consideran altamente fiables ante una posible respuesta anómala en el cuerpo de presa.

Valencia, junio de 2009.

VISTA DE LA PRESA DE LA SOTONERA



**CONCLUSIONES MÁS IMPORTANTES DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE LA SOTONERA**

**PRESIONES INTERSTICIALES**

En algunos casos (PCV-B7, PCV-B4, PCV-A6, PCV-A7, PCV-D1) se miden niveles piezométricos ligeramente superiores a la carga hidrostática del embalse. Estas lecturas coinciden normalmente con un nivel bajo o un descenso rápido del nivel de embalse y podría estar influenciada por la inercia hidráulica debida a la impermeabilidad del suelo.

El piezómetro de cuerda vibrante PCV-B2, presenta una subida brusca de presiones desde octubre de 2007, superando a partir de julio de 2008 el nivel piezométrico definido por el embalse manteniéndose con series de valores igualmente altos en el resto del periodo.

El P1-2 y el P4-1 registran niveles por encima del embalse, no resultando por tanto lecturas fiables.

El P3-2 tiene una acumulación de fango de 17.0 mts, por tanto sus lecturas no son fiables.

Las presiones medidas están básicamente influenciadas por el nivel del embalse y son en general de poca magnitud.

En todas las secciones controladas con varios piezómetros se aprecia una disminución de las presiones intersticiales desde aguas arriba a aguas abajo de la presa.

Las líneas de saturación estimadas y promediadas en tres días con diferentes cargas hidrostáticas indican una alta impermeabilidad del material que constituye el cuerpo de presa.

**SEGURIDAD**

En conjunto, de la historia conocida y del comportamiento observado, la presa presenta aspectos que merecen especial atención. En particular, el hecho de haber presentado socavones en los años 60 y en distintas zonas puede ser reflejo de defectos de diseño y construcción que pudieran permanecer más allá de las reparaciones que se efectuaron. Añadiendo a esto la existencia de valores de altas presiones en el pie de aguas abajo, registradas por el piezómetro de cuerda vibrante PCV-B2, se concluye que el seguimiento y análisis de la instrumentación debe ser intensivo y, en su caso, aumentarse el nivel de control.

**OPERATIVIDAD Y FIABILIDAD DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN**

A FECHA 31-12-2008

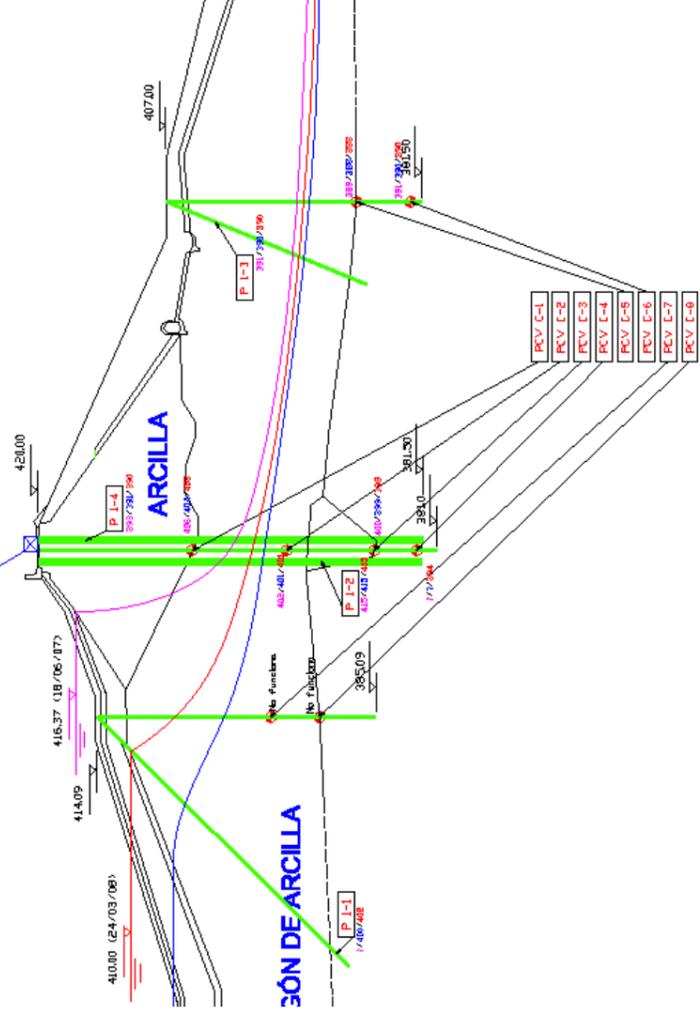
SENSOR / INSTRUMENTO / EQUIPO	NÚMERO TOTAL SENSORES	PORCENTAJE DE SENSORES OPERATIVOS	PORCENTAJE DE FIABILIDAD DE LAS LECTURAS
Balanza neumática (SAIH) y escala graduada	2	100%	100%
Termómetro manual y automático (SAIH)	2	100%	100%
Pluviómetro manual y automático (SAIH)	2	100%	100%
Aforadores de pared delgada	3	0%	0%
Piezómetros de cuerda vibrante	31	93.55%	89.65%
Piezómetros abiertos	18	100%	88.88%
<b>TOTAL PUNTOS DE CONTROL:</b>	<b>58</b>	<b>91 %</b>	<b>90.56%</b>

**INSTRUMENTOS A SEGUIR EXHAUSTIVAMENTE**

INSTRUMENTO	CODIFICACION DEL INSTRUMENTO	MOTIVO POR EL CUAL SE DEBE VIGILAR EL INSTRUMENTO
Piezómetros de cuerda Vibrante	PCV-C1, PCV-C6 PCV-B3 PCV-A6 PCV-A7	El comportamiento ha sido parametrizado con los modelos estadísticos de forma correcta. Los registros suministrados en este instrumento se consideran altamente fiables ante una posible respuesta anómala en el cuerpo de presa.
	PCV-B2	Este piezómetro registra una subida de presiones que llega a sobrepasar el nivel de embalse. Es necesario verificar las lecturas que registra este instrumento.
	P1-1, P1-4 P2-4	Estos piezómetros son los que registran un comportamiento irreversible acumulado en el tiempo de las presiones intersticiales en el cuerpo de presa.
Piezómetros abiertos	P4-2	El comportamiento ha sido parametrizado con el modelo estadístico de forma correcta. Los registros suministrados en este instrumento se consideran altamente fiables ante una posible respuesta anómala en el cuerpo de presa.

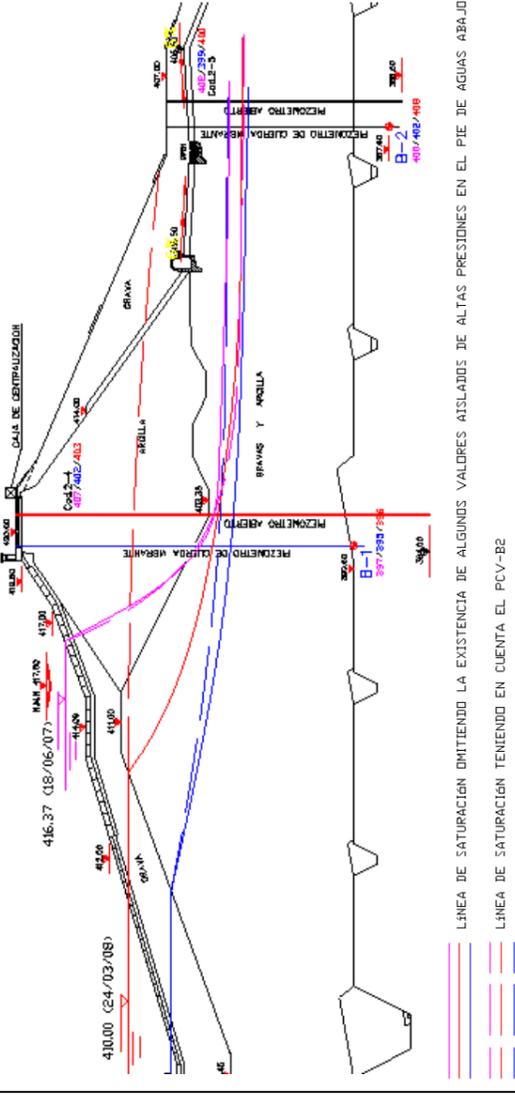
NIVELES PIEZOMETRICOS ASOCIADOS A TRES NIVELES DE EMBALSE:  
416.37 m.s.n.m. (18/06/07), 406.32 m.s.n.m. (21/11/07) y 410.00 m.s.n.m. (24/03/08)

**ARMARIO REPARTIDOR**



SECCIÓN S-1 O SOTÓN

NIVELES PIEZOMETRICOS ASOCIADOS A TRES NIVELES DE EMBALSE:  
416.37 m.s.n.m. (18/06/07), 406.32 m.s.n.m. (21/11/07) y 410.00 m.s.n.m. (24/03/08)



SECCIÓN S2-N ASTÓN

LINEA DE SATURACION OMITIENDO LA EXISTENCIA DE ALGUNOS VALORES AISLADOS DE ALTAS PRESIONES EN EL PIE DE AGUAS ABAJO  
LINEA DE SATURACION TENIENDO EN CUENTA EL PCV-B2

**IMÁGENES TOMADAS EL DÍA DE LA VISITA A LA PRESA 11-09-2008**



Aliviadero lateral en margen izquierda



Boca de la Galería (cota 404.78 m.s.n.m.)



Nueva modificación en la presa



Dren abierto de la berma

**IMÁGENES IMPORTANTES**

## PRESA LA SOTONERA

# PROTOCOLO PARA EL ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO EN SISTEMAS PRESA-EMBALSE

Participante:	
Profesión:	
Cargo:	

Facilitador:	
Fecha:	
Lugar:	

## FICHA TÉCNICA DE LA PRESA

<b>Características de la Presa</b>			
<b>Tipo</b>	Materiales Suelos	<b>Longitud de Coronación (m)</b>	3.858,80
<b>Planta</b>	Recta	<b>Ancho de Coronación (m)</b>	6,00
<b>Cota de Coronación (m.s.n.m.)</b>	420,00	<b>Volumen de materiales (m<sup>3</sup>)</b>	5.617.874
<b>Cota de Cimientos (m.s.n.m.)</b>	Sotón (389), Astón-Vacas (386), Alberca Alcalá (394)	<b>Número de Bermas A. Arriba</b>	2
		<b>Número de Bermas A. Abajo</b>	3
<b>Cota de Cauce (m.s.n.m.)</b>	Sotón (390,75)	<b>Talud A. Arriba (H:V)</b>	1.50H:1V 3.35H:1V 3.50H:1V 1H:1V
	Astón-Vacas (388,10)  Alberca-Alcalá (395,47)	<b>Talud A. Abajo (H:V)</b>	2.35H:1V 3H:1V 4H:1V
<b>Altura máxima sobre Cimiento (m)</b>	34,00	<b>Geología de la Cerrada:</b>	Margas con niveles de areniscas blandas molásica

<b>Características del Embalse</b>			
<b>Nivel Máximo Normal NMN (m.s.n.m.)</b>	417,50	<b>Superficie de Cuenca vertiente (km<sup>2</sup>)</b>	338,00
<b>Nivel de Avenida de Proyecto NAP (m.s.n.m.)</b>	418,64	<b>Superficie de Embalse a NMN (ha)</b>	1969,64
<b>Nivel de Avenida Extrema NAE (m.s.n.m.)</b>	419,00	<b>Volumen de Embalse a NMN (hm<sup>3</sup>)</b>	189,22

<b>Características del Aliviadero</b>			
<b>Tipo</b>	Laberinto (1 ápice)	<b>Vanos</b>	-
<b>Longitud de labio (m)</b>	67.295	<b>Caudal a NAE (m<sup>3</sup>/s)</b>	110.34
<b>Situación</b>	Estribo Izquierdo	<b>Elemento de Disipación de Energía:</b>	Descarga al canal de Monegros
<b>Perfil del vertedero</b>	Recto, 3 túneles artificiales de 4.20 x 4.50	Se ha proyectado el aliviadero en la entrada de la antigua toma superior	

<b>Características de la toma intermedia</b>			
<b>Situación</b>	A 350.00 m. de toma superior, en collado Sotón	<b>Tipo de Compuerta</b>	Compuertas deslizantes-oruga
<b>Dimensiones (mm)</b>	3 túneles ratificales de 4.20 x 4.50	<b>Canal de descarga</b>	Canal de hormigón de 16.20 x 5.00
<b>Cota umbral de túneles (m.s.n.m.)</b>	408.50	<b>Longitud de Canal (m)</b>	1090.00
<b>Capacidad de desagüe total a cota de agua 412.35 m.s.n.m. (m<sup>3</sup>/s)</b>	90	<b>Edificio de Maniobras</b>	Situado a 32.00 m respecto de eje de coronación. Cota solera: 420.00 m.s.n.m.
<b>Compuertas</b>	6 (2 compuertas por túnel)		

<b>Características de la toma inferior</b>			
<b>Situación</b>	En collado del Astón y Vacas	<b>Tipo de Compuerta</b>	Stoney (1.20 x 2.80 m)
<b>Dimensiones (mm)</b>	4 conductos 1.20 x 2.80	<b>Canal de descarga</b>	Canal de hormigón de 16.20 x 5.00
<b>Cota umbral de túneles (m.s.n.m.)</b>	393.20	<b>Longitud de Canal (m)</b>	760.00
<b>Capacidad de desagüe total a cota de agua 412.35 m.s.n.m. (m<sup>3</sup>/s)</b>	90 (22.50 por compuerta)	<b>Edificio de Maniobras</b>	Situado a 45.30 m. respecto del eje de coronación. Cota solera: 420 m.s.n.m.
<b>Compuertas</b>	4	Cumple las funciones de desagüe de fondo	

<b>Características de la Central Hidroeléctrica</b>			
<b>Situación</b>	A. Abajo de la presa en la salida de los túneles de la toma inferior	<b>Caudal máximo turbinado (m<sup>3</sup>/s)</b>	22.0 m <sup>3</sup> /s
<b>Dimensiones (mm)</b>	-	<b>Tensión de Salida</b>	6 kv
<b>Cota del Eje en Embocadura (m.s.n.m.)</b>	-	<b>Transformador</b>	45 kv a 4000 kw
<b>Órganos de Control</b>	Compuertas de la toma inferior a. arriba		

<b>Características del Aliviadero del Canal</b>			
<b>Tipo</b>	Lateral	<b>Dimensiones compuertas (m.)</b>	1.00 x 2.50
<b>Dimensiones (m)</b>	102 m. longitud. Taludes 0.3 (h/v) y 1.25 (h/v) a. arriba y aguas abajo respectivamente	<b>Pasarela sobre aliviadero</b>	Longitud 102.00 m., anchura 2.00 m., espesor 0.10 m.
<b>Situación</b>	60 m. antes del Canal de Monegros	<b>Edificio de maniobras</b>	Situado en margen izquierda del canal, para accionamiento de compuertas de 13.80 x 2.80 m.
<b>Compuertas</b>	7 compuertas deslizantes		

## REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

### 3.1.- Documentos que son relevantes y que permiten conocer al sistema presa-embalse.

1. Presa de La Sotenera, Informe anual de Auscultación. Comportamiento de la presa en el período comprendido entre los días 01.11.91 y 31.12.08. (C.H.E., junio 2009).
2. Normas de Explotación Presa de La Sotenera, (Euroestudios, diciembre de 2003).
3. Plan de Emergencia de la Presa de La Sotenera, (Euroestudios, diciembre de 2003).
4. Instrumentación Parcial de la Presa de La Sotenera, 3ª Fase Alcalá de Gurrea (Huesca). Documento Técnico del Sistema. (Geocisa, Geotécnia y Cimientos, S.A., noviembre 2003).
5. Documento XYZT. Presa de La Sotenera, actualización a la edición de 1981, (Euroestudios, diciembre de 2002).
6. Instrumentación Parcial de la Presa de La Sotenera, 2ª Fase Alcalá de Gurrea (Huesca). Documento Técnico del Sistema. (Geocisa, Geotécnia y Cimientos, S.A., marzo 2001).
7. Instrumentación Parcial de la Presa de La Sotenera, 1ª Fase Alcalá de Gurrea (Huesca), Exp. 35/99-08. Documento Técnico del Sistema. (Geocisa, Geotécnia y Cimientos, S.A., marzo 2000).

### 3.2.- Carencias en la documentación o información, que se consideren importantes, del sistema presa-embalse.

1. Documentación técnica relativa a las obras del desagüe de fondo (trabajos realizados entre 2005 a 2006, según comentario del encargado de la presa el día de la visita).
2. Documentación técnica relativa a las obras del desagüe intermedio (trabajos realizados entre 2005 a 2006, según comentario del encargado de la presa el día de la visita).
3. Documentación técnica relativa a las obras del aliviadero (trabajos realizados entre 2005 a 2006, según comentario del encargado de la presa el día de la visita).
4. Proyecto de Gran Reparación de la Presa de La Sotenera. (1992).
5. Auscultación de presas. Presa de La Sotenera (1ª Edición, 1981).
6. Proyecto de inyecciones de arcilla estabilizada, presa de la Alberca. (diciembre, 1965).
7. Revisiones de Seguridad en la Presa de La Sotenera.

## PROPUESTA INDIVIDUAL DE MODOS DE FALLO

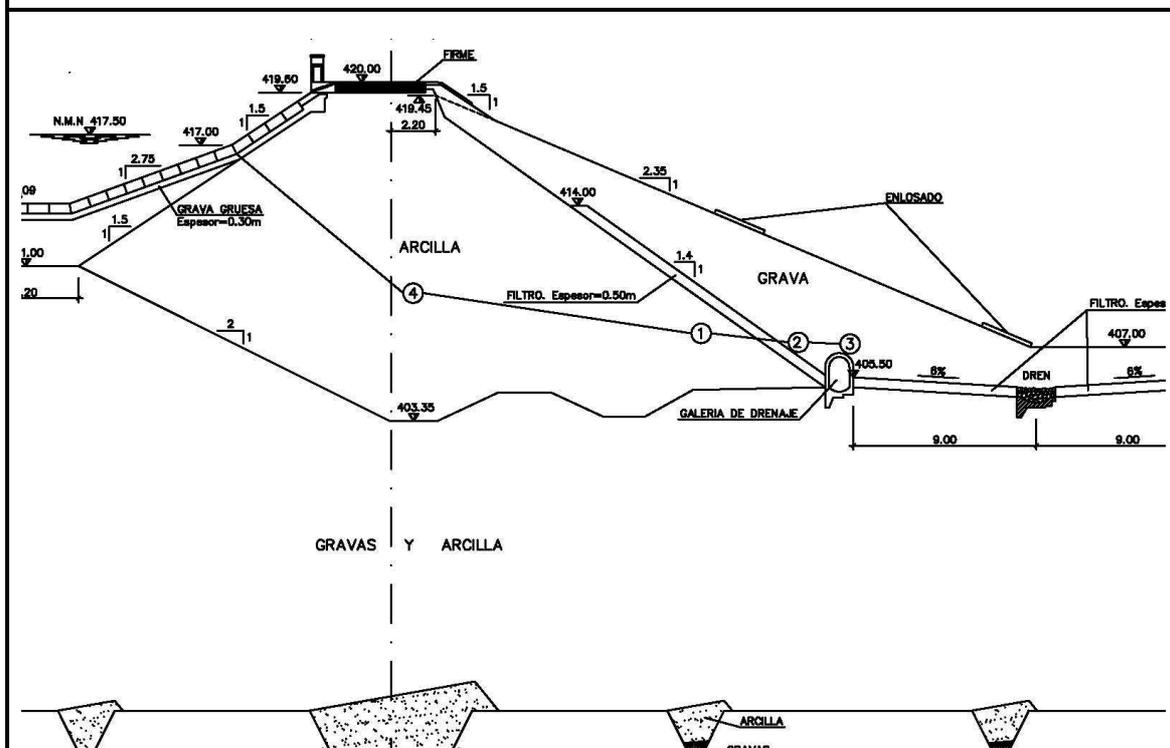
A continuación se presentan los potenciales modos de fallo identificados en la presa de la Sotonera.

*Escenario: Hidrológico y/o Explotación Normal*

### a.) Propuesta Individual de Modo de Fallo

En la zona del espaldón de aguas abajo de la presa del Sotón (cuerpo de arcillas), ocurre un aumento de las presiones intersticiales que genera un **agrietamiento** en una capa de material inestable (1), de modo que la fuerza de infiltración asociada al gradiente hidráulico producido es suficiente para que el material fino atraviese el filtro (2) y continúe su paso a través de grietas existentes en la estructura de la galería (3). Este mecanismo continúa aumentando hasta desencadenar un proceso de **erosión interna** remontante hacia a. arriba por la misma zona del cuerpo de arcillas, al punto de poder comunicarse con el espaldón y con el embalse (4), formando un conducto que aumenta progresivamente hasta producir el **fallo de la presa por erosión interna**.

### Esquema Gráfico del Modo de Fallo



Clasificación según la Herramienta MF			
ESCENARIO	INICIO	DESARROLLO	ROTURA
<i>H-N</i>	<i>E-Cp(1)</i>	<i>E-Cp(4)</i>	<i>I(b)</i>
<i>Variables</i>	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	
<i>Instrumentos</i>	Inspección Visual, P1-4, P1-1 PCV-C1, PCV-C6	Inspección Visual, P1-4, P1-1 PCV-C1, PCV-C6	

Factores a Favor	Factores en Contra
<p>El estado de la galería es incierto. En el XYZT se habla de que éstas se encuentran hundidas e inaccesibles, con lo cual es posible que los filtros no cumplan correctamente su función.</p> <p>En la visita realizada el día 11.09.2008. Se observaron acumulaciones de arcillas en las bocas de acceso a las galerías (tomado del informe anual de auscultación, de fecha junio 2009).</p> <p>No hay filtro protector entre la arcilla y las gravas del espaldón de a. arriba</p>	<p>Existe un filtro entre el cuerpo de arcilla y alrededor de la propia galería.</p> <p>Existe un revestimiento de losas de hormigón y mampostería en el espaldón de a. arriba.</p> <p>Las líneas de saturación estimadas y promediadas en el informe anual de auscultación, de fecha junio 2009, muestran niveles de saturación por debajo de la galería de drenaje.</p>

**Escenario: Hidrológico y/o Explotación Normal**

<b>b.) Propuesta Individual de Modo de Fallo</b>
Ídem (a). Presa del Astón y Vacas.

Clasificación según la Herramienta MF			
ESCENARIO	INICIO	DESARROLLO	ROTURA
<i>H-N</i>	<i>E-Cp(1)</i>	<i>E-Cp(4)</i>	<i>I(b)</i>
<i>Variables</i>	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	
<i>Instrumentos</i>	Inspección Visual, PCV-A6 PCV-A7 PCV-B3 P2-4	Inspección Visual, PCV-A6 PCV-A7 PCV-B3 P2-4	

Factores a Favor	Factores en Contra
<p>El estado de la galería es incierto. En el XYZT se habla de que éstas se encuentran hundidas e inaccesibles, con lo cual es posible que los filtros no cumplan correctamente su función.</p> <p>En la visita realizada el día 11.09.2008. Se observaron acumulaciones de arcillas en las bocas de acceso a las galerías (tomado del informe anual de auscultación, de fecha junio 2009).</p> <p>No hay filtro protector entre la arcilla y las gravas del espaldón de a. arriba</p>	<p>Existe un filtro entre el cuerpo de arcilla y alrededor de la propia galería.</p> <p>Existe un revestimiento de losas de hormigón y mampostería en el espaldón de a. arriba.</p> <p>Las líneas de saturación estimadas y promediadas en el informe anual de auscultación, de fecha junio 2009, muestran niveles de saturación por debajo de la galería de drenaje.</p>

**c.) Propuesta Individual de Modo de Fallo**

Ídem (a). Presa de la Alberca de Alcalá.

**Clasificación según la Herramienta MF**

ESCENARIO	INICIO	DESARROLLO	ROTURA
<i>H-N</i>	<i>E-Cp(1)</i>	<i>E-Cp(4)</i>	<i>I(b)</i>
<i>Variables</i>	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	
<i>Instrumentos</i>	Inspección Visual, P4-2	Inspección Visual, P4-2	

**Factores a Favor**

El estado de la galería es incierto. En el XYZT se habla de que éstas se encuentran hundidas e inaccesibles, con lo cual es posible que los filtros no cumplan correctamente su función.

En la visita realizada el día 11.09.2008. Se observaron acumulaciones de arcillas en las bocas de acceso a las galerías (tomado del informe anual de auscultación, de fecha junio 2009).

No hay filtro protector entre la arcilla y las gravas del espaldón de a. arriba

**Factores en Contra**

Existe un filtro entre el cuerpo de arcilla y alrededor de la propia galería.

Existe un revestimiento de losas de hormigón y mampostería en el espaldón de a. arriba.

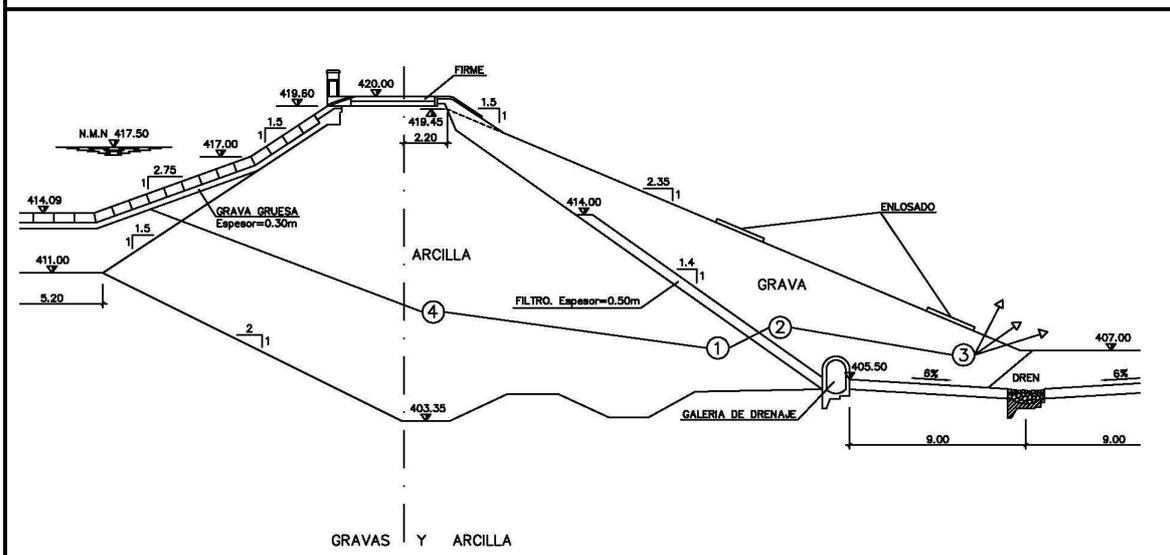
Las líneas de saturación estimadas y promediadas en el informe anual de auscultación, de fecha junio 2009, muestran niveles de saturación por debajo de la galería de drenaje.

**Escenario: Hidrológico y/o Explotación Normal**

**d.) Propuesta Individual de Modo de Fallo**

En la zona de aguas abajo de la presa del Sotón (cuerpo de arcillas), ocurre un aumento de las presiones intersticiales que genera un **agrietamiento** en una capa de material inestable (1), de modo que la fuerza de infiltración asociada al gradiente hidráulico producido es suficiente para que el material fino atraviese el filtro (2) y continúe su paso por el espaldón de gravas (2), al punto de poder comunicarse con el exterior en un punto de la berma de a. abajo (3). Este mecanismo continúa aumentando hasta desencadenar un proceso de **erosión interna** remontante hacia a. arriba por la misma zona del cuerpo de arcillas, hasta llegar a comunicarse con el espaldón y con el embalse (4), formando un conducto que aumenta progresivamente hasta producir el **fallo de la presa por erosión interna**.

**Esquema Gráfico del Modo de Fallo**



Clasificación según la Herramienta MF			
ESCENARIO	INICIO	DESARROLLO	ROTURA
<i>H-N</i>	<i>E-Cp(1)</i>	<i>E-Cp(4)</i>	<i>I(b)</i>
<i>Variables</i>	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	
<i>Instrumentos</i>	Inspección Visual, P1-4, P1-1 PCV-C1, PCV-C6	Inspección Visual, P1-4, P1-1 PCV-C1, PCV-C6	

Factores a Favor	Factores en Contra
<p>El estado de la galería es incierto. En el XYZT se habla de que éstas se encuentran hundidas e inaccesibles, con lo cual es posible que los filtros no cumplan correctamente su función.</p> <p>No hay filtro protector entre la arcilla y las gravas del espaldón de a. arriba</p>	<p>El material fino está protegido por un filtro de gravas aguas abajo de espesor 0.50 mts.</p> <p>Existe un revestimiento de losas de hormigón y mampostería en el espaldón de a. arriba y un enlosado aguas abajo.</p> <p>Las líneas de saturación estimadas y promediadas en el informe anual de auscultación, de fecha junio 2009, muestran niveles de saturación por debajo de la galería de drenaje.</p> <p>En la visita realizada el día 11.09.2008, no se apreciaron filtraciones importantes ni acumulaciones de agua en las bermas ni en el pié de la presa (tomado del informe anual de auscultación, de fecha junio 2009).</p>

**Escenario: Hidrológico y/o Explotación Normal**

<b>e.) Propuesta Individual de Modo de Fallo</b>
Ídem (d). Presa del Astón y Vacas.

Clasificación según la Herramienta MF			
ESCENARIO	INICIO	DESARROLLO	ROTURA
<i>H-N</i>	<i>E-Cp(1)</i>	<i>E-Cp(4)</i>	<i>I(b)</i>
<i>Variables</i>	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	
<i>Instrumentos</i>	Inspección Visual, PCV-A6 PCV-A7 PCV-B3 P2-4	Inspección Visual, PCV-A6 PCV-A7 PCV-B3 P2-4	

Factores a Favor	Factores en Contra
<p>El estado de la galería es incierto. En el XYZT se habla de que éstas se encuentran hundidas e inaccesibles, con lo cual es posible que los filtros no cumplan correctamente su función.</p> <p>No hay filtro protector entre la arcilla y las gravas del espaldón de a. arriba</p>	<p>El material fino está protegido por un filtro de gravas aguas abajo de espesor 0.50 mts.</p> <p>Existe un revestimiento de losas de hormigón y mampostería en el espaldón de a. arriba y un enlosado aguas abajo.</p> <p>Las líneas de saturación estimadas y promediadas en el informe anual de auscultación, de fecha junio 2009, muestran niveles de saturación por debajo de la galería de drenaje.</p> <p>En la visita realizada el día 11.09.2008, no se apreciaron filtraciones importantes ni acumulaciones de agua en las bermas ni en el pie de la presa (tomado del informe anual de auscultación, de fecha junio 2009).</p>

**Escenario: Hidrológico y/o Explotación Normal**

<b>f.) Propuesta Individual de Modo de Fallo</b>
Ídem (d). Presa de la Alberca de Alcalá.

<b>Clasificación según la Herramienta MF</b>			
ESCENARIO	INICIO	DESARROLLO	ROTURA
<i>H-N</i>	<i>E-Cp(1)</i>	<i>E-Cp(4)</i>	<i>I(b)</i>
<i>Variables</i>	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	
<i>Instrumentos</i>	Inspección Visual, P4-2	Inspección Visual, P4-2	

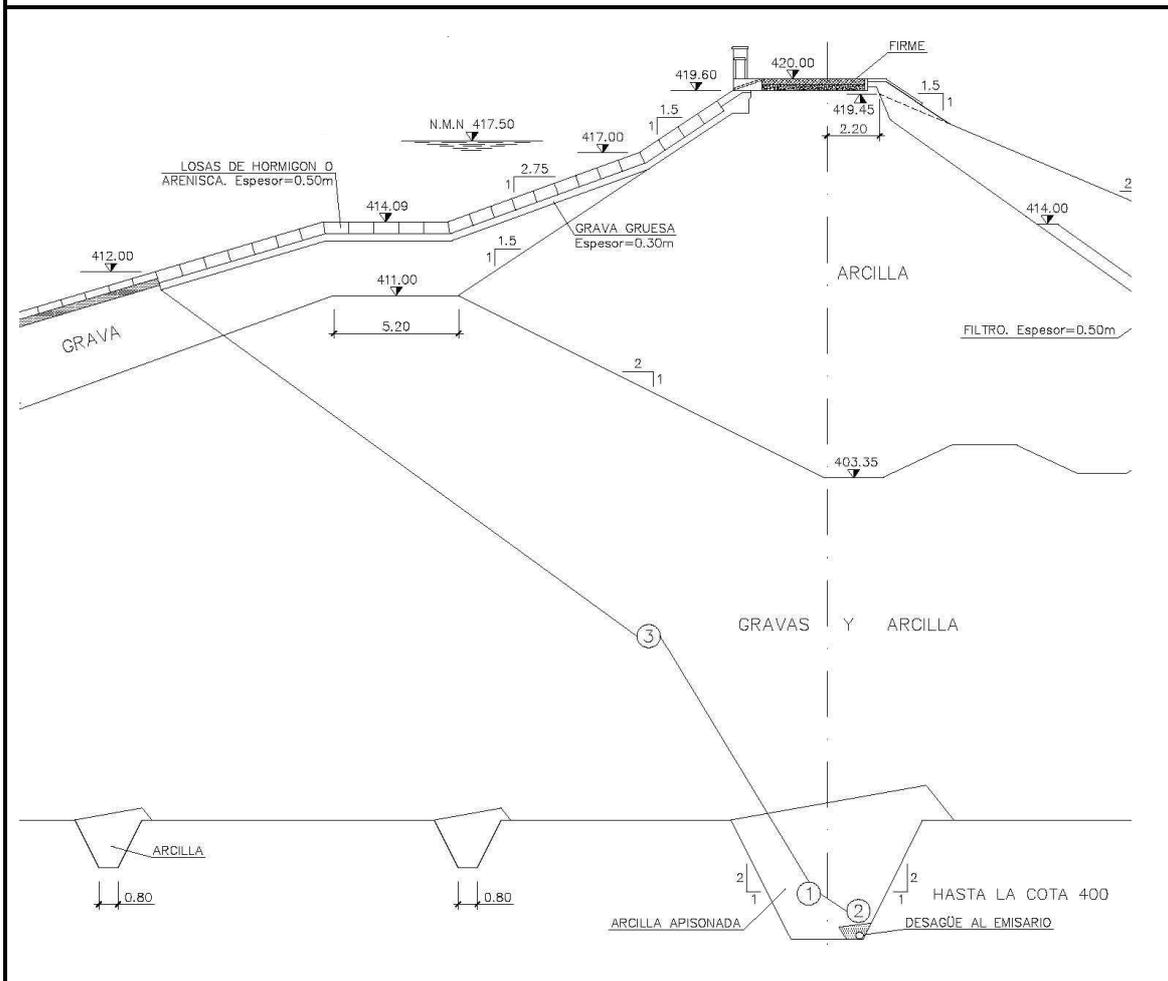
<b>Factores a Favor</b>	<b>Factores en Contra</b>
<p>El estado de la galería es incierto. En el XYZT se habla de que éstas se encuentran hundidas e inaccesibles, con lo cual es posible que los filtros no cumplan correctamente su función.</p> <p>No hay filtro protector entre la arcilla y las gravas del espaldón de a. arriba</p>	<p>El material fino está protegido por un filtro de gravas aguas abajo de espesor 0.50 mts.</p> <p>Existe un revestimiento de losas de hormigón y mampostería en el espaldón de a. arriba y un enlosado aguas abajo.</p> <p>Las líneas de saturación estimadas y promediadas en el informe anual de auscultación, de fecha junio 2009, muestran niveles de saturación por debajo de la galería de drenaje.</p> <p>En la visita realizada el día 11.09.2008, no se apreciaron filtraciones importantes ni acumulaciones de agua en las bermas ni en el pie de la presa (tomado del informe anual de auscultación, de fecha junio 2009).</p>

**Escenario: Hidrológico y/o Explotación Normal**

**g.) Propuesta Individual de Modo de Fallo**

En una zona de la zanja central de anclaje (Zona del Sotón) donde el material es poco estable, ocurre un **agrietamiento** (1) debido a un aumento de las presiones intersticiales, de manera que el gradiente hidráulico impuesto es capaz de hacer pasar material fino a través del filtro protector y hacia el emisario de drenaje (2). Este mecanismo continúa aumentando hasta desencadenar un proceso de **erosión interna** remontante hacia a. arriba por la zona del cuerpo de arcillas y gravas, al punto de poder comunicarse con el espaldón de a. arriba y con el embalse (3), formando así un conducto que aumenta progresivamente hasta producir el **fallo definitivo de la presa por erosión interna**.

**Esquema Gráfico del Modo de Fallo**



Clasificación según la Herramienta MF			
ESCENARIO	INICIO	DESARROLLO	ROTURA
<i>H-N</i>	<i>E-Cp(1)</i>	<i>E-Cp(4)</i>	<i>I(b)</i>
<i>Variables</i>	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	
<i>Instrumentos</i>	Inspección Visual, PCV-C1, PCV-C6 P1-1, P1-4	Inspección Visual, PCV-C1, PCV-C6 P1-1, P1-4	

Factores a Favor	Factores en Contra
<p>En el documento XYZT, se encuentra reseñado un incidente de hundimiento del talud de a. arriba en la presa de Sotón (1960), debido a una posible erosión interna a través del drenaje.</p> <p>Se desconoce la situación exacta de los desagües y sus características.</p> <p>No hay filtro protector entre la arcilla y las gravas del espaldón de a. arriba.</p>	<p>En la visita realizada el día 11.09.2008, no se apreciaron filtraciones importantes ni acumulaciones de agua al pie de la presa (tomado del informe anual de auscultación, de fecha junio 2009).</p> <p>Debido al incidente de 1960, se realizaron reparaciones en la escollera e inyecciones en el espaldón de a. arriba, llegando inclusive al sistema de drenaje (tomado del documento XYZT).</p> <p>Existe un filtro protector y un recubrimiento de arcilla en todas las zanjas.</p> <p>Los desagües al emisario son muy pequeños en relación a la estructura de la presa. En caso de permitir una erosión posiblemente éstos se obturen.</p> <p>Existe un revestimiento de losas de hormigón y mampostería en el espaldón de a. arriba.</p>

**Escenario: Hidrológico y/o Explotación Normal**

<b>h.) Propuesta Individual de Modo de Fallo</b>
Ídem (g). Presa del Astón y Vacas.

<b>Clasificación según la Herramienta MF</b>			
ESCENARIO	INICIO	DESARROLLO	ROTURA
<i>H-N</i>	<i>E-Cp(1)</i>	<i>E-Cp(4)</i>	<i>I(b)</i>
<i>Variables</i>	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	
<i>Instrumentos</i>	Inspección Visual, PCV-A6 PCV-A7 PCV-B3 P2-4	Inspección Visual, PCV-A6 PCV-A7 PCV-B3 P2-4	

<b>Factores a Favor</b>	<b>Factores en Contra</b>
<p>En el documento XYZT, se encuentra reseñado un incidente de hundimiento del talud de a. arriba en la presa de Sotón (1960), debido a una posible erosión interna a través del drenaje.</p> <p>La presa del Astón y Vacas, poseen igualmente un sistema de drenaje en la zanja central con salida al emisario de aguas abajo.</p> <p>Se desconoce la situación exacta de los desagües y sus características.</p> <p>No hay filtro protector entre la arcilla y las gravas del espaldón de a. arriba.</p> <p>El piezómetro de cuerda vibrante PCV-B2, registra subidas de presiones desde octubre de 2007, marcando de esta manera una incertidumbre en la estimación de la línea de saturación (tomado del informe anual de auscultación, de fecha junio 2009)</p>	<p>En la visita realizada el día 11.09.2008, no se apreciaron filtraciones importantes ni acumulaciones de agua al pie de la presa (tomado del informe anual de auscultación, de fecha junio 2009).</p> <p>En el documento XYZT se menciona que las filtraciones recogidas por estos emisarios son mínimas y casi no existen, deduciéndose que el sistema de recogida no funciona o está colapsado.</p> <p>Existe un filtro protector y un recubrimiento de arcilla en todas las zanjas de anclaje a cimentación.</p> <p>Los desagües al emisario son muy pequeños en relación a la estructura de la presa. En caso de permitir una erosión posiblemente éstos se obturen.</p> <p>Existe un revestimiento de losas de hormigón y mampostería en el espaldón de a. arriba.</p>

**Escenario: Hidrológico y/o Explotación Normal**

<b>i.) Propuesta Individual de Modo de Fallo</b>
Ídem (g). Presa de la Alberca de Alcalá.

<b>Clasificación según la Herramienta MF</b>			
ESCENARIO	INICIO	DESARROLLO	ROTURA
<i>H-N</i>	<i>E-Cp(1)</i>	<i>E-Cp(4)</i>	<i>I(b)</i>
<i>Variables</i>	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	
<i>Instrumentos</i>	Inspección Visual, P4-2	Inspección Visual, P4-2	

<b>Factores a Favor</b>	<b>Factores en Contra</b>
<p>En el documento XYZT, se encuentra reseñado un incidente de hundimiento del talud de a. arriba en la presa de Sotón (1960), debido a una posible erosión interna a través del drenaje.</p> <p>La presa de la Alberca, posee igualmente un sistema de drenaje en la zanja central con salida al emisario de aguas abajo.</p> <p>Se desconoce la situación exacta de los desagües y sus características.</p> <p>No hay filtro protector entre la arcilla y las gravas del espaldón de a. arriba.</p>	<p>En la visita realizada el día 11.09.2008, no se apreciaron filtraciones importantes ni acumulaciones de agua al pié de la presa.</p> <p>En esta zona de la presa se han realizado campaña de inyecciones con arcilla estabilizadora con cemento.</p> <p>En el documento XYZT se menciona que las filtraciones recogidas por estos emisarios son mínimas y casi no existen, deduciéndose que el sistema de recogida no funciona o está colapsado.</p> <p>Existe un filtro protector y un recubrimiento de arcilla en todas las zanjas.</p> <p>Los desagües al emisario son muy pequeños en relación a la estructura de la presa. En caso de permitir una erosión posiblemente éstos se obturen.</p> <p>Existe un revestimiento de losas de hormigón y mampostería en el espaldón de a. arriba.</p>

# **PRESA DE MAIDEVERA**



## **INFORME ANUAL DE AUSCULTACION**

**COMPORTAMIENTO DE LA PRESA EN EL PERIODO  
COMPRENDIDO ENTRE LOS DÍAS 01.09.03 Y 31.12.08**

**EBRO/OF/2009-06/042**

**CONSULTORÍA Y ASISTENCIA PARA LA ELABORACIÓN DE INFORMES DE  
COMPORTAMIENTO Y REVISIÓN DE LOS SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN Y  
CONTROL, ELEMENTOS HIDROMECÁNICOS E INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y  
PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN DE GESTIÓN DE LAS NORMAS DE  
EXPLOTACIÓN DE LAS PRESAS DE TITULARIDAD ESTATAL EN EXPLOTACIÓN DE LA  
CUENCA DEL EBRO. Clave: 09.803.371/0411**

## **PRESA DE MAIVEDERA**

# **INFORME DE AUSCULTACIÓN**

**COMPORTAMIENTO DE LA PRESA  
EN EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE  
LOS DÍAS 01.09.03 Y 31.12.08**

Referencia: EBRO/OF/2009-06/042

Revisión: 1

Fecha: Junio de 2009

CONSULTORÍA Y ASISTENCIA PARA LA ELABORACIÓN DE INFORMES DE COMPORTAMIENTO Y REVISIÓN DE LOS SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN Y CONTROL, ELEMENTOS HIDROMECAÑICOS E INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN DE GESTIÓN DE LAS NORMAS DE EXPLOTACIÓN DE LAS PRESAS DE TITULARIDAD ESTATAL EN EXPLOTACIÓN DE LA CUENCA DEL EBRO. Clave: 09.803.371/0411

**PRESA DE MAIDEVERA**  
**INFORME DE AUSCULTACIÓN**  
**COMPORTAMIENTO DE LA PRESA EN EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE**  
**LOS DÍAS 01.09.03 Y 31.12.08**

**INDICE**

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO .....	107
2. DESCRIPCIÓN DE LA PRESA .....	110
2.1. FICHA TÉCNICA DE LA PRESA .....	111
2.2. BREVE HISTORIAL DE LA PRESA.....	118
3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA CERRADA Y EL VASO DEL EMBALSE .....	120
4. OBSERVACIONES ESPECIALES.....	122
5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN INSTALADO.....	124
5.1. VARIABLES EXTERIORES .....	124
5.2. VARIABLES DE CONTROL.....	124
5.2.1. Control de filtraciones.....	125
5.2.2. Control de subpresiones.....	125
5.2.3. Células neumáticas de presión total.....	126
5.2.4. Control de desplazamientos verticales mediante células hidráulicas de asiento.....	126
5.2.5. Control inclinométrico.....	126
5.2.6. Auscultación topográfica.....	126
6. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN INSTALADO .....	129
7. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS GLOBAL DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA.....	132
8. ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA.....	134
8.1. VARIABLES EXTERIORES .....	134
8.1.1. Nivel de embalse .....	134
8.1.2. Precipitaciones .....	135
8.1.3. Temperatura del aire .....	137
8.2. VARIABLES DE CONTROL.....	138

8.2.1. Control de las filtraciones. ....	138
8.2.2. Control de presiones intersticiales. ....	140
8.2.2.1. Piezómetros neumáticos.....	140
8.2.2.2. Piezómetros de cuerda vibrante.....	142
8.2.3. Control de presiones totales con células neumáticas de presión total. ....	146
8.2.4. Control de desplazamientos verticales mediante células hidráulicas de asiento.....	150
8.2.5. Desplazamientos verticales en coronación medidos mediante nivelación topográfica. ....	152
9. CONCLUSIONES.....	154
10. PROGRAMA DE LECTURAS RECOMENDADO.....	161
11. RECOMENDACIONES.....	163

ANEJO Nº 1 PLANOS

ANEJO Nº 2. GRÁFICOS DE LAS VARIABLES AUSCULTADAS

ANEJO Nº 3. CD CON LA BASE DE DATOS

ANEJO Nº 4. DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA

ANEJO Nº 5. INFORME DE ESTADO DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN

ANEJO Nº 6. MODELIZACIÓN ESTADÍSTICA CON AUSMODEL

ANEJO Nº 7. VISITA A LA PRESA

ANEJO Nº 8. DOCUMENTACIÓN RELATIVA A LA AUSCULTACIÓN

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

El Informe que se presenta a continuación corresponde al estudio del comportamiento de la presa de Maidevera sobre la base de los datos de auscultación disponibles desde el 1 de septiembre de 2003 hasta el día 31 de diciembre del año 2008, los cuales fueron recibidos por OFITECO de la Confederación Hidrográfica del Ebro, en cumplimiento del contrato:

**“CONSULTORÍA Y ASISTENCIA PARA LA ELABORACIÓN DE INFORMES DE COMPORTAMIENTO Y REVISIÓN DE LOS SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN Y CONTROL, ELEMENTOS HIDROMECÁNICOS E INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN DE GESTIÓN DE LAS NORMAS DE EXPLOTACIÓN DE LAS PRESAS DE TITULARIDAD ESTATAL EN EXPLOTACIÓN DE LA CUENCA DEL EBRO. Clave: 09.803.371/0411”.**

El presente informe se adapta a lo que se indica en el Reglamento Técnico de Seguridad de Presas y Embalses (RTSPE), aprobado en O.M. de 12 de marzo de 1996 por el entonces Ministerio de Obras Públicas de Transportes y Medio Ambiente y publicado en el B.O.E. del 30 de marzo de 1.996, que concretamente, en el Artículo 33.2 de dicho Reglamento establece que ***“El Director de explotación redactará un informe anual en el que se recogerá los resultados de las inspecciones realizadas y de la auscultación... Este informe se incorporará al Archivo Técnico de la presa...”***

En este informe se analizan los datos de auscultación obtenidos en la presa en el periodo comprendido entre los días 1 de septiembre de 2003 y el 31 de diciembre de 2008. Estos datos comprenden los archivados con el sistema automático de toma de lecturas que se ha instalado en la presa, así como los manuales que fueron realizados por el personal de la CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO.

El Informe contempla:

- Los gráficos de evolución temporal elaborados con los datos registrados desde la lectura inicial de cada uno de los aparatos.
- Análisis de los aspectos más relevantes que se deducen del estudio de dichos aparatos respecto al comportamiento de la presa durante el período estudiado.

- La estimación de las leyes de subpresión, en cada una de las secciones de control.
- Conclusiones generales, las cuales se han clasificado en cuatro grupos significativos de la siguiente manera:
  - Conclusiones sobre las lecturas de instrumentos y el estado actual del sistema de auscultación instalado.
  - Conclusiones sobre el comportamiento de la presa en función de las variables de control.
  - Conclusiones sobre la inspección realizada el día 8 de septiembre de 2008.
  - Conclusiones sobre la seguridad de la presa.
- Recomendaciones de tipo general de cara al seguimiento continuo de la auscultación de la presa y a la elaboración de informes trimestrales y futuros informes anuales de comportamiento.
- Un programa de lecturas de los aparatos de auscultación.

La elaboración de este informe se ha basado en:

- El análisis de los datos del sistema de auscultación instalado, tanto manuales como automáticos.
- La revisión de la documentación técnica referente a la presa desde el punto de vista de la auscultación, comportamiento y seguridad de la presa, los cuales se citan a continuación:
- Instalación de los equipos de auscultación durante la construcción de la Presa de Maidevera. (Empresa Auxini, 1982-1983).
- Presa de Maidevera. Informe general de auscultación relativo al periodo comprendido entre octubre de 1985 y octubre de 1987. (Ofiteco, 1988).

- Instalación de piezómetros en la zona del aliviadero en el estribo izquierdo (1990).
- Documento XYZT de la Presa de Maidevera (2000).
- Normas de explotación de la Presa de Maidevera (intecsa-inarsa, s.a.; diciembre de 2001).
- Plan de emergencia de la Presa de Maidevera (intecsa-inarsa, s.a.; diciembre de 2001).
- Acondicionamiento y Ampliación de los sistemas de Auscultación y Control de las Presas de Maidevera y Valdabra (2001).
- Incorporación al SAIH del Sistema de Auscultación de la Presa de Maidevera (2002-2003).
- Acondicionamiento y Ampliación del Sistema de Auscultación y Control de la Presa de Maidevera. Documentación Técnica. (Ofiteco; junio de 2003).
- Proyecto de Acondicionamiento y Ampliación del Sistema de Auscultación y Control de la Presa de Maidevera. (Septiembre de 2004).
- Acondicionamiento, ampliación, mejora y puesta en servicio del sistema de auscultación y control de las presas del embalse de Maidevera. Documentación Técnica. (Ofiteco; mayo de 2007).
- La visita realizada a la presa el día 8 de septiembre de 2008 (Anejos N° 4 y N° 5).

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA PRESA<sup>1</sup>

La presa de Maidevera se ubica aguas abajo de la confluencia por la margen izquierda del barranco de Pedreñas con el río Aranda, que a su vez es afluente por la misma margen del río Jalón, en el término municipal de Aranda de Moncayo (Zaragoza).

La regulación producida por el embalse de Maidevera permitirá asegurar el riego en una zona de 1.850 Has. en los términos de Aranda, Jarque, Gotor, Illueca, Brea y Arándiga. La zona regable ya existía pero con elevados déficits por lo que la actuación se tramitó como consolidación de regadíos.

Las coordenadas del punto de intersección del eje de la presa con el cauce son las siguientes:

- Geográficas (respecto Greenwich):
  - Longitud: 1º 45' 35" Oeste
  - Latitud: 41º 34' 25" Norte
- Coordenadas UTM:
  - X: 603.405
  - Y: 4.603.260
  - Huso 30

Tanto la presa como el embalse se encuentran en la hoja número 381 del Mapa Topográfico Nacional de España escala 1:50.000.

La forma de acceso a la presa se realiza desde la autovía Madrid-Zaragoza (N-II), tomando la salida de El Frasno y la carretera A-1503 que sigue el cauce del río Aranda a través de las poblaciones de Saviñán, Morés, Brea, Illueca, Gotor, Jarque y Aranda del Moncayo. Unos dos kilómetros antes de llegar a esta última población sale el camino de acceso (propiedad de la Confederación Hidrográfica del Ebro) a la presa y embalse.

---

<sup>1</sup> La información sobre la descripción de la presa se ha extraído del Documento XYZT y del Plan de Emergencia de la Presa de Maidevera.

Un acceso alternativo distinto al valle del río Aranda puede realizarse desde la carretera que une Calatayud con Soria, tomando el desvío hacia Aranda del Moncayo por Malanquilla o Ciria según se llegue desde Calatayud o Soria respectivamente.

## 2.1. FICHA TÉCNICA DE LA PRESA



Figura. Imagen de la presa de Maidevera.

### UBICACIÓN

- PROVINCIA .....Zaragoza
- TÉRMINOS MUNICIPALES .....Aranda del Moncayo
- EMPLAZAMIENTO .....Río Aranda

**TIPOLOGÍA** Presa de gravedad de materiales sueltos, con núcleo vertical impermeable de arcilla, recubierto por filtros y protegidos por espaldones de escolleras.

### CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL RIESGO POTENCIAL

- Presa principal .....Categoría A
- Dique del collado nº1: .....Categoría A
- Dique del collado nº2: .....Categoría C

## CARACTERÍSTICAS

### Características de la cuenca y embalse

Cuenca	Jalón
Superficie de la cuenca vertiente (Km <sup>2</sup> )	76.50
Nivel máximo normal (NMN) (m.s.n.m.)	799.00
Volumen de embalse (N.M.N.) (Hm <sup>3</sup> )	18.332
Nivel avenida proyecto (NAP) (m.s.n.m.)	801.50
Volumen de embalse para N.A.P. (Hm <sup>3</sup> )	21.934
Nivel avenida extrema (NAE) (m.s.n.m.)	803.50
Volumen de embalse para N.A.E. (Hm <sup>3</sup> )	25.000
Superficie de embalse (N.M.N.) (Ha.)	134
Superficie de embalse (N.A.P.) (Ha.)	154
Caudal punta avenida de proyecto (m <sup>3</sup> /s)	260

Tabla. Resumen de las características del embalse y su cuenca vertiente.

### Aspectos estructurales

La presa consta de un cuerpo principal y otros dos diques cerrando sendos collados ubicados en la margen derecha del río y de menor altura. Tanto la presa principal como los diques que cierran los collados son de materiales sueltos coronados a la misma cota.

El cuerpo de presa principal tiene un núcleo vertical y centrado de arcilla, recubierto por filtros y protegidos por espaldones de escollera, tanto aguas arriba como aguas abajo. El paramento de aguas abajo presenta 3 bermas y 4 el de aguas arriba. La presa es atravesada por la galería del desagüe de fondo. La planta es recta con altura máxima sobre cimientos de 53.50 m. (46.50 m. sobre el cauce) y 317.50 m. de longitud de coronación. El ancho en coronación es de 8.50 m. y en la cimentación 170 m. Los taludes son 1.75:1 (H:V) aguas arriba, 1.45:1 (H:V) aguas abajo y 1:8 (H:V) los interiores del núcleo. El volumen de embalse normal es de 18.332 Hm<sup>3</sup> (NMN a la cota 799.00 m.s.n.m.).

El cuerpo de presa no dispone de galerías horizontales de visita e inspección.

La presa del collado nº 1 está situada en la margen derecha del embalse y más próxima a la presa principal que la del collado nº 2. La sección tipo es igual a la de la presa principal. La planta es curva con altura máxima sobre cimientos de 22.00 m. (15.50 m. sobre el cauce) y

357.60 m. de longitud de coronación. El ancho en coronación es de 3.00 m. y los taludes son iguales a los de la presa principal.

La presa del collado nº 2 es igual a la del collado nº 1. Tiene 3.00 m. de altura máxima sobre cimientos, 3.00 m. de anchura en la coronación y 82.00 m. de longitud. No dispone de ningún elemento de auscultación.

### ***Presa principal***

Tipo	Materiales sueltos
Planta	Recta
Longitud de coronación (m.)	317.50
Cota de coronación presa (incluida pavimentación) (m.s.n.m.)	803.50
Cota de cimientos (m.s.n.m.)	750.00
Cota del cauce (m.s.n.m.)	757.00
Altura de la presa sobre cimientos (m.)	53.50
Ancho coronación (m.)	8.50
Talud aguas arriba	1.75:1 (H:V)
Talud aguas abajo	1.45:1 (H:V)
Volumen de materiales presa (m <sup>3</sup> )	718000

Tabla. Resumen de características estructurales del cuerpo de presa principal.

### ***Presa de collado nº1***

Tipo	Materiales sueltos
Planta	Curva
Longitud de coronación (m.)	357.60
Cota de coronación presa (no está pavimentada) (m.s.n.m.)	803.50
Cota cimentación del núcleo (m.s.n.m.)	781.50
Altura sobre cauce (m.)	15.50
Altura de la presa sobre cimientos (m.)	22.00
Ancho coronación (m.)	3.00
Talud aguas arriba	1.75:1 (H:V)
Talud aguas abajo	1.45:1 (H:V)
Volumen de materiales presa (m <sup>3</sup> )	78000

Tabla. Resumen de características estructurales del cuerpo de presa de collado nº1.

**Presa de collado nº2**

Tipo	Materiales sueltos
Planta	Recta
Longitud de coronación (m.)	82.00
Cota de coronación presa (no está pavimentada) (m.s.n.m.)	803.50
Altura sobre cauce (m.)	2.00
Altura de la presa sobre cimientos (m.)	3.00
Ancho coronación (m.)	3.00
Talud aguas arriba	1.75:1 (H:V)
Talud aguas abajo	1.45:1 (H:V)
Volumen de materiales de la presa (m <sup>3</sup> )	1486

Tabla. Resumen de características estructurales de la presa de collado nº2.

**Aliviadero y microaliviadero**

El aliviadero es de labio fijo, perpendicular al eje de la presa, con un pequeño rebaje de 1.00 m. de longitud y 1.50 m. de altura controlado por una compuerta y denominado microaliviadero. El perfil del vertedero es de tipo Creager, a la cota 800.50 m.s.n.m. y tiene una longitud de 40 m., además del microaliviadero; la cota del vertedero de este último es, por tanto, la 799.00 m.s.n.m.

El microaliviadero se construyó en el año 1992 posteriormente a la ejecución de la presa. La compuerta que controla el vertido es de tipo tajadera accionada de forma eléctrica y manual desde una caseta de 2.00 x 3.30 m. situada por encima. La compuerta desliza por unas guías laterales metálicas y está unida al mecanismo de accionamiento mediante un vástago de 3.60 m. de longitud. A continuación se describen las características más importantes.

Tipo	Lateral de labio fijo
Perfil del vertedero	Creager
Número de vanos	1 lateral
Situado	Margen izquierda
Capacidad desagüe para N.A.P. (m <sup>3</sup> /s)	87
Cota del labio del aliviadero (m.s.n.m.)	800.50
Longitud del labio de vertido (m)	40.00
Cuenca de desagüe	Sección trapecial de 2.50m ancho Talud de cajeros 1:2 (H:V) Cota solera 794.50

Tabla. Características principales del aliviadero.

Tipo	Con compuerta tablero vertical de 1.00x1.50 m <sup>2</sup>
Accionamiento de la compuerta	Eléctrico y manual desde caseta
Caudal vertido con embalse a la cota 800.50 (m <sup>3</sup> /s)	3.69
Cota del labio de vertido (m.s.n.m.)	799.00
Longitud del labio de vertido (m.)	1.00

Tabla. Características principales del microaliviadero.

## Desagüe de fondo

El desagüe de fondo discurre por la galería que sirvió para el desvío del río durante la construcción. Los conductos desaguan en un canal rectangular de 5 m de ancho y 48 m de longitud hasta su descarga en el río Aranda.

Está constituido por dos tubos circulares iguales de diámetro ( $\emptyset$ ) de 800 mm, separados horizontalmente sus ejes 2.10 m. Cada conducto está controlado por dos compuertas tipo Bureau, una de seguridad y otra de regulación.

La cota del eje de la embocadura es de 761,10 m.s.n.m. La cota del eje de la compuerta de regulación es 755,644 m.s.n.m. La embocadura está protegida por una rejilla.

Cada una de las compuertas dispone de un by-pass de 150 mm. y una ventosa bifuncional de contrapeso.

Conductos desagüe de fondo	2 tuberías acero helicosoldado $\emptyset$ 800 mm.
Válvulas por conducto	2
Longitud total de cada conducto (m.)	214.00
Cota del eje en embocadura (m.s.n.m.)	761.10
Cota del eje en el cierre (m.s.n.m.)	755.644
Capacidad desagüe fondo a cota N.M.N.(m <sup>3</sup> /s)	12.7
<b>Compuertas</b>	2 por conducto
Tipo compuertas	Bureau
Sección compuerta (m.)	0.80 x 1.00
Accionamiento	Oleohidráulico
By-pass de equilibrado de presiones	Uno de diámetro ( $\emptyset$ ) de 150 mm. por conducto situado en la compuerta aguas arriba

Tabla. Características fundamentales del desagüe de fondo.

## Toma de riegos

Constituido por un conducto circular de 800 mm. de diámetro cerrada por dos válvulas de compuerta, una a la entrada y otra intermedia, y una Howell-Bunger. Las dos válvulas de compuerta cuentan con by-pass, y la intermedia tiene además una ventosa.

La embocadura de la toma de riegos se sitúa en la torre de toma. El conducto discurre por la torre y después horizontalmente por el pasillo que une la torre de toma con la cámara de válvulas del desagüe de fondo, desde ahí sigue por la galería de desagüe de fondo hasta la salida. Del conducto se deriva una tubería de 200 mm. para el abastecimiento de las localidades pertenecientes a la Mancomunidad del río Aranda.

Toma de riego	Circular diámetro (Ø) 800 mm.
Órganos de control	Válvula de compuerta Ø800 mm. de entrada; válvula de compuerta intermedia de la torre; válvula tipo Howell-Bunger Ø600 mm en la salida
Cota del eje en la entrada (m.s.n.m.)	777.50
Cota del eje en la salida (m.s.n.m.)	755.944

Tabla. Características principales de la toma de riego.

## Toma de abastecimiento

La Mancomunidad del río Aranda se abastece desde el embalse de Maidevera mediante una tubería que tiene su origen en el tramo vertical de la toma de riegos que desciende por la torre de toma. También dispone de una conexión con la tubería del desagüe de fondo que discurre junto al hastial de la margen derecha de la galería.

La tubería tiene un diámetro de 200 mm, es metálica en zonas de cámaras, codos y cambios de alineación y por la galería del desagüe de fondo es de PVC. Dispone de una válvula de compuerta de diámetro (Ø) 200 mm. al inicio de la derivación. Para el control de la conexión hay instaladas 2 válvulas de compuerta de diámetro (Ø) 200 mm. que regulan el flujo procedente del desagüe de fondo y de la toma de riegos. Está proyectada la tubería para una presión nominal de 16 atmósferas y caudal de 300 l/s.

---

Origen	En la toma de riegos y en conducto derecho del desagüe de fondo
Diámetro (mm)	Ø 200 mm PN-16
Tipo tubería	Acero galvanizado en tramo inicial y final y PVC en la galería del desagüe fondo

---

Tabla. Características principales de la toma de abastecimiento.

## 2.2. BREVE HISTORIAL DE LA PRESA.<sup>2</sup>

A continuación se hace un breve resumen de los acontecimientos más significativos de la historia de la presa de Maidevera:

- 1968. Estudio Previo realizado por el Centro de Estudios Hidrográficos sobre las posibilidades de regulación del río Aranda e Isuela por orden del Ministerio de Obras Públicas.
- Abril de 1969. Finalización del estudio previo, llegando a la conclusión que únicamente es viable un embalse 16 Hm<sup>3</sup> en el río Aranda, a propuesta de la Confederación Hidrográfica del Ebro. La presa se ubica en el paraje de Maidevera en el término municipal de Aranda de Moncayo (Zaragoza). La regulación del embalse se destina para el regadío de 1850 Has.
- 29 mayo de 1972. La Confederación Hidrográfica del Ebro elevó a la Dirección General de Obras Hidráulicas una propuesta solicitando autorización para redactar el Proyecto.
- 4 noviembre de 1972. Se autoriza la redacción del proyecto.
- Mayo de 1973. La Confederación Hidrográfica del Ebro redacta un Pliego de Bases para la contratación de los servicios técnicos necesarios para la elaboración de este proyecto.
- Mayo de 1974. Se empieza a redactar el proyecto. Después de ver y comparar diferentes soluciones se elige la alternativa de presa con núcleo de arcilla centrado, teniendo dos filtros de protección tanto aguas abajo como aguas arriba, protegidos por escollera.
- 1974. El Servicio Geológico de Obras Públicas efectúa un estudio sobre la cerrada y el vaso del embalse para su posterior construcción, propuesto por el Centro de Estudios Hidrográficos.

---

<sup>2</sup> A partir del Documento XYZT de la Presa de Maidevera se ha extraído información acerca de los antecedentes históricos de la presa.

- 30 junio de 1978. Inicio de las obras. Proceso de construcción en orden cronológico: ataguía de desvío, túnel de desvío, cuerpo de presa principal, presa de cierre del collado nº1, presa de cierre del collado nº2 y torre de toma.
- Entre 1978 y 1983. Durante la excavación de la presa se localiza una falla en el cauce. Se limpia y se substituye el material de relleno por hormigón. Adicionalmente se colocan 3 piezómetros neumáticos (F1, F2 y F3), con el fin de hacer seguimiento a las presiones intersticiales durante la fase de explotación.
- 22 febrero de 1983. Finalización de las obras.
- 28 julio de 1983. Puesta en explotación de las obras.
- Hasta Diciembre de 1984. Toma de datos de auscultación durante la construcción y explotación.
- Entre 1984 y 1992. Instalación de alumbrado de la presa en tres fases.
- Año 1992. Instalación de una compuerta de tablero vertical cerrando el microaliviadero situado en el labio del aliviadero.
- A partir de 1992. La Mancomunidad del río Aranda realiza un proyecto complementario de captación en el embalse con objeto de garantizar el suministro de agua.
- Diciembre de 2001. Plan de Emergencia de la presa de Maidevera.
- Diciembre de 2001. Normas de explotación de la presa de Maidevera.
- Año 2003. Renovación de la línea eléctrica substituyendo la existente por una nueva con veintitrés (23) postes metálicos galvanizados.

### **3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA CERRADA Y EL VASO DEL EMBALSE**

Los datos geológicos se han descrito a partir del Documento XYZT, que a su vez se obtuvieron del Mapa Geológico de España. Escala 1:50000. Hoja N° 381 Illueca (IGME).

#### **Geología de la Cerrada principal**

La caracterización geológica de la zona de la cerrada se puede dividir en dos subzonas claramente diferenciadas:

- La margen derecha, formada por cuarcitas y pizarras del Cámbrico, con un claro predominio de las cuarcitas sobre las pizarras. Se encuentran dispuestas de forma horizontal.
- La margen izquierda, constituida por cuarcitas y pizarras pertenecientes al Cámbrico, con predominio de las pizarras. Hay un ligero buzamiento hacia el río inferior a 10 grados.

Las cuarcitas varían de color desde el gris oscuro hasta el blanco y se encuentran muy diaclasadas. Las pizarras varían en la composición desde arcillosas a silíceas y del color de verdosas a gris azuladas.

Los aluviones del río no son mayores de 5 metros de espesor y están formados por cantos rodados de cuarcitas, pizarras y cuarzo, y también abundantes arenas. Los coluviales son escasos, inferiores a 1 metro de espesor.

#### **Geología del Collado situado en la margen derecha**

Todo el collado se encuentra sobre los conglomerados, areniscas y limolitas del Buntsandstein, que se apoya discordantemente en la zona Este sobre las pizarras y cuarcitas. El Buntsandstein está formado por un conjunto de areniscas rojas, amarillentas y grises, de tamaño de grano variable y frecuentemente de cemento arcilloso, entre las que se intercalan limolitas de tonos rojizos.

De vez en cuando aparecen unos lechos de conglomerados de 2 ó 3 metros de potencia que se relacionan con las areniscas.

### **Geología del Vaso del embalse**

La geología del vaso está constituida por diferentes materiales:

- Cuarcitas y pizarras del Cámbrico (ídem que la geología de la cerrada). Normalmente se encuentran horizontales, pero en el cerro de cota 813 m.s.n.m., cerca del collado, presentan una dirección casi E-W y un buzamiento 70 grados en dirección sur. Esto puede deberse a algún accidente tectónico entre ambas márgenes.
- Intercalaciones de conglomerados. Son apreciables en los diferentes afloramientos en la zona de huerta. El buzamiento varía entre 30 y 50 grados.
- Aluviones del cauce del Cuaternario. Están constituidos por materiales arenosos con algunos niveles de gravas.

#### 4. OBSERVACIONES ESPECIALES.

A continuación se hace un resumen de los acontecimientos más importantes que sucedieron en la presa. Se trata de obras o incidencias que pudieran haber influido en el comportamiento de la presa o en el funcionamiento del sistema de auscultación.

La Presa de Maidevera se levanta sobre el cauce del río Aranda que presenta una falla bajo su cimentación con dirección Sureste.

Una vez ejecutada la excavación, se limpió la falla del relleno que presentaba y se sustituyó por hormigón. Al mismo tiempo se dejaron instalados tres piezómetros neumáticos para medida de presiones intersticiales, bajo el núcleo y a la cota 748.50 m.s.n.m., con objeto de conocer el comportamiento de la cimentación comprobando si en ella se generan presiones intersticiales inducidas por el peso de la presa u otras causas. La toma de datos de los piezómetros comenzó en marzo de 1980, comprobándose entonces que uno de ellos (el situado más aguas abajo, F3) no funciona.

Durante los últimos años se han realizado obras para el Proyecto de Acondicionamiento y Ampliación del Sistema de Auscultación y control de la presa de Maidevera. La redacción del proyecto es de septiembre de 2004. Las obras corresponden al periodo entre 2005 y 2007 aproximadamente.

El día 8 de septiembre de 2008 fue realizada una visita a las instalaciones de la presa. En la inspección realizada no se detectaron anomalías de ningún tipo. No se apreciaron colapsos en la escollera y las farolas no indicaban movimientos horizontales.

En las figuras que se muestran a continuación se presentan unas fotos tomadas el día de la visita, en el anejo nº 7 del presente informe se expone de manera más detallada el resultado de la visita.

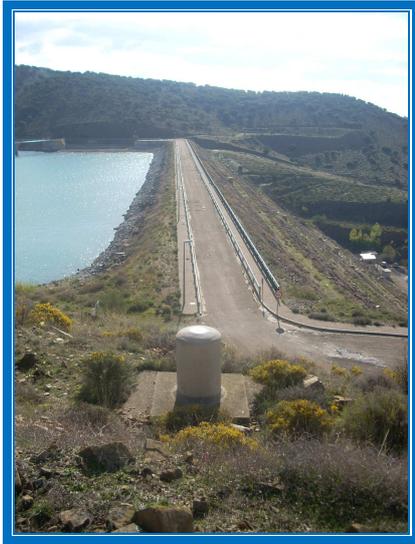


Imagen. Vista desde la Margen derecha



Imagen. Vista desde aguas abajo.

## 5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN INSTALADO

En este capítulo se hace un corto resumen de los variables que se controlan con los sensores de auscultación instalados en la presa. En el Anejo 5 se incluye una descripción detallada del sistema de auscultación, su estado actual y fiabilidad de las lecturas obtenidas.

El sistema de auscultación de la presa de Maidevera se amplió y modernizó. Se destacan los siguientes procesos:

- Implantación de un Sistema de Auscultación en la presa de Maidevera en el año 1980 durante la construcción de la presa.
- Proyecto de Acondicionamiento y Ampliación del Sistema de Auscultación y control de la presa de Maidevera (septiembre de 2004).

La instrumentación de auscultación está instalada en el cuerpo de presa principal y en la presa del collado nº1. En la presa del collado nº2 no hay dispositivos de auscultación. Entre los controles posibles en la presa podemos distinguir los de variables exteriores e interiores.

### 5.1. VARIABLES EXTERIORES

- Nivel de embalse mediante un sensor de la red Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH).
- Variables meteorológicas. Existe una estación meteorológica en la presa de Maidevera que aporta datos sobre precipitaciones diarias, temperaturas máximas y mínimas y evaporación.

### 5.2. VARIABLES DE CONTROL

La presa principal se ha instrumentado en tres (2) perfiles transversales: el 12A, 17B. Mientras que la presa del collado nº1 se ha instrumentado en dos (2) perfiles: el 13C y 19D.

### 5.2.1. Control de filtraciones.

Se controlan las filtraciones de la presa con 5 aforadores del tipo Thomson. Adicionalmente hay instalados sensores ultrasónicos que registran las alturas de agua en cada punto de aforo. Las filtraciones recogidas para cada uno de estos aforadores son las siguientes:

- Aforador nº1 (AF-1). Controla una de las dos filtraciones principales existentes en la presa principal a través de una junta de la cámara de la tubería del desagüe de fondo y la toma, a la altura del contacto con el espaldón de aguas arriba.
- Aforador nº2 (AF-2). Recoge las filtraciones de la margen derecha. Controla una de las dos filtraciones principales existentes a través de una junta.
- Aforador nº3 (AF-3). Recoge el total de las filtraciones registradas en el túnel.
- Aforador nº4 (AF-4). Mide las filtraciones que provienen del aliviadero.
- Aforador nº5 (AF-5). Se encuentra en la presa del collado nº1. Se han canalizado las filtraciones hasta una caseta donde son aforadas.

### 5.2.2. Control de subpresiones.

El control de las subpresiones se realiza mediante tres (3) piezómetros neumáticos y veintiséis (26) piezómetros de cuerda vibrante.

Los tres (3) piezómetros de tipo neumático (F1, F2, F3) controlan las presiones intersticiales bajo el núcleo a la cota 748.50 m.s.n.m. en el perfil 17B del cuerpo de presa principal.

Los veintiséis (26) piezómetros de cuerda vibrante instalados se encuentran diecinueve (19) en el cuerpo de presa principal y siete (7) en la presa de collado nº1.

### **5.2.3. Células neumáticas de presión total.**

Son usadas en presas de materiales sueltos para determinar la magnitud y la dirección de la presión.

En la presa de Maidevera se tienen treintaidós (32) células neumáticas de presión. Están distribuidas de tal forma que veinticinco (25) están situadas en el cuerpo de presa principal y siete (7) están en el collado nº1. Como se ha mencionado anteriormente, no hay equipos de auscultación en la presa del collado nº2.

Las treintaidós (32) células de presión total están distribuidas entre núcleo y espaldón, encontrándose quince (15) en el perfil 17B, diez (10) en el perfil 12A, cinco (5) en el perfil 13C y dos (2) en el perfil 19D. Otra forma de clasificarlas es que veinte (20) están en el núcleo y doce (12) se encuentran aguas abajo.

### **5.2.4. Control de desplazamientos verticales mediante células hidráulicas de asiento.**

Se utilizan para medir los asientos en las casetas situadas en las bermas.

De las treintaidós (32) células hidráulicas de asiento (asentómetros hidráulicos), veintinueve (29) están situadas en el cuerpo de presa principal y únicamente tres (3) están en el collado nº1. Como se ha dicho anteriormente, no hay equipos de auscultación en la presa del collado nº2.

### **5.2.5. Control inclinométrico.**

Hay tres (3) tubos inclinométricos en coronación. Mide los asientos desde la coronación de la presa. Es un conducto vertical que se utiliza para controlar los movimientos, medir las inclinaciones y asientos.

### **5.2.6. Auscultación topográfica.**

- Control de movimientos horizontales del cuerpo de presa.

Existen dos (2) pilares situados en ambos estribos desde los que se pueden realizar campañas de colimación para determinar los desplazamientos horizontales del cuerpo de presa.

En el cuerpo de presa se tienen cinco (5) bases de colimación en la acera de aguas arriba y otras cinco (5) en la acera de aguas abajo para completar el itinerario. Junto a cada una existe un clavo de nivelación.

- Control de movimientos verticales del cuerpo de presa.

Adicionalmente, para poder cerrar un itinerario de nivelación existen otros pilares aguas abajo de la presa y aguas arriba. Estos pilares son: CHE 1981, CHE 1982, CHE 1983, CHE 1984, CHE 1985, CHE 1986, CHE 1987 y CHE 1998.

El número de aparatos instalados en el conjunto de la presa son:

- Veintiséis (26) piezómetros de cuerda vibrante en el núcleo (11 en el perfil 17B, 8 en el perfil 12A, 5 en el perfil 13C y 2 en el perfil 19D).
- Tres (3) piezómetros neumáticos en la falla de cimentación en el perfil 17B.
- Treintaidós (32) células neumáticas de presión total distribuidas entre núcleo y espaldón, encontrándose quince (15) en el perfil 17B, diez (10) en el perfil 12A, cinco (5) en el perfil 13C y dos (2) en el perfil 19D (20 en el núcleo y 12 aguas abajo).
- Treintaidós (32) células hidráulicas asiento (15 en el perfil 17, 14 en el perfil 12 y 3 en el perfil 13).
- Tres (3) asentómetros electromagnéticos en los perfiles 12, 17 y 22.
- Cinco (5) aforadores.

A continuación, se presenta una Tabla resumen de todos los aparatos de auscultación instalados en el conjunto de presas de Maidevera.

<b>APARATOS DE AUSCULTACIÓN</b>	<b>Cuerpo presa principal</b>	<b>Presa de collado nº1</b>	<b>Presa de collado nº2</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Aforadores</b>	4	1	-	5
<b>Piezómetros neumáticos</b>	3	-	-	3
<b>Piezómetros de cuerda vibrante</b>	19	7	-	26
<b>Células de presión total</b>	25	7	-	32
<b>Células hidráulicas de asiento ó asentómetros hidráulicos</b>	29	3	-	32
<b>Asentómetro electromagnético</b>	3	-	-	3

Tabla. Resumen de los aparatos de auscultación instalados en el conjunto de la presa de Maidevera.

## 6. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN INSTALADO

El estado del sistema de auscultación es bueno en general y está funcionando correctamente, pero presenta algunas deficiencias que se deben tener en cuenta. A continuación se hace un corto resumen de las deficiencias más importantes a la fecha del 31.12.08. En el Anejo N° 5 se recoge con mayor grado de detalle la situación actual del sistema de auscultación.

- En los todos los aforadores manuales se cuenta con información desde el 18.07.08 hasta el 31.08.08. Actualmente se consideran como no operativos.
- El sensor ultrasónico del aforador AF-5 (presa del collado nº 1) se encuentra averiado y sólo se cuentan con registros manuales.
- El piezómetro neumático PN-F3 se encuentra averiado desde su instalación.
- Los piezómetros de cuerda vibrante PCV-12 A1, PCV-12 A8, PCV-17 B4, PCV-17 B7, PCV-17 B8, PCV-13 C4, PCV-19 D1 se encuentran fuera de servicio.
- Los piezómetros de cuerda vibrante PCV-17 B9, PCV-17 B10, PCV-17 B11 sólo muestran lecturas entre el 01.05.85 al 01.10.87. Actualmente son considerados no operativos.
- El piezómetro de cuerda vibrante PCV-13 C5 muestra registros del 22.04.82 al 17.07.90. Actualmente es considerado no operativo.
- El piezómetro de cuerda vibrante PCV-19 C3 muestra registros del 11.11.85 al 01.10.87. Actualmente es considerado no operativo.
- Las células neumáticas de presión total CNP-12 A1, CNP-17 B9, CNP-13 C4, CNP-13 C5, CNP-19 D1 y CNP-19 D2 registran valores nulos en el período del 29.06.07 al 22.12.08. Actualmente son consideradas no operativos.
- La célula hidráulica CHA-12 A2 sólo tiene registros del 08.02.08 al 27.10.08. Actualmente es considerada no operativa.

- La célula hidráulica CHA-17 B5 sólo tiene registros del 17.01.08 al 27.10.08. Actualmente es considerada no operativa.
- Los inclinómetros están fuera de servicio en su totalidad desde hace bastante tiempo, no permiten estudiar los movimientos en el cuerpo de presa. Actualmente son considerados no operativos.
- No se cuentan con registros del control topográfico CHE – 1998. Se considera no operativo actualmente.

A continuación se muestra una tabla resumen del sistema actual de auscultación. En ella se informa de la situación de todos los aparatos instalados en la presa de Maidevera y su estado de operatividad a fecha 31/12/2008.

**PRESA DE MAIDEVERA**  
**ESTADO DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN EXISTENTE A FECHA 31/12/2008**

VARIABLE AUSCULTADA	SENSOR	GRUPO	Nº TOTAL SENSORES	Nº SENSORES OPERATIVOS	Nº SENSORES NO OPERATIVOS	% SENSORES OPERATIVOS SOBRE EL TOTAL
Nivel de embalse	Balanza neumática (SAIH) y escala graduada	Variables exteriores	2	2	0	100%
Temperatura ambiente	Termómetro manual y automático (SAIH)	Variables exteriores	2	2	0	100%
Precipitación acumulada	Pluviómetro manual y automático (SAIH)	Variables exteriores	2	2	0	100%
Caudales y filtraciones	Aforadores (manuales)	Variables de control	5	0	5	0% <sup>(1)</sup>
	Aforadores (automáticos)	Variables de control	5	4	1	80%
Presiones intersticiales	Piezómetros neumáticos	Variables de control	3	2	1	67%
	Piezómetros de cuerda vibrante	Variables de control	26	14	12	54%
Desplazamientos verticales	Células neumáticas de presión total	Variables de control	32	25	5	78%
	Células hidráulicas de asiento	Variables de control	32	29	3	91%
Control inclinométrico	Inclinómetros	Variables de control	3	0	3	0%
Asientos en coronación	Red de nivelación topográfica	Variables de control	8	7	1	88%
<b>TOTAL PUNTOS DE CONTROL:</b>			<b>120</b>	<b>89</b>	<b>31</b>	<b>74%</b>

(1). Sólo se considera las lecturas fiables hasta el 31.08.08, fecha en la que se tienen los últimos registros de aforo.

**Tabla. Situación del sistema de auscultación instalado en la presa de Maidevera el día 31/12/2008.**

## 7. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS GLOBAL DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA.

La metodología seguida para la elaboración de este Informe ha sido la siguiente:

- Recopilación de los datos manuales y automatizados de auscultación tomados de variables exteriores y de control, facilitados por el personal de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Estos datos fueron recibidos en archivos informáticos Access y Excel.
- Revisión y depuración de datos, lo que en general permite comprobar calidad y fiabilidad de los mismos.
- Visita a la presa de Maidevera junto con personal de la Confederación Hidrográfica del Ebro en las que se observó el sistema de auscultación y la obra civil, el día 8 de septiembre de 2008.
- Realización de los gráficos cronológicos de las variables medidas. En todos ellos se presenta la evolución temporal de las variables en cajetines superpuestos para relacionar entre sí causas y efectos: variables exteriores y variables de control.
- Introducción de las lecturas y los valores ingenieriles en la red informática utilizando el programa de ordenador Ausmodel<sup>3</sup>.
- Estudios de modelización estadística de las variables de control de la presa de Maidevera con el programa Ausmodel. Los pasos para obtener un modelo estadístico son: creación del modelo, identificación de los coeficientes, contrastación del modelo, establecimiento de tolerancias y análisis del modelo, obtención de tendencias en valores acumulados en el tiempo.

---

<sup>3</sup> Ausmodel: programa informático de modelización estadística de datos de auscultación enfocada fundamentalmente a presas desarrollado por OFITECO, y especialmente concebido para el tratamiento de los

- 
- Análisis y estudio de los valores de las variables controladas.
  - Elaboración de planos y gráficos que permiten conocer el comportamiento de la presa mediante su análisis.
  - Elaboración de figuras con la estimación de las líneas de saturación en las secciones de control.
  - Estudio e interpretación de resultados, prestando especial atención a la detección de los comportamientos más significativos de la presa y a la evolución de las variables de control.
  - Fase de elaboración de los documentos.

---

datos históricos, el control y la previsión de los fenómenos relacionados con las presas. (Definición extraída de OFITECO, S.A. Ausmodel 2.0. Manual del Usuario, 1.996).

## **8. ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA.**

En el presente capítulo se analiza el comportamiento de la presa de Maidevera entre los días 1 de septiembre de 2003 y el 31 de diciembre de 2008, fechas en las que se tienen registros continuos y diarios de las variables exteriores (nivel de embalse y lluvia).

Con el fin de facilitar el seguimiento de la memoria de este informe, en los planos del Anejo Nº1 se muestra la localización de los distintos aparatos de auscultación de que dispone la presa.

### **8.1. VARIABLES EXTERIORES**

La evolución temporal de las variables exteriores desde septiembre de 2003 está incluida en los gráficos A-1, A-2 y A-3 del Anejo Nº 2 donde se presentan los niveles del embalse y las precipitaciones diarias en la zona de emplazamiento de la presa.

Las temperaturas del aire no se representan ni se adjuntan en este informe porque la presa de Maidevera se trata de una presa de materiales sueltos y esta variable exterior no tiene influencia en el análisis y evolución del comportamiento de la presa.

#### **8.1.1. Nivel de embalse**

La evolución general anual desde el año 2003 del nivel del embalse se puede repartir en las siguientes tres fases:

1. Otoño. Subida de aproximadamente 5-10 m. de cota desde el nivel mínimo anual a principios de otoño hasta alcanzar un nivel inferior a 800 m.s.n.m.
2. Invierno y primavera. Mantenimiento de un nivel elevado cerca del nivel máximo normal con pocas variaciones, en general con una bajada reducida desde enero hasta marzo y una ligera subida entre marzo y mayo hasta alcanzar el nivel máximo anual a principios de verano.
3. Verano: Bajada de aproximadamente 5-10 m. de cota hasta alcanzar el nivel mínimo anual en septiembre o octubre.

En la tabla a continuación se presentan los niveles del embalse máximos, mínimos, medios y la desviación estándar desde el año 2003.

Año	Nivel del Embalse (m.s.n.m.)			
	Máximo	Mínimo	Medio	Desviación Estándar
2003	799.60	<b>796.21</b>	798.52	<b>0.82</b>
2004	799.84	795.95	<b>798.53</b>	1.32
2005	798.53	790.61	795.06	<b>3.24</b>
2006	<b>793.87</b>	<b>787.97</b>	<b>791.20</b>	1.81
2007	799.79	790.85	795.41	2.68
2008	<b>799.92</b>	793.86	796.60	1.99

*Nota. Aparece el estilo de fuente en negrita para remarcar el valor del nivel de embalse máximo y mínimo absoluto y los valores extremos del nivel del embalse medio y la desviación estándar desde el año 2003. En el año 2003 los datos empiezan el 1 de septiembre.*

Tabla. Características de los niveles del embalse de Maidevera.

Durante los cinco años que se contemplan en este informe, la explotación del embalse ha estado regulada y no se han presentado variaciones bruscas en la evolución del nivel, por lo que únicamente se destaca:

- La máxima carga hidrostática de todo el periodo contemplado se tuvo los días 2, 3, 4, 5 y 6 de julio de 2008 correspondiendo a un nivel del embalse a la cota 799.92 m.s.n.m., y la mínima carga hidrostática los días 11 y 12 de septiembre de 2006, con el nivel de embalse a la cota 787.97 m.s.n.m.; siendo la variación máxima de nivel en todo el periodo de 11.95 m.
- En el año 2006, por las escasas precipitaciones se mantiene un nivel muy bajo que no supera la cota 793.87 m.s.n.m.
- En los comienzos del presente 2008, el embalse se ha mantenido alto durante más tiempo que en otras ocasiones, gracias al rápido ascenso experimentado en los primeros meses del año.

### 8.1.2. Precipitaciones

En la Tabla a continuación se presentan las precipitaciones máximas diarias, la media y la suma de las precipitaciones anuales y la desviación estándar anual desde septiembre de 2003.

Año	Precipitaciones			
	Max (mm/d)	Media (mm/d)	Acumulado (mm/a)	Desviación Estándar (mm)
2003	<b>62.4</b>	<b>2.13</b>	<b>259.8</b>	<b>6.68</b>
2004	48.2	1.15	421.0	4.42
2005	<b>23.6</b>	<b>0.74</b>	271.2	<b>2.55</b>
2006	36.2	1.13	412.6	4.04
2007	44.8	1.13	411.8	3.88
2008	43.20	1.36	<b>497.90</b>	4.10

*Nota. Aparece el estilo de fuente en negrita para remarcar el valor más pequeño y más grande de las precipitaciones máximas diarias, la media, la suma de las precipitaciones anuales y la desviación estándar anual de los años 2003 a 2008. En 2003 empiezan a partir del 1 de septiembre.*

Tabla. Características de las precipitaciones en el embalse de Maidevera.

De la observación de los datos obtenidos se destaca lo siguiente:

- Las precipitaciones más abundantes se recogieron en el año 2008 con 497.90 mm.
- En todo el año 2005 se registró un total de precipitaciones de 271.2 mm., valor que pone en evidencia la sequía del mismo.
- El año 2003 fue uno de los años más lluviosos. Esto se refleja en la media diaria. Se han registrado 259.8 mm. en solo cuatro meses (septiembre, octubre, noviembre y diciembre).
- Las mayores precipitaciones ocurren por el fenómeno conocido como gota fría. Estas perturbaciones son frecuentes en la Península Ibérica en las estaciones intermedias, sobre todo en otoño durante los meses de septiembre y octubre. Los días en que se recogieron mayores precipitaciones fueron los siguientes:
  - 05.09.03: 62.4 mm.
  - 07.09.04: 48.2 mm.
  - 29.04.07: 44.8 mm.
  - 10.09.08: 43.20 mm.
  - 30.03.04: 37.2 mm.
  - 22.09.06: 36.2 mm.

### **8.1.3. Temperatura del aire**

Como se ha mencionado anteriormente, la influencia de la temperatura del aire en una presa de materiales sueltos es despreciable frente a la variación en la evolución del nivel de embalse y las precipitaciones. Por todo esto, no se ha tenido en consideración la temperatura ambiente en la presa de Maidevera.

## 8.2. VARIABLES DE CONTROL.

### 8.2.1. Control de las filtraciones.

Se controlan las filtraciones de la presa con cinco (5) aforadores del tipo Thomson automatizados con un sensor de ultrasonidos. En la presa principal hay tres (3) aforadores (AF-1, AF-2, AF-3) en el túnel del desagüe de fondo de la presa de Maidevera. Hay un aforador en el aliviadero (AF-4) y otro en la presa del collado nº1 (AF-5).

Las filtraciones recogidas para cada uno de estos aforadores son las siguientes:

- AF-1. Zona central del túnel del desagüe de fondo de la presa. Controla una de las dos filtraciones emergentes por las grietas del revestimiento.
- AF-2. Zona central del túnel del desagüe de fondo de la presa. Controla una de las dos filtraciones existentes a través de una junta.
- AF-3. Salida del túnel, actuando como totalizador de los aforadores AF-1 y AF-2.
- AF-4. Aforador exterior para control de la filtración existente en el cajero izquierdo del canal de desagüe del aliviadero.
- AF-5. Presa del collado nº1. Aforador exterior para el control de las filtraciones existentes en dicha presa, y que actualmente se canalizan y se concentran en el pie, formando una charca a orilla de la carretera de acceso, desaguándose a través de un tubo enterrado que la atraviesa.

Con el fin de facilitar el análisis del caudal de las filtraciones recogidas se presentan los siguientes elementos:

- Planos con la localización de los aforadores en la presa principal y en la presa del collado nº 1 (planos 1 y 2 del Anejo Nº 1).
- Gráficos de evolución temporal de las filtraciones medidas (aforadores AF-1, AF-2, AF-3, AF-4 y AF-5) puestas en relación con las variables exteriores (gráficos E2 a E5 del Anejo Nº 2).

- Gráfico de las evoluciones temporales de las filtraciones de la presa medidas de manera automática mediante los aforadores (gráfico E6 del Anejo N° 2). De esta forma se puede visualizar la incoherencia de los valores que suministra el sistema automático de lecturas para estos sensores.
- Gráfico de la evolución temporal de las filtraciones de la presa en el año 2004, antes de la instalación de los aforadores (gráfico E1 del Anejo N° 2).

De la observación de los datos obtenidos y gráficos presentados se resalta que:

- Se dispone de lecturas manuales diarias desde el 1 de enero de 2007 hasta el 31 de agosto de 2008 en todos los aforadores.
- Las lecturas automáticas diarias disponibles datan desde el 24 de enero de 2007 hasta el 31 de diciembre de 2008 para los aforadores AF-1, AF-2 y AF-3. Con períodos de ausencia de datos entre el 28.08.07 y el 12.06.08.
- Del AF-4 automático se tienen registros desde el 10.05.08 hasta el 31.12.08, no obstante se presentan varios períodos sombras de ausencia de datos.
- Los datos registrados por el aforador manual AF-3 suministra valores superiores a la suma de los manuales AF-1 y AF-2, con una diferencia de 25ltr/min. La media de filtraciones en cada punto de control es igual a 12 ltr/min (AF-1), 13 ltr/min (AF-2) y 50 ltr/min (AF-3).
- Las filtraciones en el túnel recogidas con los aforadores automáticos AF-1, AF-2 y con el totalizador (AF-3), son de 30 ltr/min. y 13ltr/min. para los AF-1 y AF-2, y 40 ltr/min. para el AF-3.
- Las filtraciones medidas con el aforador automático AF-1 no es consistente con las medidas por el aforador manual. La diferencia es del orden de 15 ltr/min.
- En el AF-3 ocurre una situación similar a del AF-1, aunque sólo en el período del 24.01.2007 al 28.08.2007, allí la diferencia es del orden de 10 ltr/min.

- Se realizaron modelos estadísticos con los aforadores manuales debido a que la serie de datos no presenta períodos sombra. En los resultados obtenidos se pudo constatar la influencia del nivel de embalse sobre la variable auscultada.
- En ninguno de los modelos estadístico se presentan comportamientos irreversibles con el paso del tiempo.
- Las filtraciones medidas los aforadores AF-1, AF-2 y AF-3 tienen variaciones de muy poca entidad, la influencia del nivel de embalse es muy leve.
- La filtración existente en el cajero izquierdo del canal de desagüe del aliviadero, recogida con el aforador AF-4, es destacable para altos niveles de embalse. Con un nivel del embalse cercano a la cota 800 m.s.n.m., se registran filtraciones máximas de hasta 120 l/min. en el periodo de estudio.
- Las filtraciones más importantes son las que recoge el AF-5 (de 100 a 250 ltr/min). Estas evolucionan con la variación del nivel de embalse y con las precipitaciones. Estos valores tan altos están asociados en mayor medida al hecho de que éste aforador recoge las precipitaciones caídas en la zona del pié de aguas abajo.

### **8.2.2. Control de presiones intersticiales.**

El control de las presiones intersticiales se realiza mediante tres (3) piezómetros de tipo neumático (F1, F2, F3), controlando las presiones intersticiales bajo el núcleo a la cota 748.50 m.s.n.m. en el perfil 17B del cuerpo de presa principal, y mediante veintiséis (26) piezómetros de cuerda vibrante instalados diecinueve (19) en el cuerpo de presa principal y siete (7) en la presa de collado nº1.

#### **8.2.2.1. Piezómetros neumáticos.**

Se tienen tres (3) piezómetros de tipo neumático (F1, F2, F3) controlando las presiones intersticiales bajo el núcleo a la cota 748.50 m.s.n.m. en el perfil 17B del cuerpo de presa principal.

Se instalaron en una zona de falla con objeto de comprobar si el peso de la presa generaba en ella presiones intersticiales inducidas siendo su cota de instalación prácticamente igual para los tres piezómetros neumáticos (F1, F2, F3), 748.50 m.s.n.m.

El piezómetro neumático F3, el situado más aguas abajo, no funciona desde su instalación en 1980.

Para facilitar el análisis y seguimiento de los niveles piezométricos medidos en la cimentación, se presentan:

- Planos con la localización de los piezómetros en la presa (véase anejo N° 1, plano 4).
- Gráfico de la evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la cimentación del perfil P-17B con los piezómetros neumáticos, así como de su relación con respecto a la carga hidrostática del embalse (gráfico C1 del Anejo N° 2).

A continuación se resumen las principales observaciones deducidas del análisis de los datos y gráficos obtenidos:

- Los piezómetros neumáticos se leen una vez al mes de forma manual. La toma de datos de los piezómetros comenzó en marzo de 1980, aunque únicamente se dispone de datos de lectura desde el 29 junio del año 2007 hasta el 22 de diciembre de 2008.
- La serie de datos disponible de los piezómetros resulta consistente, siguiendo sensiblemente la evolución del nivel del embalse.
- Los modelos estadístico asociados a estas variables son poco robustos debido precisamente a la escasa cantidad de datos.
- Es posible constatar la influencia del nivel de embalse en la modelación estadística. Sin embargo la influencia de esta variable exterior es muy reducida.
- No se aprecian efectos irreversibles con el paso del tiempo de las presiones intersticiales medidas con estos piezómetros.

- Del gráfico C1 del Anejo N° 2, se destaca el hecho de que el piezómetro F2 mide valores de presión por encima del F1 (1.5 Kg./cm<sup>2</sup> y 1.0 Kg./cm<sup>2</sup> respectivamente); esto podría ser indicativo de un funcionamiento distinto al razonable desde el punto de vista de la disipación de presiones intersticiales.

#### **8.2.2.2. Piezómetros de cuerda vibrante.**

El control de las presiones intersticiales se realiza mediante veintiséis (26) piezómetros de cuerda vibrante instalados diecinueve (19) en el cuerpo de presa principal y siete (7) en la presa de collado nº1.

Las lecturas de los piezómetros de cuerda vibrante vienen en hertzios. Como no se dispone de las constantes de dichos piezómetros, se ha procedido a buscar relaciones matemáticas entre valores de los piezómetros de los años 80 que se tenían unidades en presión y en frecuencia.

A partir de esta transformación se ha obtenido las constantes y la frecuencia origen de bastantes piezómetros. Alguno de ellos ha resultado imposible, como son los piezómetros A2, B9, B10, B11 y C3.

Para facilitar el análisis y seguimiento de los niveles piezométricos medidos, se presentan:

- Planos con la localización de los piezómetros en la presa (planos 3, 4 y 5 del Anejo N° 1).
- Gráficos de la evolución temporal de los niveles piezométricos medidos con los piezómetros de cuerda vibrante (PCV), así como de su relación con respecto a la carga hidrostática del embalse (gráficos C2 a C9 del Anejo N° 2).
- Alzado con las líneas de saturación estimadas para los días 19.11.07, 07.04.08 y 08.07.08 con los piezómetros (ver planos 6, 7 y 8 del Anejo N° 1). El día 19.11.07 se ha escogido dado que el nivel de embalse (794.73 m.s.n.m.) presentaba un valor bajo, representativo de principios de otoño. Se ha decidido estimar la línea de saturación correspondiente al día 07.04.08 debido a que el nivel de embalse (796.64 m.s.n.m.) presentaba un valor medio en torno del cual suele estabilizarse durante unos meses durante unos años. Finalmente, el día 08.07.08 se ha elegido dado que el nivel del embalse (799.91 m.s.n.m.) se encontraba en un valor muy alto, incluso

superior al nivel máximo normal (799.00 m.s.n.m.). En las siguientes figuras se muestran las líneas de saturación estimadas.

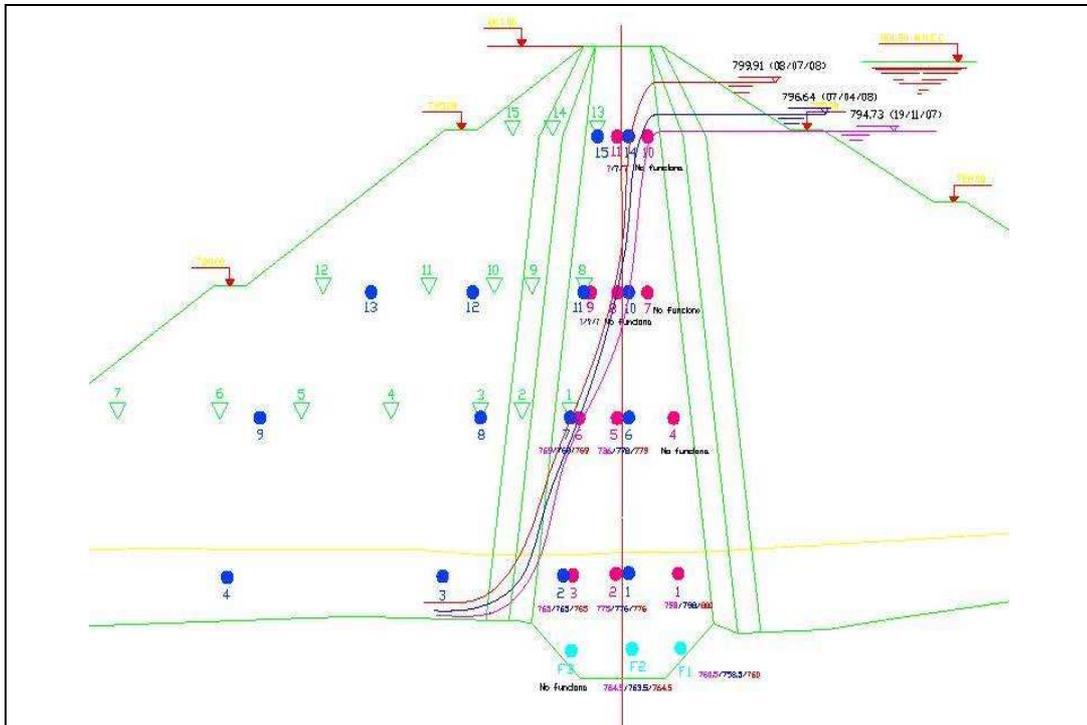


Figura. Líneas de saturación estimadas y promediadas en el perfil P-17 B

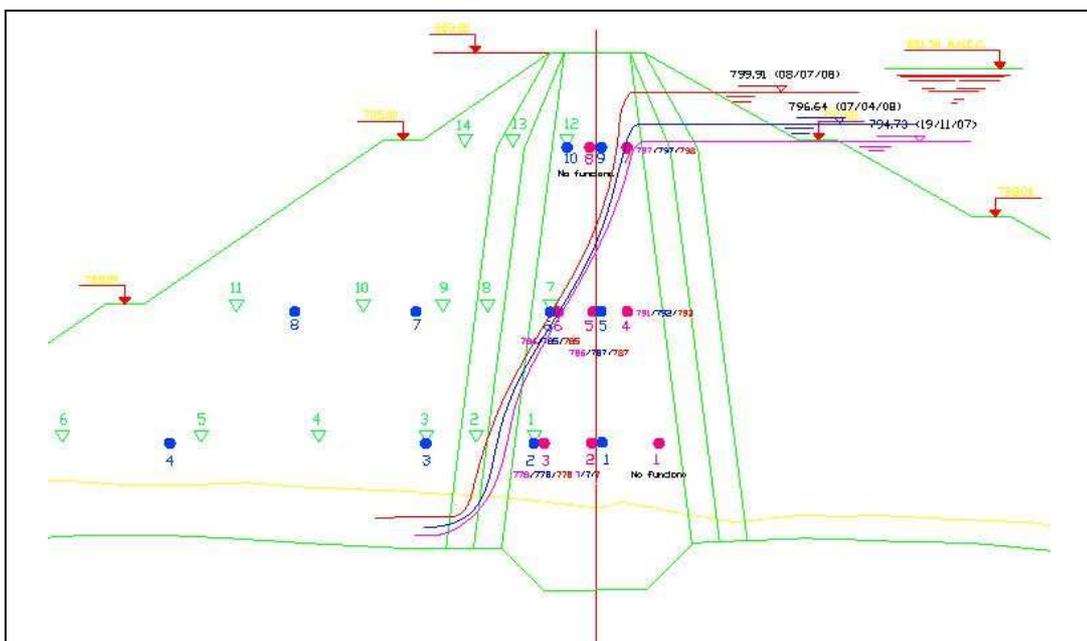


Figura. Líneas de saturación estimadas y promediadas en el perfil P-12 A

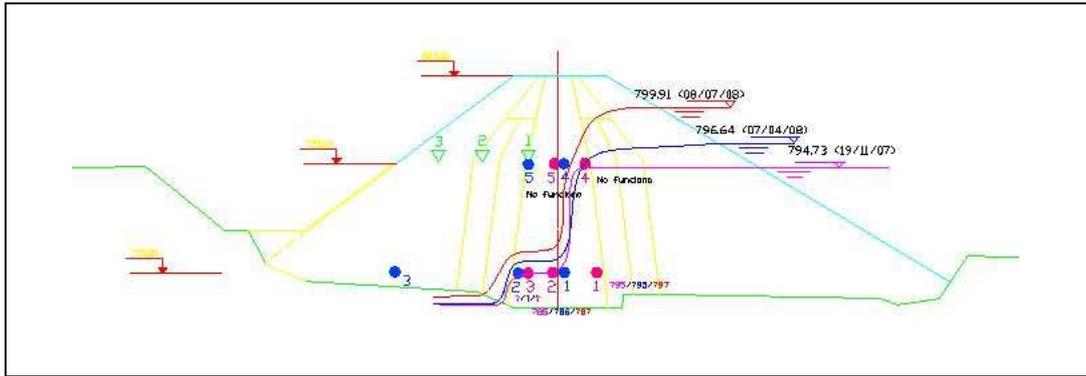


Figura. Líneas de saturación estimadas y promediadas en el perfil P-13 C

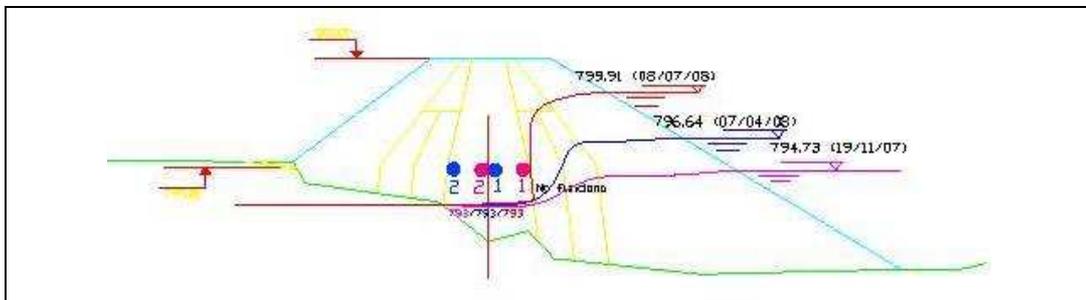


Figura. Líneas de saturación estimadas y promediadas en el perfil P-19 D

De la observación de los datos obtenidos y gráficos presentados se resalta lo siguiente:

- Los piezómetros se leen de forma manual y una vez al mes aproximadamente desde el 22.04.1982 hasta el 22.12.2008. No obstante, hay un período sombra en el que no se suministran datos, del 17.07.1990 al 29.06.07.
- De los piezómetros que son considerados como operativos, se tiene que el PCV-12 A2 sólo registra datos en los meses de agosto a diciembre y son todos del mismo valor.
- La modelación estadística sólo contempla el período 2007-2008, el resto no es considerado ya que una parametrización del comportamiento bajo ese esquema resulta poco fiable y no caracteriza lo sucedido en el período sombra.
- Los datos registrados por los piezómetros de cuerda vibrante PCV-A3 y PCV-B6 permanecen casi constantes en el período 2007-2008. Con lo cual, no es posible llevar a cabo una parametrización del comportamiento.
- En el resto de los piezómetros modelados y pese a que la serie de registro es corta, es posible constatar la influencia del nivel de embalse sobre la variable auscultada. Sin embargo, estos modelos son sólo una primera visión del comportamiento ya que sólo contempla un ciclo anual de carga en el embalse.
- Las presiones intersticiales en el interior del núcleo se han mantenido en valores similares a los que se producían en anteriores periodos de estudio. Se observa en general una disipación lenta de presiones al producirse descensos de nivel de embalse.
- En todas las secciones de control se aprecia una disminución de las presiones intersticiales desde aguas arriba a aguas abajo de la presa. Se observa como el núcleo desarrolla correctamente su misión impermeabilizadota.
- El piezómetro de cuerda vibrante PCV-B1 registra niveles prácticamente iguales a los del nivel de embalse. Pudiendo ser esto indicativo de fenómenos de fisuración dentro del núcleo.

### 8.2.3. Control de presiones totales con células neumáticas de presión total.

En la presa de Maidevera se tienen treinta y dos (32) células neumáticas de presión. Están distribuidas de tal forma que veinticinco (25) están situadas en el cuerpo de presa principal y siete (7) están en el collado nº1.

Estas circunstancias hacen que el estudio de las presiones totales que se puede hacer resulte insuficiente. Con lo cual, las conclusiones que se pueden extraer en este apartado son reducidas.

Para facilitar el análisis y seguimiento de las presiones totales medidas con las células neumáticas de presión total en los diferentes perfiles de control se presentan:

- Planos con la localización de las células neumáticas de presión total (véase Anejo N° 1, planos 3, 4 y 5).
- Gráficos de la evolución temporal de las presiones totales medidas en las secciones de control con las células neumáticas de presión total (gráficos D1 a D4 del Anejo N° 2).

A continuación se resumen las principales observaciones deducidas del análisis de los datos y gráficos obtenidos:

- Únicamente se disponen de datos de auscultación de las células neumáticas de presión total una vez al mes aproximadamente desde 29 junio de 2007 al 22 de diciembre de 2008.
- Existen células que suministran valores incoherentes, muy por debajo de la carga teórica que deberían dar, teniendo en cuenta el peso de tierras que tienen por encima de ellas. Estas células neumáticas de presión total son: A6, B7, B9, B11, B14, B15, C1, C2, C4, C5, D1 y D2.
- No se elaboraron modelos estadísticos de ninguna de las células de presión total, ya que la serie de datos no es suficientemente extensa como para poder caracterizar correctamente el comportamiento de la variable. La serie de registros sólo contempla un ciclo de carga anual del embalse.

- En general y tras llevar a cabo una comparación entre las presiones medidas y las teóricas en las secciones P-17B, P-12A, P-13C y P-19D. no se puede establecer un patrón de comportamiento tensional en el cuerpo de presa (posibles transferencias de tensiones entre núcleo y espaldones). El gráfico siguiente muestra las variaciones porcentuales de las presiones totales para el perfil P-17B respecto de las tensiones teóricas.

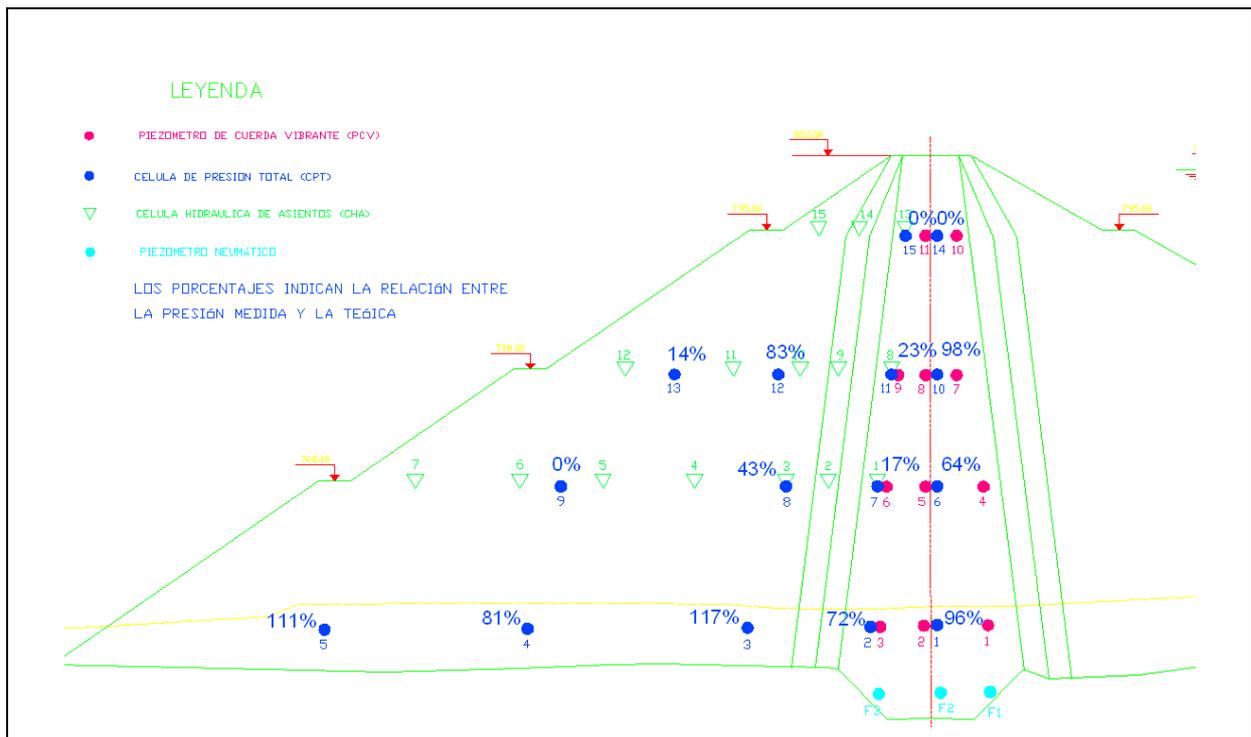


Gráfico. Variaciones porcentuales (medidas vs. teóricas) de las presiones totales (Perfil P-17B).

Nota: se toma como tensiones teóricas o de referencia el producto de la densidad por la altura de tierras en el punto de comparación (la densidad sería la seca por encima de la línea de saturación y la saturada por debajo de ella).

### Perfil P-17 B (núcleo)

- Las células de presión total B1 y B2, situadas a la cota 755.00 m.s.n.m. en el centro y aguas abajo del núcleo respectivamente, han permanecido prácticamente estabilizadas en valores próximos a  $9.6 \text{ Kg./cm}^2$  (la B1) y  $7.5 \text{ Kg./cm}^2$  (la B2).
- La célula de carga B6, en la zona central del núcleo a la cota 769.50 m.s.n.m., se ha mantenido estable en valores cercanos a  $4.5 \text{ Kg./cm}^2$ .

- La célula B7 (aguas abajo del núcleo a la cota 769.50 m.s.n.m.) no da lecturas lógicas. Como se indica en el Informe General de Auscultación relativo al periodo comprendido entre octubre de 1985 y octubre de 1987<sup>4</sup>: *“la célula B7 no da lecturas fiables desde su instalación, ya que no detectó el aumento de relleno sobre ella durante la construcción. Esto puede ser debido a diversas causas (puenteo de cargas, aislamiento de la célula del campo tensional del resto de la presa por defectuosa instalación, etc.)”*. Por lo tanto no se consideran representativos los valores aportados por ella.
- La células B10, situadas a la cota 781.00 m.s.n.m. en el centro del núcleo aporta valores estabilizados de 4.6 Kg./cm<sup>2</sup>.
- Los datos disponibles relativos a las células B14 y B15 (cota 795 m.s.n.m.) no se consideran fiables porque en ocasiones descienden bruscamente sin motivo aparente, continuando después con unas lecturas no estabilizadas.

#### **Perfil P-17 B (espaldón de aguas abajo)**

- Las células B3, B4 y B5 están instaladas en la escollera del espaldón de aguas abajo a la cota 755.00 m.s.n.m. La célula B5, situada en la zona de aguas abajo, presenta ligeras oscilaciones entre 3.1 y 3.7 Kg./cm<sup>2</sup>. La célula B4, situada en el centro del espaldón, presenta también ligeras variaciones entre 6.4 y 7.0 Kg./cm<sup>2</sup>. La célula B3, situada próxima a los filtros, marca presiones del orden 11.2 Kg./cm<sup>2</sup>.
- En el espaldón de aguas abajo a la cota 769.50 m.s.n.m. se encuentran instaladas dos células de presión total (B8 y B9). La célula B8, próxima al filtro, no ha sufrido prácticamente variación, permaneciendo estabilizado en 2.6 Kg./cm<sup>2</sup>. La célula B9, situada en la zona de aguas abajo de la escollera, no da lecturas fiables, siempre suministrando presiones nulas.
- A la cota 781.00 m.s.n.m. y en el espaldón de aguas abajo están las células de presión total B12 y B13. La célula B12, situada próxima a los filtros, ha permanecido

---

<sup>4</sup> Presa de Maidevera. Informe general de auscultación relativo al periodo comprendido entre octubre de 1985 y octubre de 1987. (Ofiteco, 1988).

prácticamente estabilizada marcando 2.6 Kg./cm<sup>2</sup>, lo que representa un 83% de la carga teórica. La célula B13, que marcaba al final del periodo de estudio 1.1 Kg./cm<sup>2</sup>, ha evolucionado con oscilaciones llegando incluso a presiones nulas.

### **Perfil P-12 A (núcleo)**

- En la cota 769.50 m.s.n.m., de las dos células instaladas (A1 y A2) sólo se encuentra en funcionamiento la A2. La célula ha seguido desde febrero de 2008 un descenso gradual produciéndose una caída brusca en mayo de 2008, aumentado nuevamente y de manera progresiva hasta el final del período. En la actualidad registra 2 Kg./cm<sup>2</sup>.
- La célula A5, cota 781.00 m.s.n.m. del núcleo, muestra una evolución coherente con los niveles del embalse, adicionalmente se observa que las presiones intersticiales registradas por el PCV-A4 y las totales tienen un comportamiento similar (de hecho es la única célula que cumple esta relación), lo cual tiene sentido ya que se encuentran instaladas a la misma cota y están muy cercanas.
- La célula A6 ha estado dando presiones muy bajas y nulas desde marzo de 2008.
- La células A9 y A10, situadas a la cota 795.00 m.s.n.m. en el centro y aguas abajo del núcleo respectivamente, han ido descendiendo paulatinamente desde la construcción llegando a marcar en algunos periodos presiones nulas.

### **Perfil P-12 A (espaldón de aguas abajo)**

- En la cota 769.50 m.s.n.m. están las células A3 y A4. La célula A3, situada próxima al filtro, se ha mantenido con valores próximos a 4.1 Kg./cm<sup>2</sup>. La célula A4 ha ido oscilando entre 2.2 y 2.7 Kg./cm<sup>2</sup>.
- La célula A7, situada en la zona más próxima al filtro en la cota 781.00 m.s.n.m., ha dado lecturas estabilizadas de junio de 2007, midiendo el 31 de agosto de 2008 una presión de 2.3 Kg./cm<sup>2</sup>, lo que resulta un 80% de la carga que cabría esperar dada su posición. Este valor es algo inferior al que se producía después de la construcción en 1983 (2.7 Kg./cm<sup>2</sup>). La célula A8 ha sufrido algunos descensos con posteriores subidas midiendo el 31 de agosto de 2008 1.75 Kg./cm<sup>2</sup>.

### **Perfil P-13 C (presa del collado nº1)**

- En la cota 785.00 m.s.n.m. se encuentran las células C1 y C2, situadas en el centro y aguas abajo del núcleo respectivamente. Las células C1 y C2 suministran valores poco fiables.
- La célula C3, situada en el espaldón de aguas abajo a la cota 785.00 m.s.n.m. ha ido oscilando entre 1.1 y 1.8 Kg./cm<sup>2</sup>, valores que resultan acordes con la sobrecarga existente sobre dicha célula.
- Las células de presión total C4 y C5 instaladas a la cota 793.40 m.s.n.m., han venido dando datos poco fiables desde un principio, manteniéndose en la actualidad en valores nulos, lo que no parece razonable.

### **Perfil P-19 D (presa del collado nº1)**

- Están instaladas dos células de presión total (D1 y D2) a la cota 794.30 m.s.n.m. que proporcionan datos poco fiables desde el principio, marcando cero durante todo el periodo.

#### **8.2.4. Control de desplazamientos verticales mediante células hidráulicas de asiento.**

Para realizar el control de los desplazamientos verticales se han instalado treintidos (32) células hidráulicas de asiento: veintinueve (29) en el cuerpo principal de presa y tres (3) en la presa del collado nº1. Se miden los asientos en las casetas situadas en las bermas.

Para el análisis de las lecturas de las lecturas de las células hidráulicas de asiento, se utilizan: datos de tres (3) lecturas, la cota de la caseta donde se mide, cota desde la solera de la caseta al cero de la célula y el valor inicial de la cota de la célula. En el caso de Maidevera, no se dispone la cota desde la solera de la caseta al cero de la célula ni el valor inicial de la cota de la célula, para obtener el asiento a origen usando la diferencia entre ambas.

Por todo ello y para poder establecer alguna conclusión sobre el comportamiento de estas células, se ha establecido como campaña inicial de origen los datos correspondientes al

mes de junio de 2007. Entonces se representarán los incrementos de asientos producidos desde junio de 2007.

Para analizar los desplazamientos verticales de los puntos de control en la presa, se muestran:

- Planos con la localización de las células hidráulicas de asiento instaladas en los perfiles de control (planos 3, 4 y 5 del Anejo N° 1).
- Gráficos de la evolución temporal de los desplazamientos verticales obtenidos en cada punto controlado mediante las células hidráulicas de asiento para cada una de las secciones de control (gráficos B1, B2 y B3 del Anejo N° 2).
- Valores de los movimientos verticales obtenidos por las células hidráulicas de asiento. Estos valores pueden encontrarse en el Anejo N° 3.

De la observación de los movimientos verticales registrados, se destaca lo siguiente:

- Únicamente se disponen de datos de auscultación de las células hidráulicas de asiento medidas una vez al mes aproximadamente desde el 29 de junio de 2007 hasta el 22 de diciembre de 2008.
- Los datos registrados por las células hidráulicas de asiento en ocasiones son inconsistentes. Adicionalmente el período de registro disponible no es suficientemente extenso para un análisis más detallado.
- No es posible establecer, en ningún caso, una adecuada modelación estadística. Los registros contemplan sólo un ciclo anual de carga en el embalse.
- Al intentar comparar los asientos de las células instaladas en el perfil P-12A, se observa que las ubicadas en la cota 768.00 m.n.m. registran asientos similares en torno a los 20 mm. No obstante, en las que se encuentran a la 790.00 m.s.n.m. y 795.00 m.s.n.m. registran mayores asientos en el núcleo que en el espaldón.
- Para el caso del perfil P17-B, a la cota 768.00 m.s.n.m., sólo es posible interpretar un comportamiento con las células B1, B5 y B6 ya que son las que registran menor dispersión de todo el conjunto. En este caso, se tiene que los movimientos son similares entre sí, registrando la célula B5 el menor asiento entre las tres.

### **8.2.5. Desplazamientos verticales en coronación medidos mediante nivelación topográfica.**

El control topográfico realizado en la presa de Maidevera consiste en el control de asientos mediante nivelación topográfica de los clavos de nivelación situados junto a los pilares aguas abajo y aguas arriba de la presa

Para analizar los movimientos verticales de la coronación de la presa, obtenidos en las distintas campañas de nivelación topográfica de precisión realizadas, se muestran:

- Plano con la localización de los clavos de nivelación (plano 6 del Anejo N° 1).
- Gráficos de la evolución temporal de los desplazamientos verticales obtenidos en cada punto controlado mediante nivelación topográfica (gráfico F1 del Anejo N° 2).
- Valores de los movimientos verticales obtenidos en las distintas campañas de nivelación topográfica. Estos valores pueden encontrarse en el Anejo N° 3.

De la observación de los datos obtenidos y gráficos presentados se resalta que:

- Se dispone de datos de campañas de nivelación dos (2) veces al año, aproximadamente, desde la campaña inicial (origen) del día 21 de enero de 1999 hasta el 17 de septiembre de 2008.
- En general los datos son bastante buenos y consistentes con la tipología de la presa. Los movimientos verticales de la presa han evolucionado sin anomalías desde la primera campaña topográfica (21 de enero de 1999), con asientos progresivos a lo largo del tiempo, pero cada vez con menos intensidad.
- Los valores de asientos más elevados se miden en la zona central de la presa (CHE 1983, CHE 1984, CHE 1985). El máximo valor registrado de asiento en el periodo de estudio del informe es de -31.44 mm. en el punto de control CHE 1983, asiento registrado el día 27 de febrero de 2008.
- La modelación estadística se plantea sólo con los datos suministrados por el punto de control CHE 1984. Se eligió este por ser representativo de los mayores asientos producidos en la presa.

- Del modelo estadístico se observan comportamientos irreversibles de -2.23 mm/año.
- Se puede decir (criterio de Dascal, 1987) que la presa se encuentra en una situación estabilizada, debido a que el asiento producido en un año es menor que el 0.02% de la altura de la presa. El asiento en el centro de la presa medido con el punto de control CHE 1984, desde octubre 2007 hasta septiembre de 2008 fue de 1.49 mm. que corresponde a un 0.003% de la altura.

## 9. CONCLUSIONES

A la vista del análisis expuesto en los capítulos anteriores y considerando la tipología de la presa, sus características, el comportamiento de la misma durante el período en estudio y su antigüedad, se indican las siguientes conclusiones generales, las cuales se han clasificado en 4 grupos como se presenta a continuación.

- a) Sobre las lecturas de instrumentos disponibles y el estado actual del sistema de auscultación instalado:
1. Todos los datos utilizados en el presente informe son automáticos de frecuencia diaria y han sido extraídos de la base de datos del Sistema Automático de Información Hidrológica (S.A.I.H.).
  2. Actualmente, funcionan o se realizan lecturas del 74% de los instrumentos instalados en la presa principal y la de collado nº1. La siguiente Tabla muestra el porcentaje de operatividad de los instrumentos y la fiabilidad que se tiene de los datos.

SENSOR / INSTRUMENTO / EQUIPO	NÚMERO TOTAL SENSORES	PORCENTAJE DE INSTRUMENTOS OPERATIVOS	FIABILIDAD DE LAS LECTURAS SUMINISTRADAS
Balanza neumática (SAIH) y escala graduada	2	100%	100%
Termómetro manual y automático (SAIH)	2	100%	100%
Pluviómetro manual y automático (SAIH)	2	100%	100%
Aforadores (manuales)	5	0%	_(1)
Aforadores (automáticos)	5	80%	75%
Piezómetros neumáticos	3	67%	100%
Piezómetros de cuerda vibrante	26	54%	86%
Células neumáticas de presión total	32	84%	68%
Células hidráulicas de asiento	32	91%	52%
Inclinómetros	3	0%	-
Red de nivelación topográfica	8	88%	100%
<b>TOTAL PUNTOS DE CONTROL:</b>	<b>120</b>	<b>74%</b>	<b>71%</b>

(1). Sólo se considera las lecturas fiables hasta el 31.08.08, fecha en la que se tienen los últimos registros de aforo.

Tabla. Instrumentos operativos en la presa de Maidevera

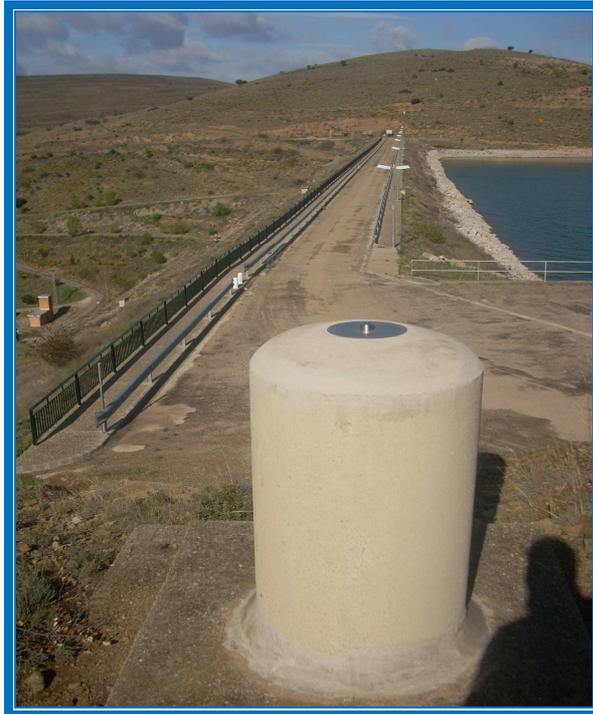
3. Todas las variables de control son leídas de forma manual.
  4. Actualmente hay 31 instrumentos no operativos en la presa a fecha 31.12.2008.
  5. Las filtraciones recogidas por todos los aforadores manuales datan del 01.01.2007 al 31.12.2008.
  6. Las lecturas automáticas de los aforadores AF-1, AF-2 y AF-3 registran datos desde el 24.01.2007 al 31.12.2008, presentando períodos sombra entre el 28.08.2007 y el 12.06.2008.
  7. Del AF-4 automático se tienen registros desde el 10.05.08 hasta el 31.12.08, no obstante se presentan varios períodos sombras de ausencia de datos.
  8. Los piezómetros neumáticos cuentan con datos desde el 29.06.2007 al 22.12.2008, y son leídos de forma manual una vez al mes aproximadamente.
  9. En los datos de los piezómetros de cuerda vibrante hay un período sombra sin información, del 22.04.1982 al 22.12.2008. Las lecturas se hacen una vez por mes aproximadamente.
  10. En las células neumáticas de presión total se tienen datos mensuales desde el 29.06.2007 al 22.12.2008.
  11. Los registros de las células hidráulicas de asiento datan del 29.06.2007 al 22.12.2008. Son medidos una vez al mes aproximadamente.
  12. En cuanto a la nivelación topográfica, se tienen datos desde el 21.01.1999 hasta el 17.09.2008 con campañas de medición 2 veces al año aproximadamente.
- b) Sobre el comportamiento de la variables de control:
1. La media de filtraciones recogidas manualmente en el túnel de desvío y en cada punto de control es igual a 12 ltr/min (AF-1), 13 ltr/min (AF-2) y 50 ltr/min (AF-3). Mientras que las tomadas de manera automática se manejan en torno a los 30, 13 y 40 ltr/min respectivamente.

2. Las filtraciones medidas el aforador manual AF-1 no concuerdan con los caudales obtenidos de manera automática en el mismo punto de aforo. La diferencia es del orden de 15ltr/min.
3. En el AF-3 ocurre una situación similar a del AF-1, aunque sólo en el período del 24.01.2007 al 28.08.2007, allí la diferencia es del orden de 10 ltr/min.
4. Las filtraciones medidas con el aforador AF-4 de forma manual y automática coinciden en los períodos comunes.
5. Se realizaron modelos estadísticos con los aforadores manuales debido a que la serie de datos no presenta períodos sombra. En los resultados obtenidos se pudo constatar la influencia del nivel de embalse sobre la variable auscultada.
6. Los modelos estadísticos del aforador AF-4 explican mejor el comportamiento de la variable auscultada con la lluvia que con la evolución del nivel de embalse. Se destaca que para niveles de embalse cercanos a los 800.00 m.s.n.m. se registran filtraciones máximas de hasta 120 ltr/min, e iguales a cero para niveles para cotas menores a 795.00 m.s.n.m.
7. El aforador AF-5 evoluciona según los niveles de embalse aunque muestra una dependencia relacionada con la lluvia. En este punto de control se registran las mayores filtraciones (entre 100 y 250 ltr/min).
8. En ninguno de los modelos estadístico se presentan comportamientos irreversibles con el paso del tiempo.
9. Los piezómetros de cuerda vibrante PCV-A7 y PCV-A4 registran niveles piezométricos por encima del nivel de embalse, lo cual es considerado ilógico.
10. Los datos registrados por los piezómetros de cuerda vibrante PCV-A3 y PCV-B6 permanecen casi constantes en el período 2007-2008, las variaciones son de muy poca entidad. Con lo cual, no es posible llevar a cabo una parametrización del comportamiento.

11. La modelación estadística sólo contempla el período 2007-2008, el resto no es considerado ya que una parametrización del comportamiento bajo ese esquema resulta poco fiable y no caracteriza lo sucedido en el período sombra.
12. En todos los piezómetros modelados y pese a que la serie de registro es corta, es posible constatar la influencia del nivel de embalse sobre la variable auscultada. Sin embargo, estos modelos son sólo una primera visión del comportamiento ya que sólo contempla un ciclo anual de carga en el embalse.
13. El piezómetro de cuerda vibrante PCV-B1 registra niveles prácticamente iguales a los del nivel de embalse. Pudiendo ser esto indicativo de fenómenos de fisuración dentro del núcleo.
14. Las células de presión total A6, B7, B9, B11, B14, B15, C1, C2, C4, C5, D1 y D2 suministran datos por debajo de la carga teórica que deberían dar, teniendo en cuenta el peso de tierras que tienen por encima de ellas.
15. No se elaboraron modelos estadísticos de ninguna de las células de presión total, ya que la serie de datos no suficientemente extensa como para poder caracterizar correctamente el comportamiento de la variable. No contemplan más de un ciclo anual de carga en el embalse.
16. La evolución de las presiones totales en general son de poca entidad, sólo destaca la CNP-A5 ya que tiene un comportamiento similar al del embalse y a las presiones intersticiales registradas por el PCV-A4, lo cual tiene sentido si se toma en cuenta que ambos instrumentos están a la misma cota y cercanos uno del otro.
17. Luego de analizar el gráfico de las variaciones porcentuales de las presiones totales (medidas vs. teóricas), no es posible establecer un patrón de comportamiento tensional en el cuerpo de la presa (posibles transferencias de tensiones entre núcleo y espaldones).
18. Los piezómetros neumáticos instalados en la zona de la falla de cimentación (F1 y F2) dan valores de presiones intersticiales equivalentes a entre  $1/3$  y  $1/2$  de la carga de agua, si bien destaca el hecho de que la medición superior se da en el piezómetro ubicado más aguas abajo de los 2.

19. Los modelos estadístico asociados a estas variables son poco robustos debido precisamente a la escasa cantidad de datos.
20. Es posible constatar la influencia del nivel de embalse en la modelación estadística. Sin embargo la influencia de esta variable exterior es muy reducida.
21. No se aprecian efectos irreversibles con el paso del tiempo de las presiones intersticiales medidas con estos piezómetros.
22. En todas las secciones de control se aprecia una disminución de las presiones intersticiales desde aguas arriba a aguas abajo de la presa. Se observa como el núcleo desarrolla correctamente su misión impermeabilizadota.
23. Los datos registrados por las células hidráulicas de asiento en ocasiones son inconsistentes. Adicionalmente el período de registro disponible no es suficientemente extenso para un análisis más detallado.
24. No es posible establecer, en ningún caso, una adecuada modelación estadística. Los registros contemplan sólo un ciclo anual de carga en el embalse.
25. Al intentar comparar los asientos de las células instaladas en el perfil P-12A, se observa que las ubicadas en la cota 768.00 m.n.m. registran asientos similares en torno a los 20 mm. No obstante, en las que se encuentran a la 790.00 m.s.n.m. y 795.00 m.s.n.m. registran mayores asientos en el núcleo que en el espaldón.
26. Para el caso del perfil P17-B, a la cota 768.00 m.s.n.m., sólo es posible interpretar un comportamiento con las células B1, B5 y B6 ya que son las que registran menor dispersión de todo el conjunto. En este caso, se tiene que los movimientos son similares entre sí, registrando la célula B5 el menor asiento entre las tres.
27. Los asientos medidos mediante nivelación topográfica son en general bastante buenos. Han evolucionado sin anomalías desde la primera campaña topográfica (21 de enero de 1999).
28. La modelación estadística se plantea sólo con los datos suministrados por el punto de control CHE 1984. Se eligió este por ser representativo de los mayores asientos producidos en la presa.

- 
29. Del modelo estadístico se observan comportamientos irreversibles de -2.23 mm/año, el cual representa un asiento menor al 0.02% de la altura de la presa.
30. Se puede decir (criterio de Dascal, 1987) que la presa se encuentra en una situación estabilizada, debido a que el asiento producido en un año es menor que el 0.02% de la altura de la presa. El asiento en el centro de la presa medido con el punto de control CHE 1984, desde octubre 2007 hasta septiembre de 2008 fue de 1.49 mm. que corresponde a un 0.003% de la altura.
31. Por la especial relevancia que tienen las presiones intersticiales en la estabilidad de las presas de materiales sueltos, se estimaron y promediaron las líneas de saturación en tres días (18.06.07, 21.11.07 y 24.03.08) con diferentes cargas hidrostáticas, dejan ver el correcto funcionamiento del núcleo como elemento de impermeabilización.
- c) Sobre la inspección realizada:
1. En la inspección realizada no se detectó ninguna anomalía en la presa. No se aprecia colapso en las escolleras y las farolas no marcan movimientos horizontales.
  2. Se observan asientos en la parte central de la presa y hacia el estribo izquierdo de ésta. En coronación se ven asientos de aproximadamente 25 centímetros. En la imagen a continuación se muestra una vista de la coronación desde la margen izquierda.



Vista de la coronación desde la margen izquierda.

d) Sobre la seguridad de la presa:

1. En conjunto, de la historia conocida, del comportamiento observado y en particular por la existencia de un accidente geológico en cimentación; la presa se ha mantenido acorde a lo esperable en su tipología (materiales sueltos). En las distintas magnitudes medidas por la instrumentación instalada no se ha observado, dentro del período de estudio, evoluciones anómalas que pudieran indicar un comportamiento patológico de la presa, si bien algunas singularidades han sido caracterizadas y su seguimiento deber ser especialmente cuidadoso.

## 10. PROGRAMA DE LECTURAS RECOMENDADO.

A partir de los datos de auscultación y la inspección realizada a la presa, es conveniente mantener un programa de mediciones, ya que es preciso seguir contrastando las lecturas obtenidas de forma automática y las manuales, confirmando las precisiones de los distintos elementos de control.

De los sensores que están conectados al sistema automático de medición se almacenan lecturas diarias.

Las lecturas manuales se realizarán de todos los aparatos y sistemas que no precisen el desmontaje del sensor automático para realizar dicha lectura manual. Estos datos se almacenan en la aplicación SIGAP proporcionada por la Dirección General del Agua desarrollada por el CEDEX.

Las frecuencias establecidas a continuación corresponden a un estado normal y estable de las diferentes variables a estudiar. La elaboración de este Plan se ha realizado atendiendo a las recomendaciones del COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS. En caso de registrar datos anómalos convendría duplicar las frecuencias y si la situación continuase, se realizarán las lecturas diariamente.

Con el fin de establecer un programa de lecturas que permita seguir la evolución de las medidas suministradas por los aparatos de auscultación instalados en la presa de Maidevera, sugerimos el siguiente programa de toma de lecturas manuales:

- Piezómetros neumáticos de la falla: lectura semanal.
- Piezómetros de cuerda vibrante: lectura semanal.
- Células neumáticas de presión total: lectura quincenal.
- Células hidráulicas de asiento: lectura quincenal.
- Tubo de asiento e inclinómetro: lectura quincenal
- Nivelación topográfica: una campaña cada seis (6) meses, a realizar coincidiendo con el mes más caluroso y el más frío.

Siempre que se produzca una avenida importante, o un movimiento sísmico en la zona que sea superior al grado 6 en la escala MKS, o se detecte un comportamiento anómalo en la presa, se deberá realizar inmediatamente una campaña general de toma de lecturas con los aparatos de auscultación y proceder a un análisis inmediato de la información obtenida.

## 11. RECOMENDACIONES

De acuerdo con todo lo indicado en el presente informe y apoyándose en el Anejo N° 5, se dan las recomendaciones siguientes:

1. Debe continuarse analizando las variables de auscultación de la presa y comprobándose el correcto comportamiento de ésta, así como el buen funcionamiento del sistema de auscultación. Es decir, continuar e intensificar en la medida de lo posible la auscultación del comportamiento de la presa.
2. Sustituir y/o arreglar los piezómetros de cuerda vibrante A1, A8, B4, B7, B8, B10, C4, C5 y D1. Se debe hacer una lectura minuciosa de cada piezómetro y evaluación de su comportamiento y fiabilidad.
3. Prestar especial atención a los valores que suministran los piezómetros neumáticos F1 y F2. Actualmente, existe una disminución de las presiones intersticiales desde aguas abajo a aguas arriba de la presa. Se debe resaltar que el piezómetro neumático de aguas arriba (F1) mide presiones más bajas que el piezómetro del centro (F2).
4. Para intensificar el control de movimientos en el cuerpo de la presa se propone arreglar los tres (3) inclinómetros en coronación. Pueden dar lecturas muy interesantes para conocer el comportamiento de la presa.
5. Realizar campañas de colimación con la finalidad de evaluar los desplazamientos de la presa. Se cuentan con los aparatos adecuados y sin embargo no se lleva a cabo esta tarea.
6. Tener en cuenta las filtraciones registradas por los aforadores manuales del cuerpo principal de presa, ya que en el AF-3 no se cumple con la suma de las filtraciones de los dos aforadores del túnel (AF-1 y AF-2). Vigilar las filtraciones adicionales.
7. Reparar o sustituir el sensor ultrasónico del aforador AF-5 para volver a controlar las filtraciones de la presa del collado n° 5.
8. Realizar el programa de mediciones que se incluye en el capítulo 10.

9. Es importante llevar a cabo un especial seguimiento a la evolución de los instrumentos que se presentan en la siguiente tabla, ya que actualmente son los que registran lecturas fiables en la presa.

<b>Instrumento</b>	<b>Codificación del Instrumento</b>	<b>Motivo por el cual se debe vigilar el instrumento</b>
Aforadores manuales	AF-1	El comportamiento ha sido parametrizado con los modelos estadísticos de forma correcta. Con lo cual, los registros suministrados por este piezómetro se consideran altamente fiables ante una respuesta anómala en el cuerpo de presa.
	AF-2	
	AF-3	
Piezómetros de cuerda vibrante	PCV-12 A3	El comportamiento ha sido parametrizado con los modelos estadísticos de forma correcta. Con lo cual, los registros suministrados por este piezómetro se consideran altamente fiables ante una respuesta anómala en el cuerpo de presa.
	PCV-12 A5	
	PCV-12 A6	
	PCV-17 B1	
	PCV-17 B3	
	PCV-17 B5	
	PCV-13 C1	
PCV-13 C2		
Piezómetros neumáticos	PN-17 F1	El comportamiento ha sido parametrizado con los modelos estadísticos de forma correcta. Con lo cual, los registros suministrados por este piezómetro se consideran altamente fiables ante una respuesta anómala en el cuerpo de presa.
	PN-17 F2	
Nivelación topográfica	CHE 1981	El comportamiento ha sido parametrizado de forma correcta en el punto de control CHE 1984 (representativo de los mayores asientos en la presa). Con lo cual, los registros suministrados por todos los puntos de control se consideran altamente fiables ante una respuesta anómala en el cuerpo de presa.
	CHE 1982	
	CHE 1983	
	CHE 1984	
	CHE 1985	
	CHE 1986	
CHE 1987		

Valencia, junio de 2009.

VISTA DE LA PRESA DE MAIDEVERA



**CONCLUSIONES MAS IMPORTANTES DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE MAIDEVERA**

**FILTRACIONES**

Las filtraciones recogidas en el túnel de desvío son del orden de 50 ltr/min, apreciándose arrastres menores de materiales pertenecientes a la presa.

En AF-4 se registran puntas de 120 ltr/min para cotas cercanas a 800 m.s.n.m. y cero para valores inferiores a 795 m.s.n.m.

AF-5 tiene mayor relación con el nivel de embalse que con las precipitaciones, siendo este el que presenta las mayores filtraciones (entre 100 y 250 ltr/min).

**PRESIONES INTERSTICIALES**

PCV-A7 y PCV-A4 registran niveles superiores al del embalse, no resultando fiables sus lecturas.

El piezómetro de cuerda vibrante PCV-17 B1 registra niveles iguales a los del nivel de embalse. Lo cual pudiera asociarse a fenómenos de fisuración dentro del núcleo.

Las presiones suministradas por el piezómetro neumático F1 son superiores a la registrada por F2, con valores entre 1/3 y 2/3 de la carga del embalse, cuando por su posición relativa en el núcleo sería esperable lo contrario.

Por otra parte, en todas las secciones de control se aprecia una disminución de las presiones intersticiales en el núcleo desde aguas arriba a aguas abajo de la presa. Lo cual puede asociarse a un correcto funcionamiento del núcleo como elemento impermeabilizador.

**PRESIONES TOTALES**

Las células de presión total A6, B7, B9, B11, B14, B15, C1, C2, C4, C5, D1 y D2 suministran datos por debajo de la carga teórica que deberían dar, teniendo en cuenta el peso de tierras que tienen por encima de ellas.

La CNP-A5 tiene un comportamiento similar al del embalse y a las presiones intersticiales registradas por el PCV-A4, sin embargo, no es posible establecer un patrón de comportamiento tensional en el cuerpo de la presa con la información disponible.

**DESPLAZAMIENTOS**

Los datos registrados por las células hidráulicas de asiento en ocasiones son inconsistentes y/o no suficientemente extensos.

Del estudio de los asentamientos con células hidráulicas se deducen mayores asentamientos en el núcleo que en el espaldón de aguas abajo.

Se puede decir (criterio de Dascal, 1987) que la presa se encuentra en una situación estabilizada, debido a que el asiento producido en un año es menor que el 0.02% de la altura de la presa. El asiento en el centro de la presa medido con el punto de control CHE 1984, desde octubre 2007 hasta septiembre de 2008 fue de 1.49 mm, que corresponde a un 0.003% de la altura.

**SEGURIDAD**

En conjunto, de la historia conocida del comportamiento observado y en particular por la existencia de un accidente geológico en cimentación; la presa se ha mantenido acorde a lo esperable en su tipología (materiales sueltos). En las distintas magnitudes medidas por la instrumentación instalada no se ha observado, dentro del período de estudio, evoluciones anómalas que pudieran indicar un comportamiento patológico de la presa, si bien algunas singularidades han sido caracterizadas y su seguimiento debe ser especialmente cuidadoso.

**OPERATIVIDAD Y FIABILIDAD DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN A FECHA 31-12-2008**

SENSOR / INSTRUMENTO / EQUIPO	NÚMERO TOTAL SENSORES	PORCENTAJE DE INSTRUMENTOS OPERATIVOS	FIABILIDAD DE LAS LECTURAS SUMINISTRADAS
Balanza neumática (SAIH) y escala graduada	2	100%	100%
Termómetro manual y automático (SAIH)	2	100%	100%
Pluviómetro manual y automático (SAIH)	2	100%	100%
Aforadores (manuales)	5	0%	(1)
Aforadores (automáticos)	5	80%	75%
Piezómetros neumáticos	3	67%	100%
Piezómetros de cuerda vibrante	26	54%	86%
Células neumáticas de presión total	32	78%	68%
Células hidráulicas de asiento	32	91%	52%
Inclinómetros	3	0%	-
Red de nivelación topográfica	8	88%	100%
<b>TOTAL PUNTOS DE CONTROL:</b>	<b>120</b>	<b>72%</b>	<b>71%</b>

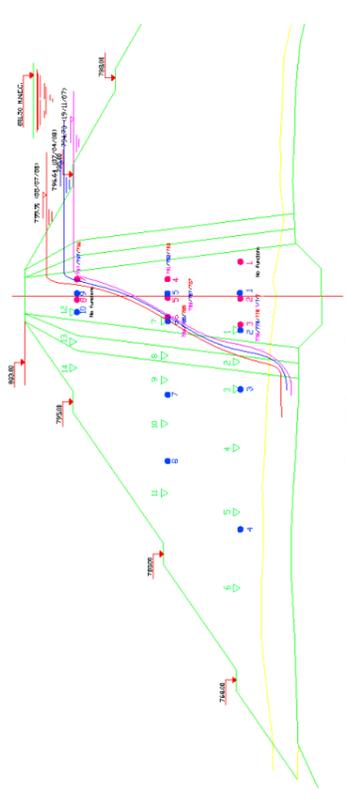
Nota: (1). Sólo se considera las lecturas fiables hasta el 31.08.08, fecha en la que se tienen los últimos registros de aforo.

**INSTRUMENTOS A SEGUIR EXHAUSTIVAMENTE**

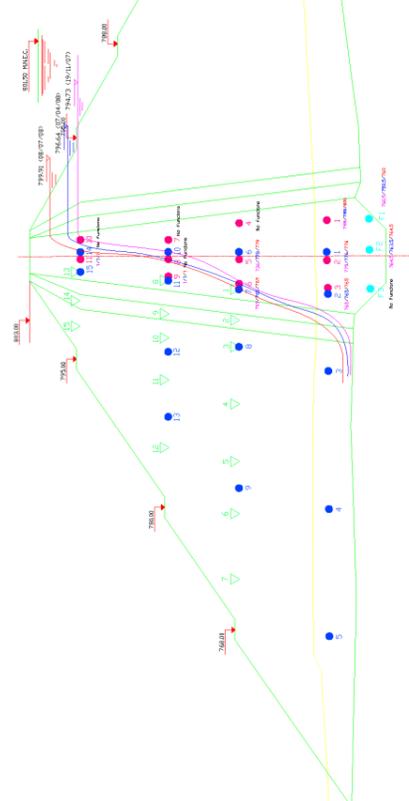
Instrumento	Codificación del Instrumento	Motivo por el cual se debe vigilar el instrumento
Aforadores manuales	AF-1, AF-2 y AF-3	El comportamiento ha sido parametrizado con los modelos estadísticos de forma correcta. Con lo cual, los registros suministrados por los aforadores se consideran altamente fiables ante una respuesta anómala en el cuerpo de presa.
Piezómetros de cuerda vibrante	PCV-12 A3, A5, A6 PCV-17 B1, B3, B5 PCV-13 C1, C2	El comportamiento ha sido parametrizado con los modelos estadísticos de forma correcta. Con lo cual, los registros suministrados por los piezómetros se consideran altamente fiables ante una respuesta anómala en el cuerpo de presa.
	PCV-B1	Se ha de vigilar por la misma razón anterior, pero sobretodo por el hecho de que este suministra niveles piezométricos prácticamente iguales a los del embalse.
Piezómetros Neumáticos	PN-17 F1 PN-17 F2	Se ha de vigilar por la misma razón que el resto de piezómetros, pero sobretodo por el hecho de que el PN-17 F2 registra presiones mayores que el PN-17 F1; estando F2 aguas abajo de F1.
Nivelación topográfica	CHE 1981 AL 1987	El comportamiento ha sido parametrizado de forma correcta en el punto de control CHE 1984 (representativo de los mayores asentamientos en la presa). Con lo cual, los registros suministrados por todos los puntos de control se consideran altamente fiables ante una respuesta anómala en el cuerpo de presa.

**LÍNEAS DE SATURACIÓN ESTIMADAS Y PROMEDIADAS**

Presas Principal

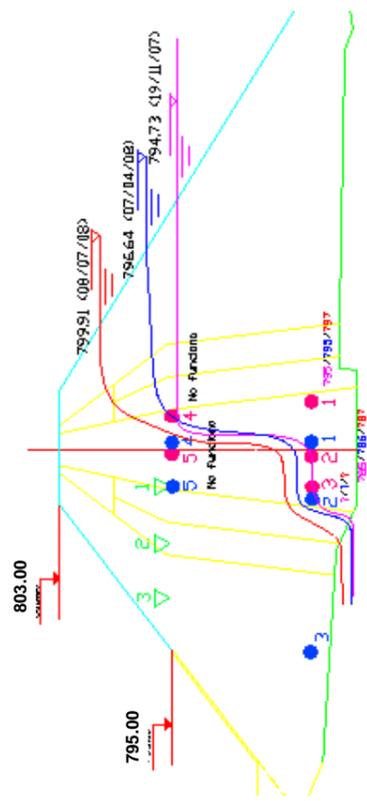


Perfil P-12 A

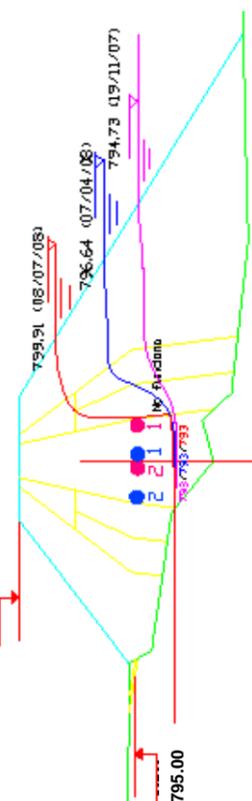


Perfil P-17 B

Presas del Collado nº 1



Perfil P-13 C



Perfil P-19 D

**IMÁGENES TOMADAS EL DÍA DE LA VISITA A LA PRESA 08-09-2008**



Filtraciones recogidas por AF-1



Vista del paramento de aguas abajo

## **PRESA DE MAIDEVERA**

# **PROTOCOLO PARA EL ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO EN SISTEMAS PRESA-EMBALSE**

Participante:	
Profesión:	
Cargo:	

Facilitador:	
Fecha:	
Lugar:	

## FICHA TÉCNICA DE LA PRESA

<b>Características de la Presa Principal</b>			
<b>Tipo</b>	Materiales sueltos con núcleo vertical de arcilla	<b>Volumen de materiales (m<sup>3</sup>)</b>	718.000
<b>Planta</b>	Recta	<b>Número de Bermas Aguas Arriba</b>	4
<b>Cota de Coronación (m.s.n.m.)</b>	803.50	<b>Número de Bermas Aguas Abajo</b>	3
<b>Cota de Cimientos (m.s.n.m.)</b>	750.00	<b>Talud Aguas Arriba (H:V)</b>	1.75:1
<b>Cota de Cauce (m.s.n.m.)</b>	757.00	<b>Talud Aguas Abajo (H:V)</b>	1.45:1
<b>Altura sobre Cimiento (m)</b>	53.50	<b>Talud en el Núcleo (H:V)</b>	1:8
<b>Altura sobre Cauce (m)</b>	46.50	<b>Geología de la Cerrada:</b>	Cuarcitas y pizarras del Cámbrico
<b>Longitud de Coronación (m)</b>	317.50		
<b>Ancho de Coronación (m)</b>	8.50		

<b>Características de la Presa de collado nº 1</b>			
<b>Tipo</b>	Materiales sueltos con núcleo	<b>Ancho de Coronación (m)</b>	3.00
<b>Planta</b>	Curva	<b>Volumen de materiales (m<sup>3</sup>)</b>	78.000
<b>Cota de Coronación (m.s.n.m.)</b>	803.50	<b>Número de Bermas Aguas Arriba</b>	-
<b>Cota de Cimientos (m.s.n.m.)</b>	781.50	<b>Número de Bermas Aguas Abajo</b>	-
<b>Cota de Cauce (m.s.n.m.)</b>	788.00	<b>Talud Aguas Arriba (H:V)</b>	1.75:1
<b>Altura sobre Cimiento (m)</b>	22.00	<b>Talud Aguas Abajo (H:V)</b>	1.45:1
<b>Altura sobre Cauce (m)</b>	15.50	<b>Geología de la Cerrada:</b>	Cuarcitas y pizarras del Cámbrico
<b>Longitud de Coronación (m)</b>	357.60		

<b>Características de la Presa de collado nº 2</b>			
<b>Tipo</b>	Materiales sueltos	<b>Ancho de Coronación (m)</b>	3.00
<b>Planta</b>	Recta	<b>Volumen de materiales (m<sup>3</sup>)</b>	1486
<b>Cota de Coronación (m.s.n.m.)</b>	803.50	<b>Número de Bermas Aguas Arriba</b>	-
<b>Cota de Cimientos (m.s.n.m.)</b>	800.50	<b>Número de Bermas Aguas Abajo</b>	-
<b>Cota de Cauce (m.s.n.m.)</b>	801.50	<b>Talud Aguas Arriba (H:V)</b>	1.75:1
<b>Altura sobre Cimiento (m)</b>	3.00	<b>Talud Aguas Abajo (H:V)</b>	1.45:1
<b>Altura sobre Cauce (m)</b>	2.00	<b>Geología de la Cerrada:</b>	Cuarcitas y pizarras del Cámbrico
<b>Longitud de Coronación (m)</b>	82.00		

<b>Características del Embalse</b>			
<b>Nivel Máximo Normal NMN (m.s.n.m.)</b>	799.00	<b>Superficie de Cuenca vertiente (km<sup>2</sup>)</b>	76.50
<b>Nivel de Avenida de Proyecto NAP (m.s.n.m.)</b>	801.50	<b>Superficie de Embalse a NMN (ha)</b>	134
<b>Nivel de Avenida Extrema NAE (m.s.n.m.)</b>	803.50	<b>Volumen de Embalse a NMN (hm<sup>3</sup>)</b>	18.332

<b>Características del Aliviadero</b>			
<b>Tipo</b>	Lateral de labio fijo	<b>Vanos</b>	1 lateral
<b>Situación</b>	Margen izquierda	<b>Caudal a NAP (m<sup>3</sup>/s)</b>	87
<b>Perfil del vertedero</b>	Creager	<b>Elemento de Disipación de Energía:</b> 2 Dados disipadores a la salida	
<b>Longitud del labio de vertido (m)</b>	40.00		

<b>Características del micro_aliviadero</b>			
<b>Tipo</b>	Con compuerta tablero vertical de 1.00x1.50 m <sup>2</sup>	Cota del labio de vertido (m.s.n.m.)	799.00
<b>Situación</b>	Margen izquierda	Longitud del labio de vertido (m.)	1.00
Accionamiento de la compuerta	Eléctrico y manual desde caseta		
Caudal vertido con embalse a la cota 800.50 (m <sup>3</sup> /s)	3.69		

<b>Características del Desagüe de Fondo</b>			
<b>Nº de Conductos</b>	2	<b>Caudal desaguado a NAP (m<sup>3</sup>/s)</b>	12.7
<b>Dimensiones (mm)</b>	Ø800	<b>Longitud Total (m)</b>	214.00
<b>Cota eje en Embocadura (m.s.n.m.)</b>	761.10	<b>Órganos de Control:</b> 2 por conducto, tipo Bureau 0.80 x 1.00	
<b>Cota de eje en Salida (m.s.n.m.)</b>	761.10		

<b>Características de la Toma de Riegos</b>			
<b>Nº de Conductos</b>	1	<b>Órganos de Control:</b> Válvula de compuerta Ø800 mm. de entrada; válvula de compuerta intermedia de la torre; válvula tipo Howell-Bunger Ø600 mm en la salida	
<b>Dimensiones (mm)</b>	Ø800		
<b>Cota eje en Embocadura (m.s.n.m.)</b>	777.50		
<b>Cota de eje en Salida (m.s.n.m.)</b>	755.94		

<b>Características de la Toma de Abastecimiento</b>			
<b>Nº de Conductos</b>	1	<b>Órganos de Control:</b> 2 válvulas de compuerta Ø200	
<b>Dimensiones (mm)</b>	Ø200		
<b>Origen</b>	En la toma de riegos y en conducto derecho del desagüe de fondo		

## REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

### 3.1.- Documentos que son relevantes y que permiten conocer al sistema presa-embalse.

1. Presa de Maidevera, Informe anual de Auscultación. Comportamiento de la presa en el período comprendido entre los días 01.09.03 y 31.12.08. (C.H.E., junio 2009)
2. Visita realizada a las instalaciones de la presa, (personal UPV-C.H.E., 8 de septiembre de 2008)
3. Proyecto de Acondicionamiento y Ampliación del Sistema de Auscultación y Control de la Presa de Maidevera. (Confederación Hidrográfica del Ebro, septiembre de 2004).
4. Acondicionamiento y Ampliación del Sistema de Auscultación y Control de la Presa de Maidevera. Documentación Técnica. (Ofiteco; junio de 2003).
5. Normas de Explotación de la Presa de Maidevera (intecsa-inarsa, s.a.; diciembre de 2001)
6. Plan de emergencia de la Presa de Maidevera (intecsa-inarsa, s.a.; diciembre de 2001).
7. Documento XYZT de la Presa de Maidevera (año 2000).
8. Presa de Maidevera. Informe general de auscultación relativo al periodo comprendido entre octubre de 1985 y octubre de 1987. (Ofiteco, año 1988)

### 3.2.- Carencias en la documentación o información, que se consideren importantes, del sistema presa-embalse.

1. Documentación técnica específica sobre el tratamiento aplicado en la excavación de la presa donde se localiza la falla del cauce.
2. Documentación técnica referente a los tratamientos de impermeabilización en el contacto túnel de desvío y cimentación, y en el muro de cierre del aliviadero.
3. Documentación sobre revisiones de seguridad en la presa de Maidevera.
4. Informes sobre las visitas técnicas realizadas en años anteriores.
5. Documentación sobre los emisarios colectores que figuran en los planos de la presa principal de Maidevera.

## PROPUESTA INDIVIDUAL DE MODOS DE FALLO

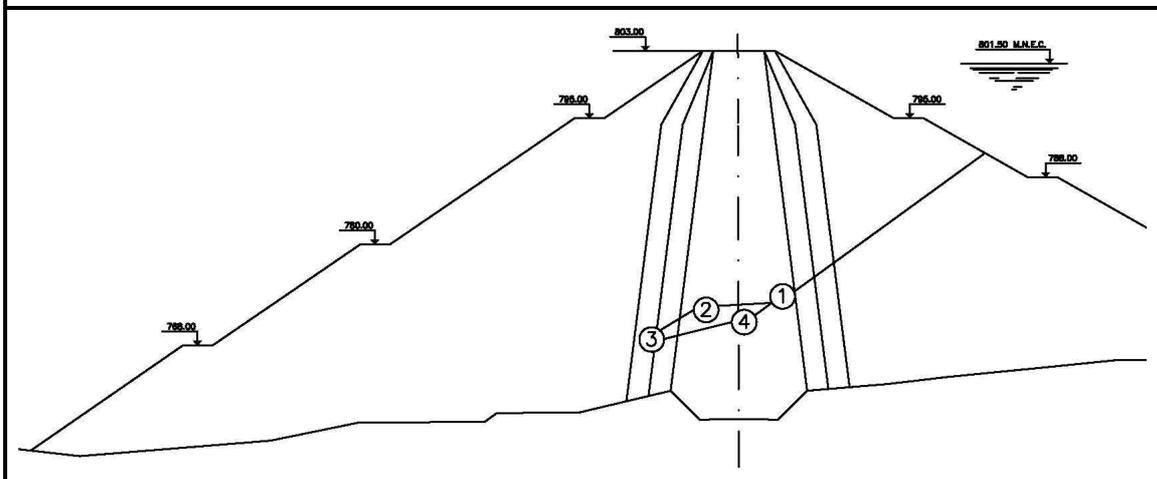
A continuación se presentan los potenciales modos de fallo identificados en la presa de Maidevera.

### Escenario: Hidrológico y/o Explotación Normal

#### a.) Propuesta Individual de Modo de Fallo

En la zona inferior del núcleo de la presa principal, ocurre un aumento de las presiones intersticiales que genera un **fracturamiento hidráulico** en una capa de material inestable (1), produciendo un efecto de acuñamiento del agua que favorece el **agrietamiento** dentro del núcleo. La fractura va aumentando (2) y el gradiente hidráulico impuesto es capaz de hacer migrar materiales finos a través del filtro de a. abajo de la presa (3), se desencadena entonces un proceso de **erosión interna** remontante hacia a. arriba, formando un conducto en el núcleo cada vez mayor (4) hasta producir el **fallo de la presa por erosión interna**.

#### Esquema Gráfico de Modo de Fallo



Clasificación según la Herramienta MF			
ESCENARIO	INICIO	DESARROLLO	ROTURA
<i>H-N</i>	<i>E-Cp(5)</i>	<i>E-Cp(1); E-Cp(4)</i>	<i>I(b)</i>
<i>Variables</i>	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	
<i>Instrumentos</i>	Inspección Visual, PN-17 F1, PN-17 F2 PCV-12 A3, PCV-12 A5; PCV-12 A6 PCV-17 B1; PCV-17 B3; PCV-17 B5	Inspección Visual, PN-17 F1, PN-17 F2 PCV-12 A3, PCV-12 A5; PCV-12 A6 PCV-17 B1; PCV-17 B3; PCV-17 B5	

Factores a Favor	Factores en Contra
<p>En el informe de auscultación de fecha junio de 2009, se tiene que el piezómetro PCV-17 B1 registra niveles iguales a los del embalse, lo cual pudiera estar asociado a fenómenos de fisuración en el núcleo.</p> <p>El piezómetro neumático PN-F2, registra presiones intersticiales mayores que el PN-F1, cuando por su posición relativa en el núcleo sería esperable lo contrario.</p>	<p>La presa cuenta con un filtro fino y un filtro grueso a. arriba y a. abajo del núcleo.</p> <p>Las líneas de saturación estimadas y promediadas en el informe anual de auscultación, de fecha junio 2009, muestran una disminución de las presiones intersticiales en el núcleo de a. arriba hacia a. abajo de la presa.</p> <p>En la visita realizada el día 8 de septiembre de 2008 no se apreciaron acumulaciones de agua al pie de la presa (tomado del informe anual de fecha junio 2009).</p>

**Escenario: Hidrológico y/o Explotación Normal**

<b>b.) Propuesta Individual de Modo de Fallo</b>
Ídem (a). Presa de Collado nº 1.

<b>Clasificación según la Herramienta MF</b>			
<b>ESCENARIO</b>	<b>INICIO</b>	<b>DESARROLLO</b>	<b>ROTURA</b>
<i>H-N</i>	<i>E-Cp(5)</i>	<i>E-Cp(1); E-Cp(4)</i>	<i>I(b)</i>
<i>Variables</i>	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	
<i>Instrumentos</i>	Inspección Visual, PCV-13 C1; PCV-13 C2	Inspección Visual, PCV-13 C1; PCV-13 C2	

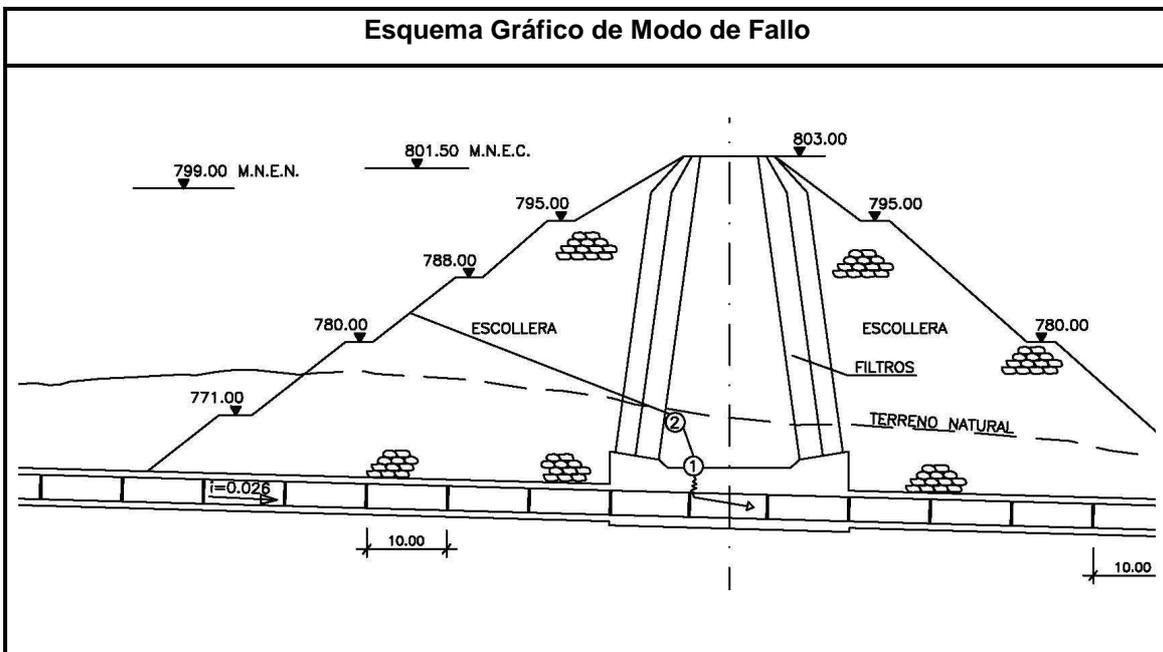
<b>Factores a Favor</b>	<b>Factores en Contra</b>
La presa de collado nº 1 es de iguales características que la presa principal.	<p>La presa cuenta con un filtro fino y un filtro grueso a. arriba y a. abajo del núcleo.</p> <p>Las líneas de saturación estimadas y promediadas en el informe anual de auscultación, de fecha junio 2009, muestran una disminución de las presiones intersticiales en el núcleo de a. arriba hacia a. abajo de la presa.</p> <p>En la visita realizada el día 8 de septiembre de 2008 no se apreciaron acumulaciones de agua al pie de la presa (tomado del informe anual de fecha junio 2009).</p>

*Escenario: Hidrológico y/o Explotación Normal*

**c.) Propuesta Individual de Modo de Fallo**

Durante operaciones normales en el embalse, se desencadena un proceso de **degradación de los elementos de estanqueidad** en la galería del desagüe de fondo, al punto de abrir un camino preferencial al flujo de infiltración (1), de forma que el gradiente hidráulico presente es capaz de hacer pasar material fino a través de las juntas constructivas y hacia el interior de la galería, desarrollando un proceso de **erosión interna** remontante hacia a. arriba (2) al punto de poder comunicarse con el espaldón y con el embalse. La pérdida de material fino continúa hasta formar un conducto que aumenta progresivamente produciendo el **fallo de la presa por erosión interna**.

**Esquema Gráfico de Modo de Fallo**



Clasificación según la Herramienta MF			
ESCENARIO	INICIO	DESARROLLO	ROTURA
<i>H-N</i>	<i>E-Of(2)</i>	<i>E-Cp(4)</i>	<i>I(b)</i>
<i>Variables</i>	Filtraciones, turbidez, presiones intersticiales	Filtraciones, turbidez y presiones intersticiales	
<i>Instrumentos</i>	Inspección Visual, AF-1, AF-2, AF-3	Inspección Visual, AF-1, AF-2, AF-3	

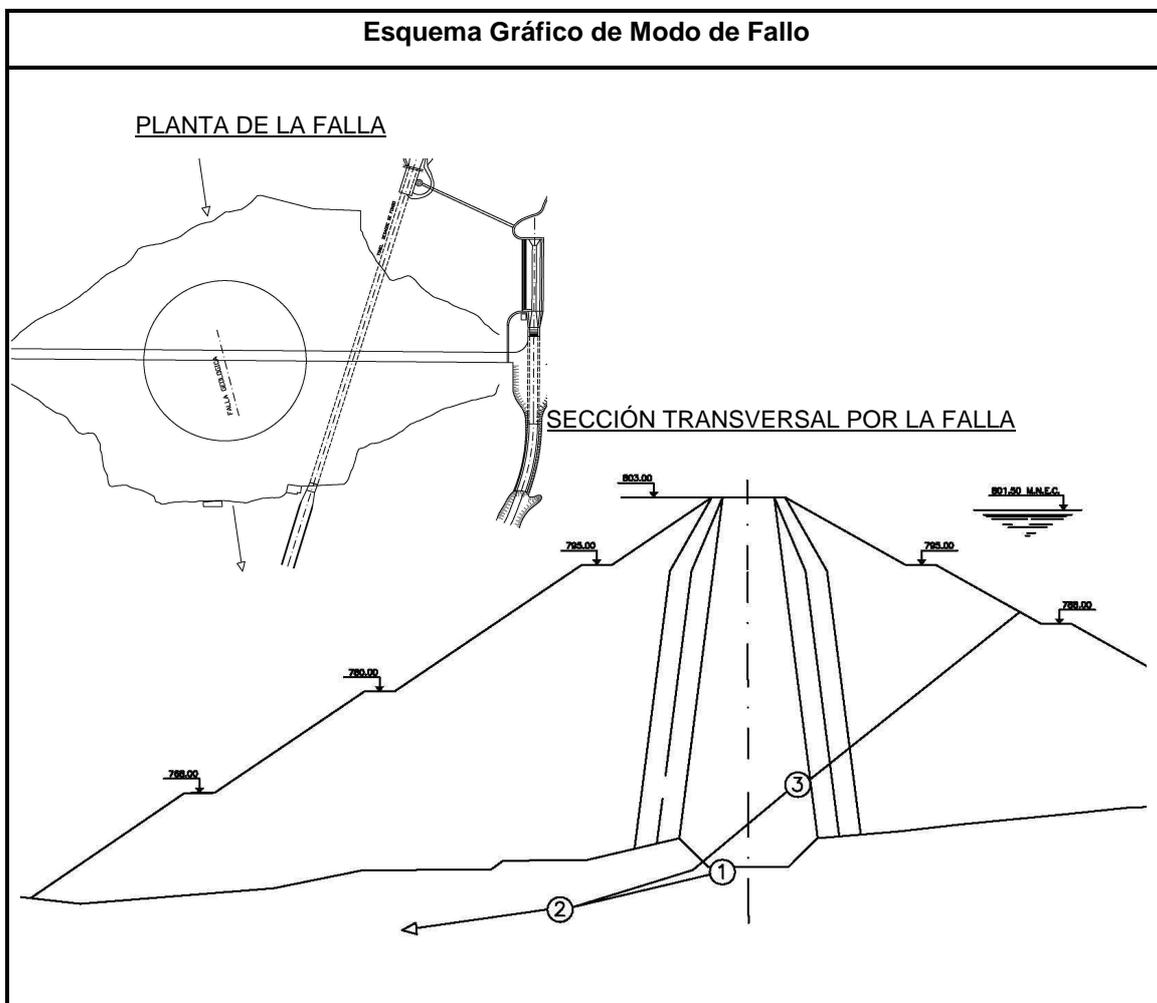
Factores a Favor	Factores en Contra
En la visita realizada el día 8 de septiembre de 2008, se apreciaron arrastres de materiales finos en las juntas de las galerías del desagüe de fondo.	La estructura de la galería bajo el núcleo tiene mayores espesores de hormigón que el resto.  El arrastre del material fino al interior de la galería se limita al tamaño de la abertura en la junta.

**Escenario: Sísmico**

**d.) Propuesta Individual de Modo de Fallo**

Durante la ocurrencia de un sismo, y en la zona de contacto núcleo-cimiento, se origina un **desplazamiento** en la falla geológica capaz de producir un **agrietamiento** en el núcleo (1). El gradiente hidráulico impuesto es capaz de hacer migrar material fino del núcleo hacia a. abajo de la presa y a través de la falla (2), desencadenando un proceso de **erosión interna** remontante hacia aguas arriba por el cuerpo de presa (3) al punto de poder comunicarse con el espaldón y con el embalse. La pérdida de material fino continúa hasta formar un conducto que aumenta progresivamente produciendo el **fallo de la presa por erosión interna**.

**Esquema Gráfico de Modo de Fallo**



Clasificación según la Herramienta MF			
ESCENARIO	INICIO	DESARROLLO	ROTURA
S	C-Ci(2)	E-Cp(1) ; E-Cp(4)	I(b)
<i>Variables</i>	Extensómetros de gran longitud, tubos telescópicos, inclinómetros, células de asiento topografía	Presiones intersticiales	
<i>Instrumentos</i>	CHE 1981, CHE 1982 CHE 1983, CHE 1984 CHE 1985, CHE 1986 CHE 1987	Inspección Visual,  PN-17 F1, PN-17 F2 PCV-12 A3, PCV-12 A5; PCV-12 A6 PCV-17 B1; PCV-17 B3; PCV-17 B5	

Factores a Favor	Factores en Contra
<p>La existencia misma de un accidente geológico que atraviesa la presa.</p> <p>En el informe anual de auscultación, de fecha junio de 2009, se tiene que el piezómetro PCV-17 B1 registra niveles iguales a los del embalse, lo cual pudiera estar asociado a fenómenos de fisuración en el núcleo.</p> <p>El piezómetro neumático PN-F2, registra presiones intersticiales mayores que el PN-F1, cuando por su posición relativa en el núcleo sería esperable lo contrario.</p>	<p>La existencia de una capa de regularización entre el terreno y el núcleo compuesta de hormigón de 0.30 mts de espesor aproximadamente. (extraído del documento xyzt).</p> <p>En la visita realizada el día 8 de septiembre de 2008 no se apreciaron en coronación asientos anómalos indicativos de un posible movimiento en cimentación (extraído del informe anual de auscultación, de fecha junio de 2009).</p> <p>La presa se encuentra en una zona sísmica con intensidad menor a VI (aceleración sísmica básica menor que 0.04g, con período de retorno de 500 años). Tomado del Instituto Geográfico Nacional.</p>



# Capítulo V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo de esta investigación permitió evaluar el estado del comportamiento de las presas La Sotonera y Maidevera hasta la fecha 31.12.2008, y a su vez plantó las bases sobre las cuales fueron analizados los modos de rotura que cada sistema presentaba; dejando ver la importancia de una estructura organizativa como lo es la herramienta de M.F, y del uso del protocolo que permite llevar a cabo con éxito el proceso de identificación de M.F. De esta manera se pudo obtener una contribución significativa en materia de seguridad y, de gran potencial en la toma de decisiones.

Las conclusiones que se presentan a continuación han sido ordenadas para una mejor comprensión según:

1. El estudio del comportamiento de las presas La Sotonera y Maidevera.
2. El protocolo para el proceso de identificación de modos de fallo.
3. La Herramienta para identificar los potenciales modos de fallo en sistemas presa-embalse.
4. Los Modos de Fallo identificados en las presas de La Sotonera y Maidevera.

### 5.1 Conclusiones derivadas del informe de comportamiento

Del estudio del comportamiento de la **Presa de La Sotonera** se extraen las siguientes conclusiones, las cuales se han clasificado en 4 grupos como se presenta a continuación.

a) Sobre las lecturas de instrumentos disponibles y el estado actual del sistema de auscultación instalado:

- 1) Actualmente, funcionan o se realizan lecturas del 98.93% de los instrumentos instalados en la presa. La siguiente Tabla muestra el porcentaje de operatividad de los instrumentos.

SENSOR / INSTRUMENTO / EQUIPO	NÚMERO TOTAL DE SENSORES	PORCENTAJE DE SENSORES OPERATIVOS	PORCENTAJE DE FIABILIDAD DE LAS LECTURAS
Balanza neumática (SAIH) y escala graduada	2	100%	100%
Termómetro manual y automático (SAIH)	2	100%	100%
Pluviómetro manual y automático (SAIH)	2	100%	100%
Aforadores de pared delgada	3	0%	0%
Piezómetros de cuerda vibrante	31	93.55%	89.65%
Piezómetros abiertos	18	100%	88.88%
TOTAL PUNTOS DE CONTROL:	58	91 %	90.56%

Tabla 5.1. Instrumentos operativos en la presa de La Sotonera.

- b) Sobre el comportamiento de las variables de control.

- 1) En algunos casos (PCV-B7, PCV-B4, PCV-A6, PCV-A7, PCV-D1) se miden niveles piezométricos ligeramente superiores a la carga hidrostática del embalse. Estas lecturas coinciden normalmente con un nivel bajo o un descenso rápido del nivel de embalse y podría estar influenciada por la inercia hidráulica debida a la impermeabilidad del suelo.
- 2) El piezómetro de cuerda vibrante PCV-B2, presenta una subida brusca de presiones desde octubre de 2007, superando a partir de julio de 2008 el nivel piezométrico definido por el embalse manteniéndose con series de valores igualmente altos en el resto del período.
- 3) El P1-2 y el P4-1 registran niveles por encima del embalse, no resultando por tanto lecturas fiables.
- 4) El P3-2 tiene una acumulación de fango de 17.0 mts, por tanto sus lecturas no son fiables.

- 5) Las presiones medidas están básicamente influenciadas por el nivel del embalse y son en general de poca magnitud.
- 6) En todas las secciones controladas con varios piezómetros se aprecia una disminución de las presiones intersticiales desde aguas arriba a aguas abajo de la presa.
- 7) Las líneas de saturación estimadas y promediadas en tres días con diferentes cargas hidrostáticas indican una alta impermeabilidad del material que constituye el cuerpo de presa.

c) Sobre la inspección realizada:

- 1) La principal incidencia respecto del punto de vista de la seguridad es sin duda el estado de la galería de drenaje. En la visita efectuada para el reconocimiento de la presa, se intentó su inspección desde diferentes entradas o bocas de acceso pero fue imposible por el estado de la galería y por el aviso previo del personal de la explotación sobre la falta de seguridad en la visita y la inconveniencia de esta. Sin embargo desde las bocas de acceso, se puede intuir la gravedad del estado en que se encuentran las galerías, observándose acumulaciones de arcilla que impiden la circulación o recogida del agua filtrada.

d) Conclusión general sobre la seguridad:

- 1) En conjunto, de la historia conocida y del comportamiento observado, la presa presenta aspectos que merecen especial atención. En particular, el hecho de haber presentado socavones en los años 60 y en distintas zonas puede ser reflejo de defectos de diseño y construcción que pudieran permanecer más allá de las reparaciones que se efectuaron. Añadiendo a esto la existencia de valores de altas presiones en el pie de aguas abajo, registradas por el piezómetro de cuerda vibrante PCV-B2, se concluye que el seguimiento y análisis de la instrumentación debe ser intensivo y, en su caso, aumentarse el nivel de control.

Del estudio del comportamiento de la **Presa de Maidevera** se extraen las siguientes conclusiones, las cuales se han clasificado en 4 grupos como se presenta a continuación.

a) Sobre las lecturas de instrumentos disponibles y el estado actual del sistema de auscultación instalado:

- 1) Actualmente, funcionan o se realizan lecturas del 74% de los instrumentos instalados en la presa principal y la de collado nº1. La siguiente tabla muestra el porcentaje de operatividad de los instrumentos y la fiabilidad que se tiene de los datos.

SENSOR / INSTRUMENTO / EQUIPO	NÚMERO TOTAL SENSORES	PORCENTAJE DE INSTRUMENTOS OPERATIVOS	PORCENTAJE DE FIABILIDAD DE LAS LECTURAS
Balanza neumática (SAIH) y escala graduada	2	100%	100%
Termómetro manual y automático (SAIH)	2	100%	100%
Pluviómetro manual y automático (SAIH)	2	100%	100%
Aforadores (manuales)	5	0%	(1)
Aforadores (automáticos)	5	80%	75%
Piezómetros neumáticos	3	67%	100%
Piezómetros de cuerda vibrante	26	54%	86%
Células neumáticas de presión total	32	84%	68%
Células hidráulicas de asiento	32	91%	52%
Inclinómetros	3	0%	-
Red de nivelación topográfica	8	88%	100%
TOTAL PUNTOS DE CONTROL:	120	74%	71%

- (1). Sólo se considera las lecturas fiables hasta el 31.08.08, fecha en la que se tienen los últimos registros de aforo.

Tabla 5.2. Instrumentos operativos en la presa de Maidevera

b) Sobre el comportamiento de las variables de control.

- 1) Las filtraciones recogidas en el túnel de desvío son del orden de 50 ltr/min, apreciándose arrastres menores de materiales pertenecientes a la presa.
- 2) En AF-4 se registran puntas de 120 ltr/min para cotas cercanas a 800 m.s.n.m. y cero para valores inferiores a 795 m.s.n.m.
- 3) AF-5 tiene mayor relación con el nivel de embalse que con las precipitaciones, siendo este el que presenta las mayores filtraciones (entre 100 y 250 ltr/min).
- 4) Las presiones registradas con el PCV-A7 y PCV-A4 muestran niveles superiores al del embalse, no resultando fiables sus lecturas.
- 5) El piezómetro de cuerda vibrante PCV-17 B1 registra niveles iguales a los del nivel de embalse. Lo cual pudiera asociarse a fenómenos de fisuración dentro del núcleo.
- 6) Las presiones suministradas por el piezómetro neumático F1 son superiores a la registrada por F2, con valores entre 1/3 y 2/3 de la carga del embalse, cuando por su posición relativa en el núcleo sería esperable lo contrario.
- 7) Por otra parte, en todas las secciones de control se aprecia una disminución de las presiones intersticiales en el núcleo desde aguas arriba a aguas abajo de la presa. Lo cual puede asociarse a un correcto funcionamiento del núcleo como elemento impermeabilizador.
- 8) Las células de presión total A6, B7, B9, B11, B14, B15, C1, C2, C4, C5, D1 y D2 suministran datos por debajo de la carga teórica que deberían dar, teniendo en cuenta el peso de tierras que tienen por encima de ellas.
- 9) La CNP-A5 tiene un comportamiento similar al del embalse y a las presiones intersticiales registradas por el PCV-A4, sin embargo, no es posible establecer un patrón de comportamiento tensional en el cuerpo de la presa con la información disponible.

- 10) Los datos registrados por las células hidráulicas de asiento en ocasiones son inconsistentes y/o no suficientemente extensos.
- 11) Del estudio de los asientos con células hidráulicas se deducen mayores asientos en el núcleo que en el espaldón de aguas abajo.
- 12) Se puede decir (criterio de Dascal, 1987) que la presa se encuentra en una situación estabilizada, debido a que el asiento producido en un año es menor que el 0.02% de la altura de la presa. El asiento en el centro de la presa medido con el punto de control CHE 1984, desde octubre 2007 hasta septiembre de 2008 fue de 1.49 mm. que corresponde a un 0.003% de la altura.

c) Sobre la inspección realizada:

- 1) En la inspección realizada no se detectó ninguna anomalía en la presa. No se aprecia colapso en las escolleras y las farolas no marcan movimientos horizontales.
- 2) Se observan asientos en la parte central de la presa y hacia el estribo izquierdo de ésta. En coronación se ven asientos de aproximadamente 25 centímetros. En la imagen a continuación se muestra una vista de la coronación desde la margen izquierda.

d) Conclusión general sobre la seguridad:

- 1) En conjunto, de la historia conocida, del comportamiento observado y en particular por la existencia de un accidente geológico en cimentación; la presa se ha mantenido acorde a lo esperable en su tipología (materiales sueltos). En las distintas magnitudes medidas por la instrumentación instalada no se ha observado, dentro del período de estudio, evoluciones anómalas que pudieran indicar un comportamiento patológico de la presa, si bien algunas singularidades han sido caracterizadas y su seguimiento deber ser especialmente cuidadoso.

## **5.2 Conclusiones referentes al protocolo de identificación de modos de fallo.**

La elaboración formal de un protocolo constituye una herramienta práctica y útil para llevar a cabo con éxito un proceso de identificación de modos de fallo. Recoger los aspectos esenciales planteados en FERC y PCAR, lo convierten en un esquema de trabajo secuencial que permite mantener un orden en el proceso de identificación.

## **5.3 Conclusiones sobre la herramienta para la identificación de modos de fallo**

Con el desarrollo de una estructura como la planteada en la herramienta para identificar los modos de fallo en presas de materiales sueltos, se ha podido dar un avance significativo dentro del análisis cualitativo de M.F., ya que su uso permite recoger gran parte de casos típicos en esta tipología de presas, facilitando o sirviendo de apoyo al proceso de identificación de M.F. Por otro lado ésta representa el vínculo con el sistema de auscultación presente en el sistema presa-embalse, lo cual le da un carácter integral aún más amplio.

## **5.4 Conclusiones sobre los modos de fallo identificados en el sistema presa-embalse**

Las conclusiones referidas a los modos de fallo se han clasificado según los resultados obtenidos del análisis hecho en cada una de las presas estudiadas, por tal motivo se presentan por separado.

### **Presa de La Sotonera**

El estudio de la información técnica disponible, dejó ver que los puntos vulnerables de esta presa están relacionados principalmente con las galerías de inspección y con el sistema de drenes dispuesto en las zanjas de anclaje con la cimentación, de allí que los modos de fallo identificados en la presa se relacionen con éstos.

Pese a que el proceso de identificación de modos de fallo, no fue completado según lo propuesto en el protocolo, no se descarta que cualquiera de éstos pueda ocurrir.

La tabla siguiente relaciona cada uno de los instrumentos instalados en la presa con los modos de fallos identificados en el sistema.

INSTRUMENTO	CODIFICACION DEL INSTRUMENTO	MODOS DE FALLO ASOCIADOS
Piezómetros de cuerda vibrante	PCV-C1	a, d, g
	PCV-C6	a, d, g
	PCV-B3	b, e, h
	PCV-A6	b, e, h
	PCV-A7	b, e, h
	PCV-B2*	-
Piezómetros abiertos	P1-1*	a, d, g
	P1-4*	a, d, g
	P2-4*	b, e, h
	P4-2	e, f, i

\*El comportamiento de estos instrumentos no pudo ser parametrizado con los modelos estadísticos. Sin embargo, presentan un comportamiento que debe ser necesariamente vigilado.

Tabla 5.3. Instrumentación vinculada a los M.F. identificados en la presa La Sotonera.

El comportamiento de estos instrumentos ha podido ser parametrizado con los modelos estadísticos, y por tanto, una evolución distinta a la esperada según los modelos podría ser indicativa del inicio o desarrollo de alguno de los M.F. a los que se encuentran asociados. De esta manera, el vínculo entre la auscultación y los M.F., permitiría teóricamente la detección y posible intervención sobre el sistema presa-embalse ante una posible respuesta anómala en la presa.

### **Presa de Maidevera.**

Al igual que se hizo en el la presa de La Sotonera, en esta otra, los puntos vulnerables identificados en el sistema se relacionan en primer lugar, con el accidente geológico que atraviesa el eje de la presa, y en segundo lugar con el túnel del desagüe de fondo que pasa igualmente a través de la presa. Por otro lado y puesto que un piezómetro instalado en el cuerpo de arcilla muestra un comportamiento igual al del embalse, se consideró al núcleo igualmente vulnerable.

Pese a que el proceso de identificación de modos de fallo, no fue completado según lo propuesto en el protocolo, no se descarta que cualquiera de éstos pueda ocurrir.

La tabla siguiente relaciona cada uno de los instrumentos instalados en la presa con los modos de fallos identificados en el sistema.

<b>INSTRUMENTO</b>	<b>CODIFICACION DEL INSTRUMENTO</b>	<b>MODOS DE FALLO ASOCIADOS</b>
Aforadores manuales	AF-1	<b>c</b>
	AF-2	<b>c</b>
	AF-3	<b>c</b>
Piezómetros de cuerda vibrante	PCV-12 A3	<b>a, d</b>
	PCV-12 A5	<b>a, d</b>
	PCV-12 A6	<b>a, d</b>
	PCV-17 B1	<b>a, d</b>
	PCV-17 B3	<b>a, d</b>
	PCV-17 B5	<b>a, d</b>
	PCV-13 C1	<b>b</b>
PCV-13 C2	<b>b</b>	
Piezómetros Neumáticos	PN-17 F1	<b>a, d</b>
	PN-17 F2	<b>a, d</b>
Nivelación topográfica	CHE 1981 AL 1987*	<b>d</b>

\* El comportamiento ha sido parametrizado de forma correcta en el punto de control CHE 1984 (representativo de los mayores asientos en la presa).

Tabla 5.4. Instrumentación vinculada a los M.F. identificados en la presa de Maidevera.

El comportamiento de estos instrumentos ha podido ser parametrizado con los modelos estadísticos, y por tanto, una evolución distinta a la esperada según los modelos podría ser indicativa del inicio o desarrollo de alguno de los M.F. a los que se encuentran asociados. De esta manera, el vínculo entre la auscultación y los M.F., permitiría teóricamente la detección y posible intervención sobre el sistema presa-embalse ante una posible respuesta anómala en la presa.

## 5.5 Recomendaciones generales

Como recomendaciones generales, se plantean para el caso del comportamiento de cada una de las presas las siguientes:

### Presa de La Sotonera:

1. Debe continuarse analizando las variables de auscultación de la presa y comprobándose el correcto comportamiento de ésta, así como el buen funcionamiento del sistema de auscultación. El seguimiento y análisis de la instrumentación debe ser intensivo y, en su caso, aumentarse el nivel de control.
2. Ejecutar un nuevo sondeo en la sección de control S2-N, con la finalidad de aumentar el control de los niveles piezométricos en la zona de aguas abajo. Con ello es posible verificar el comportamiento observado en el piezómetro PCV-B2.
3. Realizar un mantenimiento de la galería de drenaje. En la actualidad, el acceso a la galería es inviable, por lo que es imposible realizar una visita en el interior de la misma.
4. Rehabilitar el sistema de drenaje dentro de la galería e instalar aforadores para controlar las filtraciones a través de la presa.
5. Instalar un sistema de colimación y nivelación para controlar los asientos y los desplazamientos horizontales en la coronación de la presa.
6. Realizar el programa de mediciones propuesto en el informe de comportamiento.
7. Es importante llevar a cabo un especial seguimiento a la evolución de los instrumentos que se presentan en la siguiente tabla, ya que actualmente son los que auscultan las pocas anomalías caracterizadas en la presa.

INSTRUMENTO	CODIFICACION DEL INSTRUMENTO	MOTIVO POR EL CUAL SE DEBE VIGILAR EL INSTRUMENTO
Piezómetros de cuerda Vibrante	PCV-C1, PCV-C6 PCV-B3 PCV-A6 PCV-A7	El comportamiento ha sido parametrizado con los modelos estadísticos de forma correcta. Los registros suministrados en este instrumento se consideran altamente fiables ante una posible respuesta anómala en el cuerpo de presa.
	PCV-B2	Este piezómetro registra una subida de presiones que llega a sobrepasar el nivel de embalse. Es necesario verificar las lecturas que registra este instrumento.
Piezómetros abiertos	P1-1, P1-4 P2-4	Estos piezómetros son los que registran un comportamiento irreversible acumulado en el tiempo de las presiones intersticiales en el cuerpo de presa.
	P4-2	El comportamiento ha sido parametrizado con el modelo estadístico de forma correcta. Los registros suministrados en este instrumento se consideran altamente fiables ante una posible respuesta anómala en el cuerpo de presa.

Tabla 5.5. Instrumentos a seguir exhaustivamente

### Presa de Maidevera:

1. Debe continuarse analizando las variables de auscultación de la presa y comprobándose el correcto comportamiento de ésta, así como el buen funcionamiento del sistema de auscultación. Es decir, continuar e intensificar en la medida de lo posible la auscultación del comportamiento de la presa.
2. Sustituir y/o arreglar los piezómetros de cuerda vibrante A1, A8, B4, B7, B8, B10, C4, C5 y D1. Se debe hacer una lectura minuciosa de cada piezómetro y evaluación de su comportamiento y fiabilidad.
3. Prestar especial atención a los valores que suministran los piezómetros neumáticos F1 y F2. Actualmente, existe un ligero aumento de las presiones intersticiales desde aguas arriba hacia aguas abajo de la presa. Se debe resaltar que el piezómetro neumático de aguas arriba (F1) mide presiones más bajas que el piezómetro del centro (F2).
4. Para intensificar el control de movimientos en el cuerpo de la presa se propone arreglar los tres (3) inclinómetros en coronación. Pueden dar lecturas muy interesantes para conocer el comportamiento de la presa.

5. Realizar campañas de colimación con la finalidad de evaluar los desplazamientos de la presa. Se cuentan con los aparatos adecuados y sin embargo no se lleva a cabo esta tarea.
6. Tener en cuenta las filtraciones registradas por los aforadores manuales del cuerpo principal de presa, ya que en el AF-3 no se cumple con la suma de las filtraciones de los dos aforadores del túnel (AF-1 y AF-2). Vigilar las filtraciones adicionales.
7. Reparar o sustituir el sensor ultrasónico del aforador AF-5 para volver a controlar las filtraciones de la presa del collado nº 5.
8. Realizar el programa de mediciones propuesto en el informe de comportamiento.
9. Es importante llevar a cabo un especial seguimiento a la evolución de los instrumentos que se presentan en la siguiente tabla, ya que actualmente son los que registran lecturas fiables en la presa.

INSTRUMENTO	CODIFICACION DEL INSTRUMENTO	MOTIVO POR EL CUAL SE DEBE VIGILAR EL INSTRUMENTO
Aforadores manuales	AF-1, AF-2 y AF-3	El comportamiento ha sido parametrizado con los modelos estadísticos de forma correcta. Con lo cual, los registros suministrados por los aforadores se consideran altamente fiables ante una respuesta anómala en el cuerpo de presa.
Piezómetros de cuerda vibrante	PCV-12 A3, A5, A6 PCV-17 B1, B3, B5 PCV-13 C1, C2	El comportamiento ha sido parametrizado con los modelos estadísticos de forma correcta. Con lo cual, los registros suministrados por los piezómetros se consideran altamente fiables ante una respuesta anómala en el cuerpo de presa.
	PCV-B1	Se ha de vigilar por la misma razón anterior, pero sobretodo por el hecho de que este suministra niveles piezométricos prácticamente iguales a los del embalse.
Piezómetros Neumáticos	PN-17 F1 PN-17 F2	Se ha de vigilar por la misma razón que el resto de piezómetros, pero sobretodo por el hecho de que el PN-17 F2 registra presiones mayores que el PN-17 F1; estando F2 aguas abajo de F1.
Nivelación topográfica	CHE 1981 AL 1987	El comportamiento ha sido parametrizado de forma correcta en el punto de control CHE 1984 (representativo de los mayores asientos en la presa). Con lo cual, los registros suministrados por todos los puntos de control se consideran altamente fiables ante una respuesta anómala en el cuerpo de presa.

Tabla 5.6. Instrumentos a seguir exhaustivamente

En general y en cuanto al análisis cualitativo de modos de fallo, es recomendable para ambas presas, completar el proceso de identificación de modos de fallo, elaborando para ello sesiones de trabajo que sigan los lineamientos planteados en el apartado referido al protocolo.



## Referencias.

- [1]. NÚÑEZ, A; ANDREU, M.; LORENZO, J.; ESCUDER I. Seguimiento del Comportamiento de las Presas de Ebro: Estructura y Contenido de los Informes Anuales, 2009.
- [2]. COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS (CNEGP). Guías Técnicas de Seguridad de Presas: Guía Nº 7, Auscultación de las Presas y sus Cimientos, 2006.
- [3]. OFITECO S.A. Ausmodel 3.1. Manual del Usuario, 2000.
- [4]. MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES Y MEDIO AMBIENTE, ESPAÑA. Reglamento Técnico de Seguridad de Presas y Embalses (RTSPE), 1996.
- [5]. RIERA, C. Análisis, Evaluación del Comportamiento y Propuesta de Actuaciones de las Presas de Eugui (T.M. de Esteribar, Provincia de Navarra), González Lacasa (T.M. de Ortigosa de Cameros, Provincia de la Rioja), La Sotona (T.M. de Alcalá de Gurrea, Provincia de Huesca), La Tranquera (T.M. de Carenas, Provincia de Zaragoza) y Maidevera (T.M. de Aranda del Moncayo, Provincia de Zaragoza) pertenecientes a la Cuenca Hidrográfica del Ebro, 2008.
- [6]. FEDERAL ENERGY REGULATORY COMMISSION (FERC). Engineering Guidelines for the Evaluation of Hydropower Projects. Chapter 14. Dam Safety Performance Monitoring Program. 2005.
- [7]. MEMBRILLERA M. Contribución a la Aplicación del Análisis y Declaración de Riesgos en Presas Españolas, Incluyendo Priorización de Inversiones. Tesis Doctoral UPV Valencia-España, 2007.
- [8]. FELL, R.; WAN, C.; FOSTER, M. Methods for Estimating the Probability of Failure of Embankment Dams by Internal Erosion and Piping –Piping through The Embankment. The University of New South Wales, Sydney Australia, 2004.
- [9]. EUROESTUDIOS. Documento XYZT de la Presa de La Sotona, actualización a la edición de 1981. Diciembre de 2002.
- [10]. CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO. Documento XYZT de la Presa de Maidevera, 2008.



## **Apéndice A**

### **Anejos del Informe Anual de Comportamiento de la Presa La Sotonera**

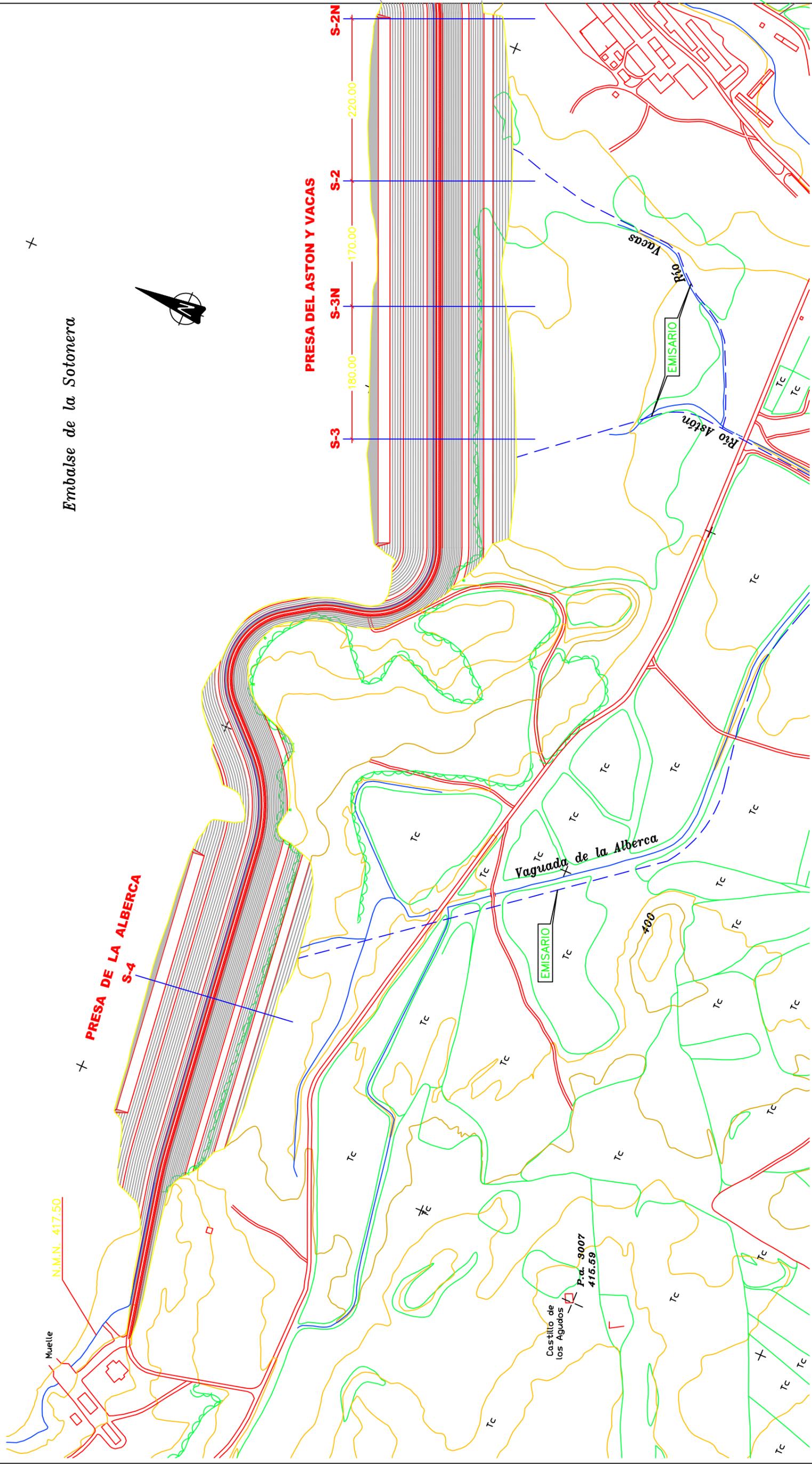


## **A.1. ANEJO Nº 1. PLANOS**

## ÍNDICE DE PLANOS

- Plano 1.- Planta general de la presa de La Sotonera. Secciones de control (1 de 2).
- Plano 2.- Planta general de la presa de La Sotonera. Secciones de control (2 de 2).
- Plano 3.- Situación de los piezómetros abiertos. Secciones de control S-1 (Sotón), S-2 (Astón 2), S-3 (Astón 1), S-4 (Alberca de Alcalá).
- Plano 4.- Situación de los piezómetros de cuerda vibrante. Sección de control S-1 (Sotón).
- Plano 5.- Situación de los piezómetros de cuerda vibrante. Sección de control S-2 (Astón 2).
- Plano 6.- Situación de los piezómetros de cuerda vibrante. Sección de control S-3 (Astón 1).
- Plano 7.- Situación de los piezómetros de cuerda vibrante. Sección de control S-4 (Alberca de Alcalá).
- Plano 8.- Situación de los piezómetros. Secciones de control S-2N y S-3N.
- Plano 9.- Línea de saturación de la presa de La Sotonera en los días 18/06/2007, 21/11/2007 y 24/03/2008. Sección de control S-1 (Sotón).
- Plano 10.- Línea de saturación de la presa de La Sotonera en los días 18/06/2007, 21/11/2007 y 24/03/2008. Sección de control S-2 (Astón 2).
- Plano 11.- Línea de saturación de la presa de La Sotonera en los días 18/06/2007, 21/11/2007 y 24/03/2008. Sección de control S-3 (Astón 1).
- Plano 12.- Línea de saturación de la presa de La Sotonera en los días 18/06/2007, 21/11/2007 y 24/03/2008. Sección de control S-4 (Alberca de Alcalá).
- Plano 13.- Línea de saturación de la presa de La Sotonera en los días 18/06/2007, 21/11/2007 y 24/03/2008. Sección de control S-2N y S-3N.

Embalse de la Sotonera



PLANTA  
ESCALA 1/5.000

DOCUMENTO: INFORME DE AUSCULTACION. COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE LA SOTONERA EN EL PERIODO DEL 01/11/1991 AL 31/12/08	CÓDIGO DOCUMENTO: CLAVE CONTRATO:	ESCALAS: 1:5000	FECHA: JUNIO 2009	TÍTULO DEL PLANO: PLANTA GENERAL DE LA PRESA DE LA SOTONERA. SECCIONES DE CONTROL (1 de 2)	Nº DE PLANO: 1
					HOJA: 198

**PRESA DEL SOTON  
S-1**

**CASETA DE CONTROL  
DEL S.A.I.H**

**S-2N**

180.04

**TOMA INFERIOR**

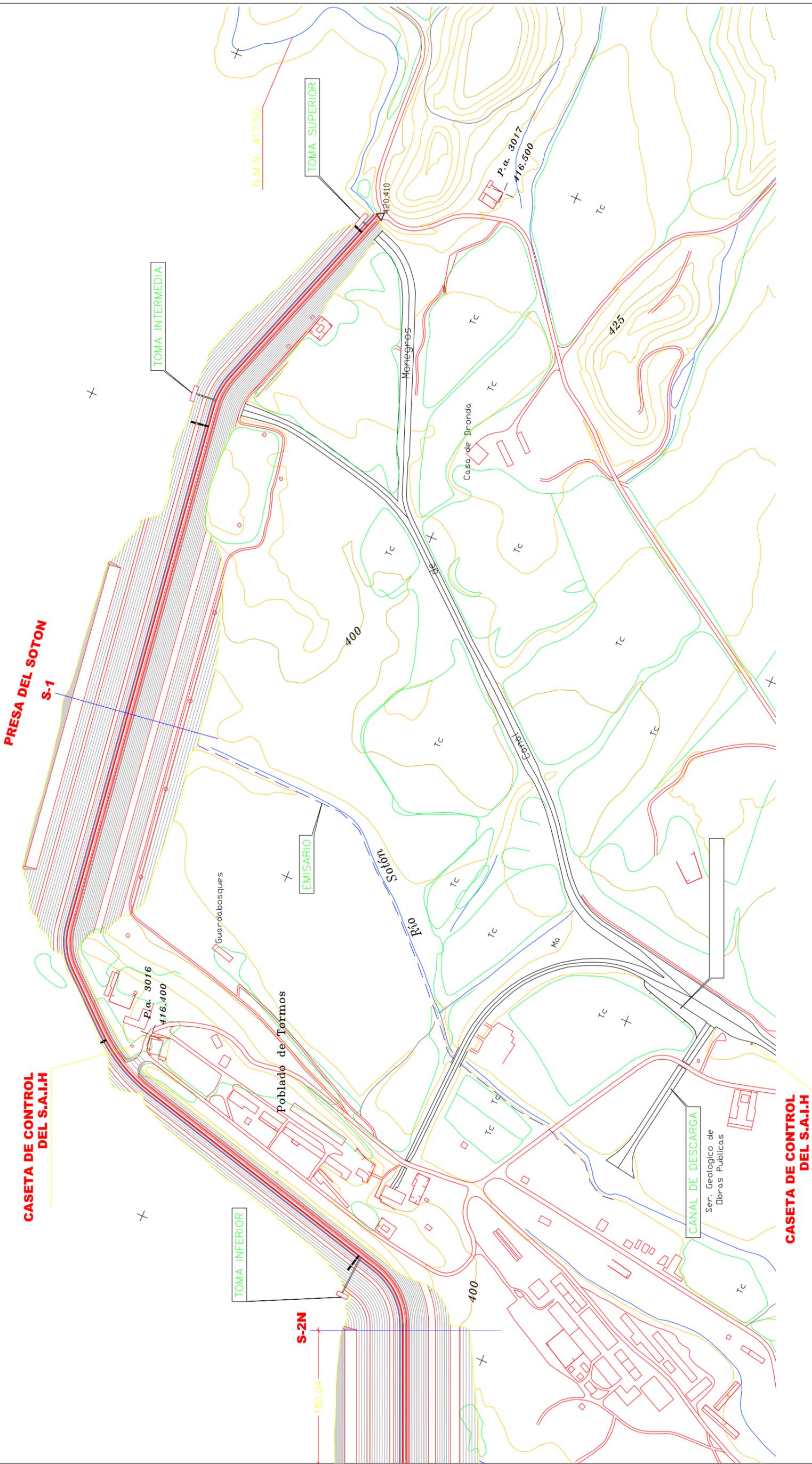
**EMISARIO**

**TOMA INTERMEDIA**

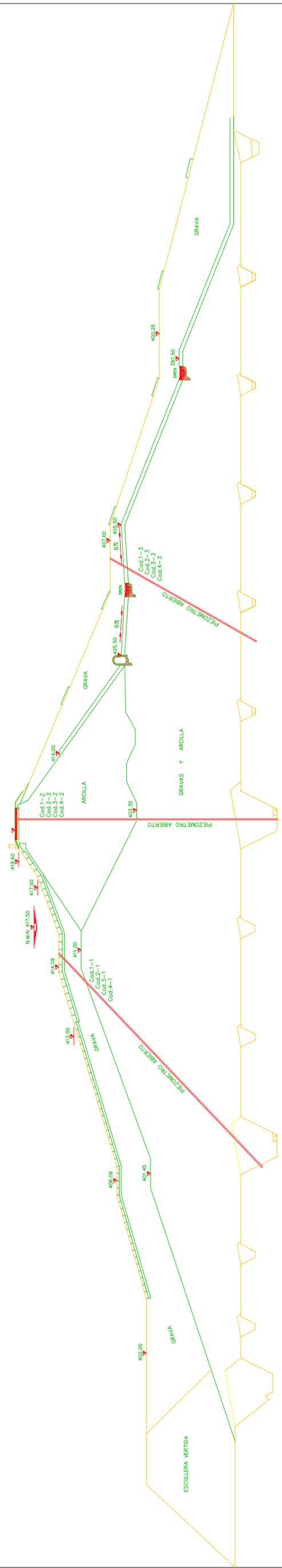
**TOMA SUPERIOR**

**CASETA DE CONTROL  
DEL S.A.I.H**

**PLANTA**  
ESCALA 1/5.000



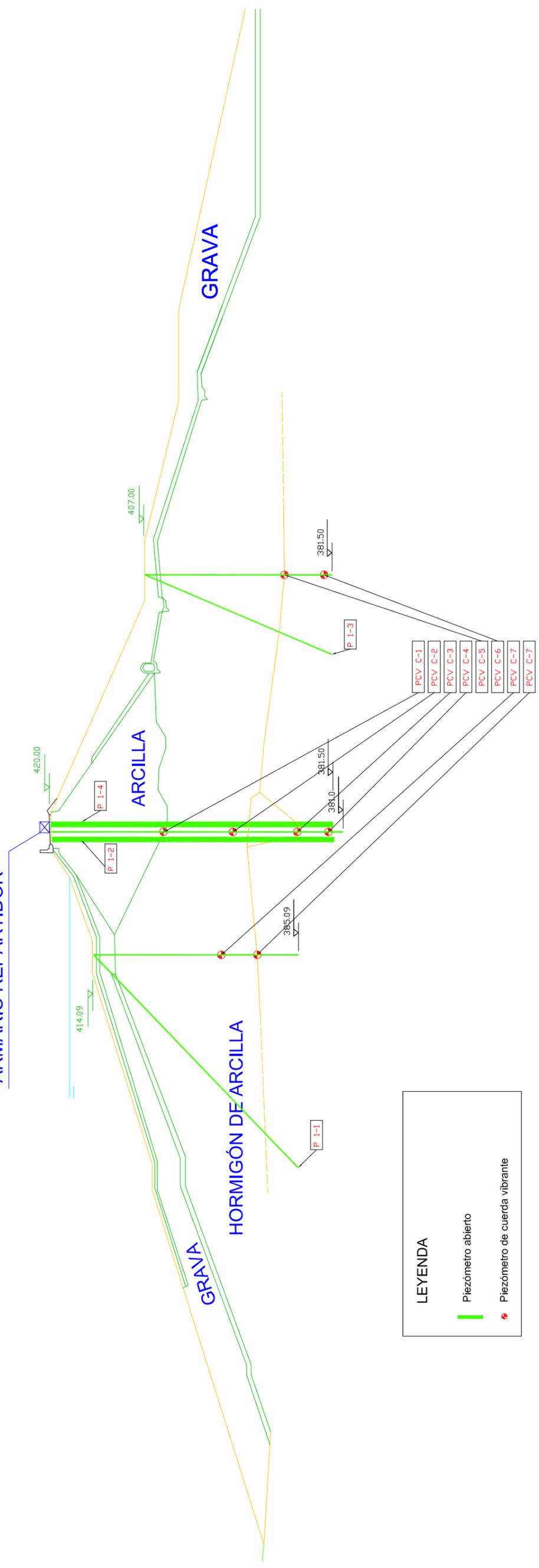
DOCUMENTO: INFORME DE AUSCULTACION. COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE LA SOTONERA EN EL PERIODO DEL 01/11/1991 AL 31/12/08	CÓDIGO DOCUMENTO: CLAVE CONTRATO:	ESCALAS: 1:5000	FECHA: JUNIO 2009	TÍTULO DEL PLANO: PLANTA GENERAL DE LA PRESA DE LA SOTONERA. SECCIONES DE CONTROL (2 de 2)	Nº DE PLANOS: 2
					HOJAS: 199



SECCIONES-1, 2, 3 y 4

DOCUMENTO: INFORME DE AUSCULTACION. COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE LA SOTONERA EN EL PERIODO DEL 01/11/1991 AL 31/12/08	CÓDIGO DOCUMENTO:		ESCALAS: SIN ESCALA	FECHA: JUNIO 2009	TÍTULO DEL PLANO: SITUACIÓN DE PIEZÓMETROS ABIERTOS. SECCIONES DE CONTROL S-1 (SOTÓN), S-2 (ASTÓN 2), S-3 (ASTÓN 1) Y S-4 (ALBERCA DE ALCALÁ)	Nº DE PLANOS: 3
	CLAVE CONTRATO:					HOJA: 200

ARMARIO REPARTIDOR



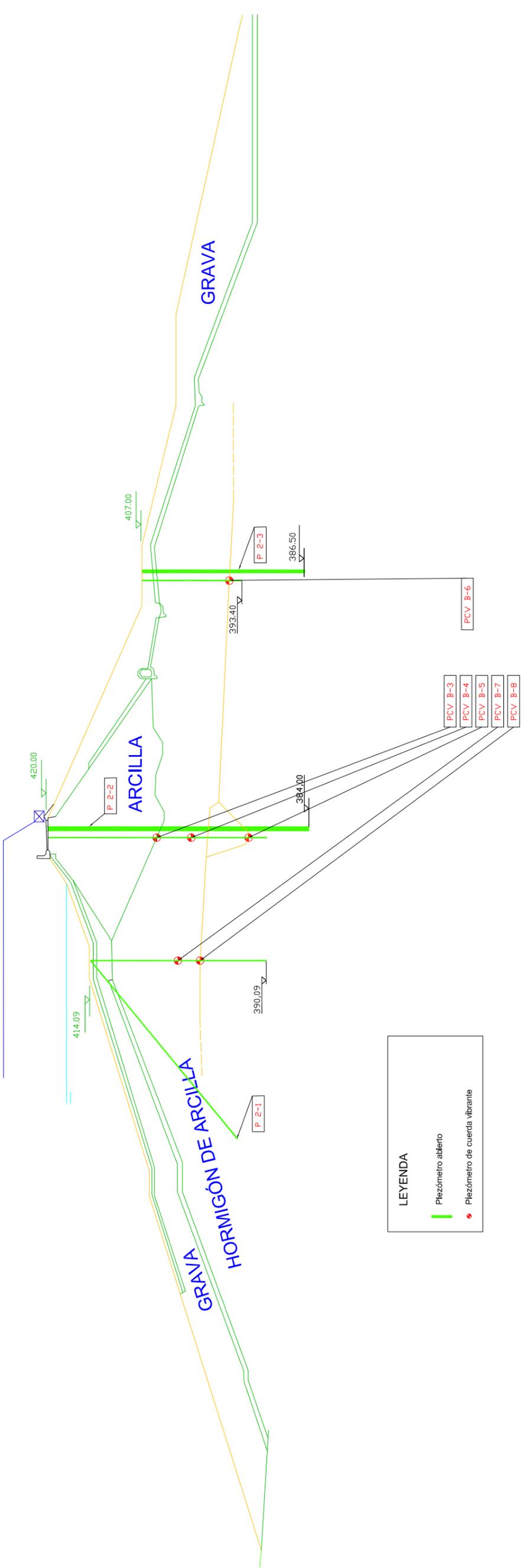
**LEYENDA**

-  Piezómetro abierto
-  Piezómetro de cuerda vibrante

**SECCIÓN N° 1 SOTÓN**

DOCUMENTO: INFORME DE AUSCULTACION. COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE LA SOTONERA EN EL PERIODO DEL 01/11/1991 AL 31/12/08	CÓDIGO DOCUMENTO: CLAVE CONTRATO:	ESCALAS: SIN ESCALA	FECHA: JUNIO 2009	TÍTULO DEL PLANO: SITUACIÓN PIEZÓMETROS DE CUERDA VIBRANTE. SECCIÓN DE CONTROL S-1 (SOTÓN)	N° DE PLANOS: 4
					HOJA: 201

**ARMARIO REPARTIDOR**

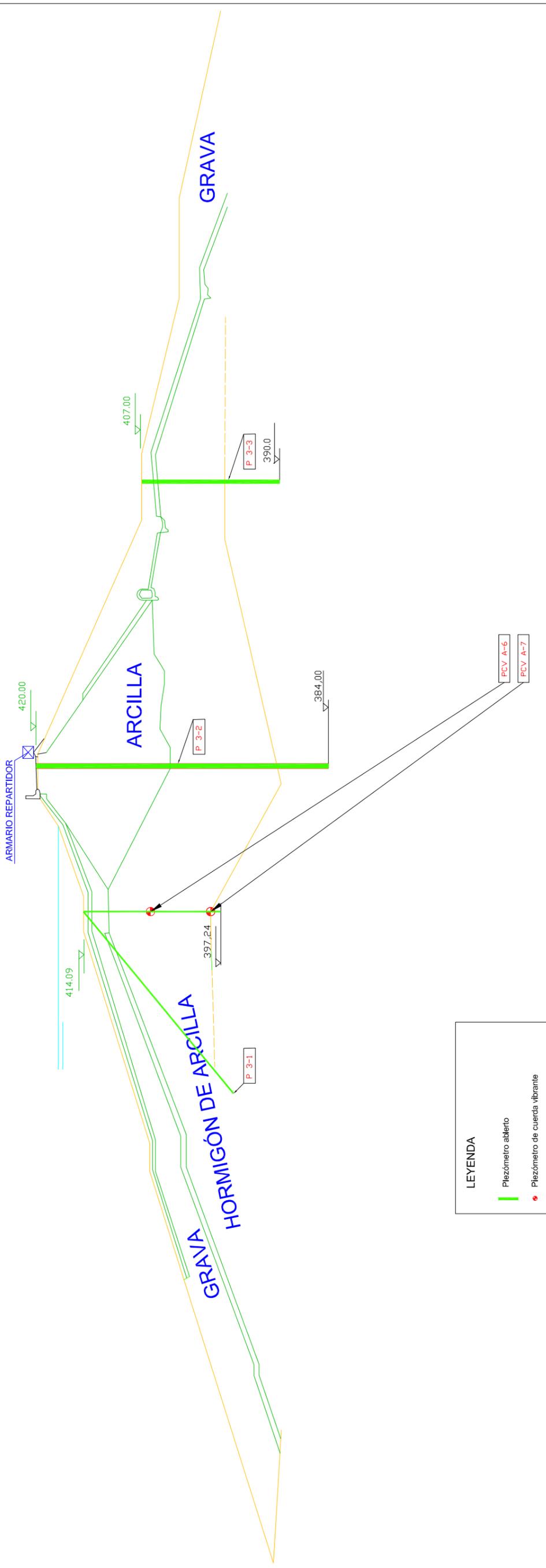


**LEYENDA**

- █ Piezómetro abierto
- Piezómetro de cuerda vibrante

**SECCIÓN N° 2 ASTÓN 2**

DOCUMENTO: INFORME DE AUSCULTACION. COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE LA SOTONERA EN EL PERIODO DEL 01/11/1991 AL 31/12/08	CÓDIGO DOCUMENTO: CLAVE CONTRATO:	ESCALAS: SIN ESCALA	FECHA: JUNIO 2009	TÍTULO DEL PLANO: SITUACIÓN PIEZÓMETROS DE CUERDA VIBRANTE. SECCIÓN DE CONTROL S-2 (ASTÓN 2)	N° DE PLANOS: 5
					HOJA: 202



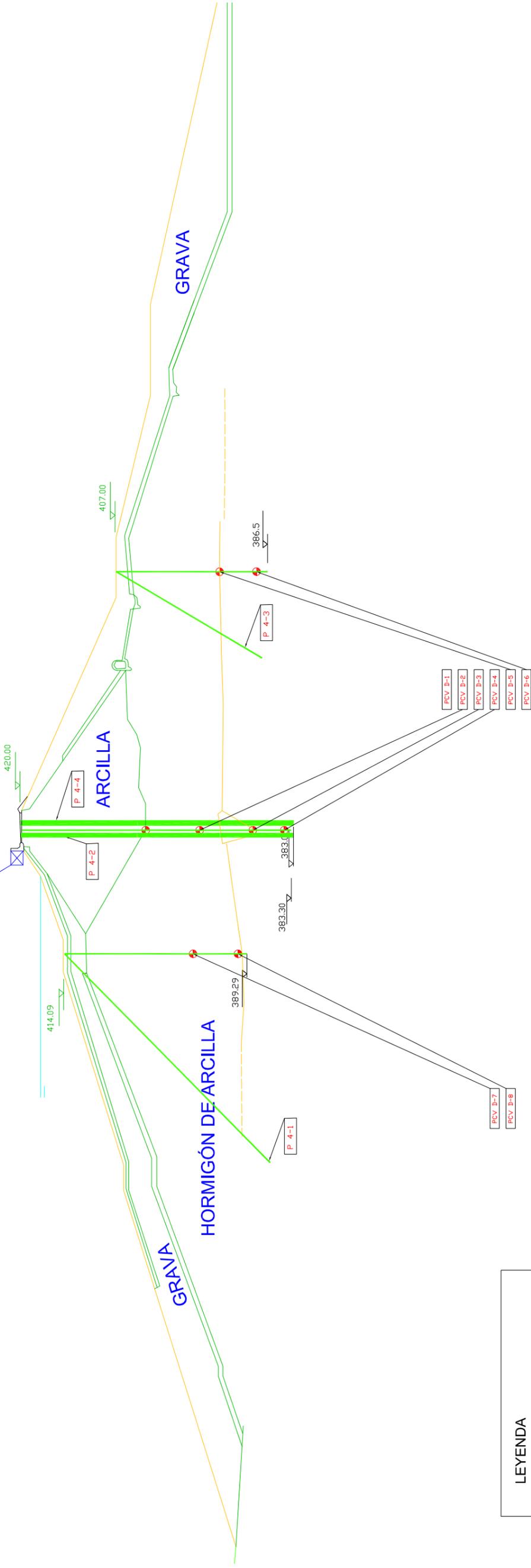
**LEYENDA**

<span style="color: green;">█</span>	Piezómetro abierto
<span style="color: red;">●</span>	Piezómetro de cuerda vibrante

**SECCIÓN N° 3 ASTÓN 1**

DOCUMENTO: INFORME DE AUSCULTACION. COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE LA SOTONERA EN EL PERIODO DEL 01/11/1991 AL 31/12/08	CÓDIGO DOCUMENTO: CLAVE CONTRATO:	ESCALAS: SIN ESCALA	FECHA: JUNIO 2009	TÍTULO DEL PLANO: SITUACIÓN PIEZÓMETROS DE CUERDA VIBRANTE. SECCIÓN DE CONTROL S-3 (ASTÓN 1)	N° DE PLANOS: 6
					HOJA: 203

ARMARIO REPARTIDOR



LEYENDA

— Piezómetro abierto

• Piezómetro de cuerda vibrante

SECCIÓN N° 4 ALBERCA ALCALÁ

DOCUMENTO:  
INFORME DE AUSCULTACION. COMPORTAMIENTO  
DE LA PRESA DE LA SOTONERA EN EL PERÍODO  
DEL 01/11/1991 AL 31/12/08

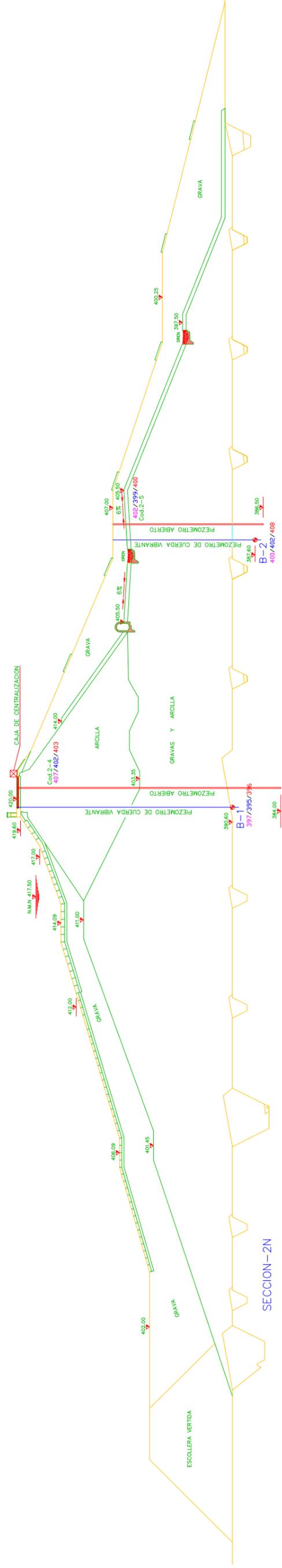
CÓDIGO DOCUMENTO:  
CLAVE CONTRATO:

ESCALAS:  
SIN ESCALA

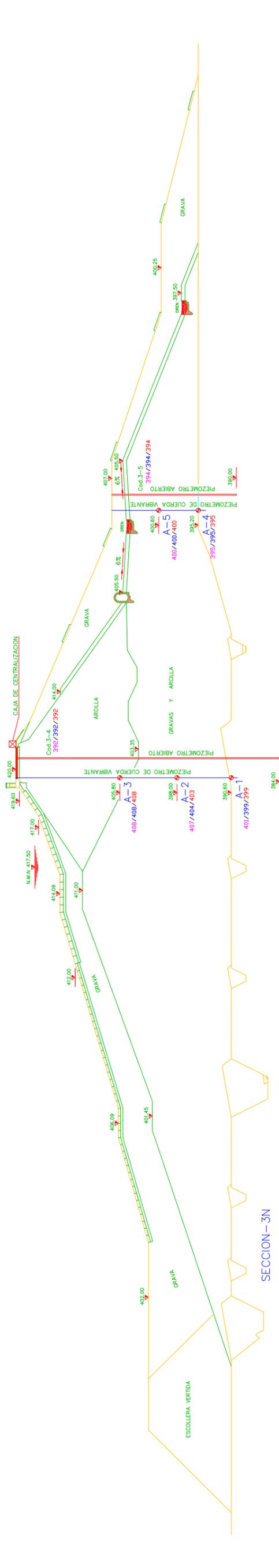
FECHA:  
JUNIO 2009

TÍTULO DEL PLANO:  
SITUACIÓN PIEZÓMETROS DE CUERDA VIBRANTE.  
SECCIÓN DE CONTROL S-4 (ALBERCA DE ALCALÁ)

N° DE PLANOS:  
7  
HOJA:  
204



SECCION-2N



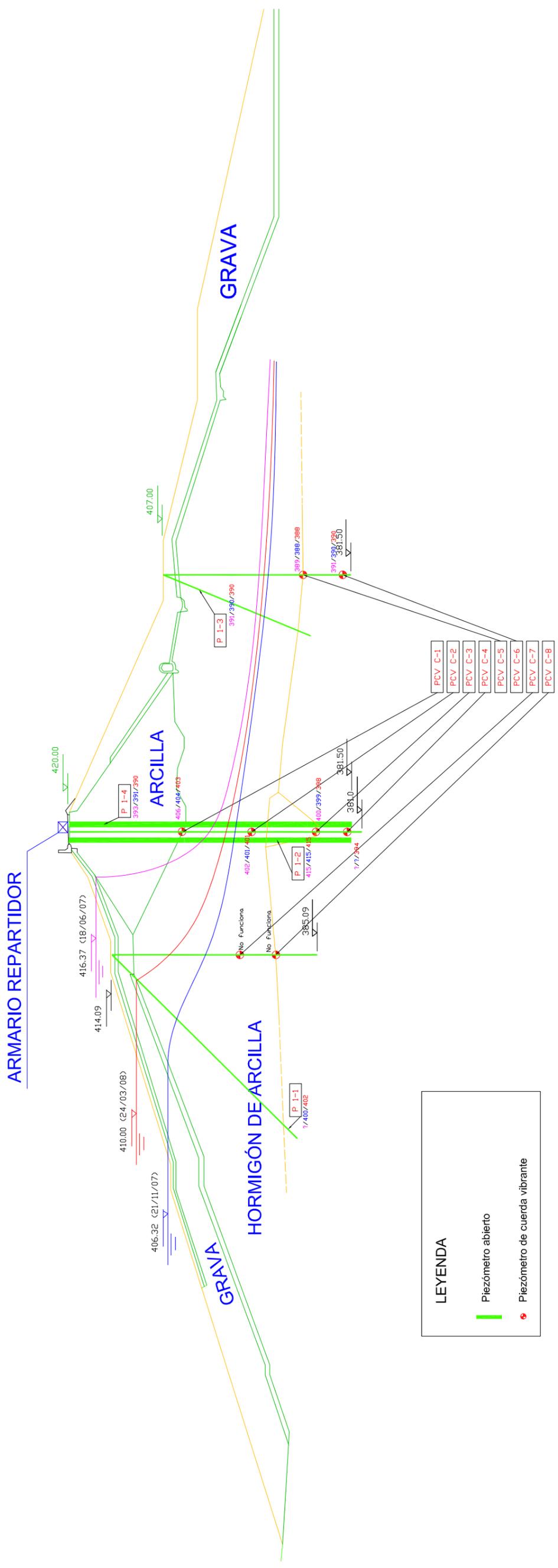
SECCION-3N

**LEYENDA**

	Piezómetro abierto
	Piezómetro de cuerda vibrante

DOCUMENTO: INFORME DE AUSCULTACION. COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE LA SOTONERA EN EL PERIODO DEL 01/11/1991 AL 31/12/08	CÓDIGO DOCUMENTO: CLAVE CONTRATO:	ESCALAS: SIN ESCALA	FECHA: JUNIO 2009	TÍTULO DEL PLANO: SITUACIÓN DE PIEZÓMETROS. SECCIONES DE CONTROL S-2N Y S-3N	Nº DE PLANO: 8
					HOJA: 205

NIVELES PIEZOMETRICOS ASOCIADOS A TRES NIVELES DE EMBALSE:  
 416.37 m.s.n.m. (18/06/07), 406.32 m.s.n.m. (21/11/07) y 410.00 m.s.n.m. (24/03/08)



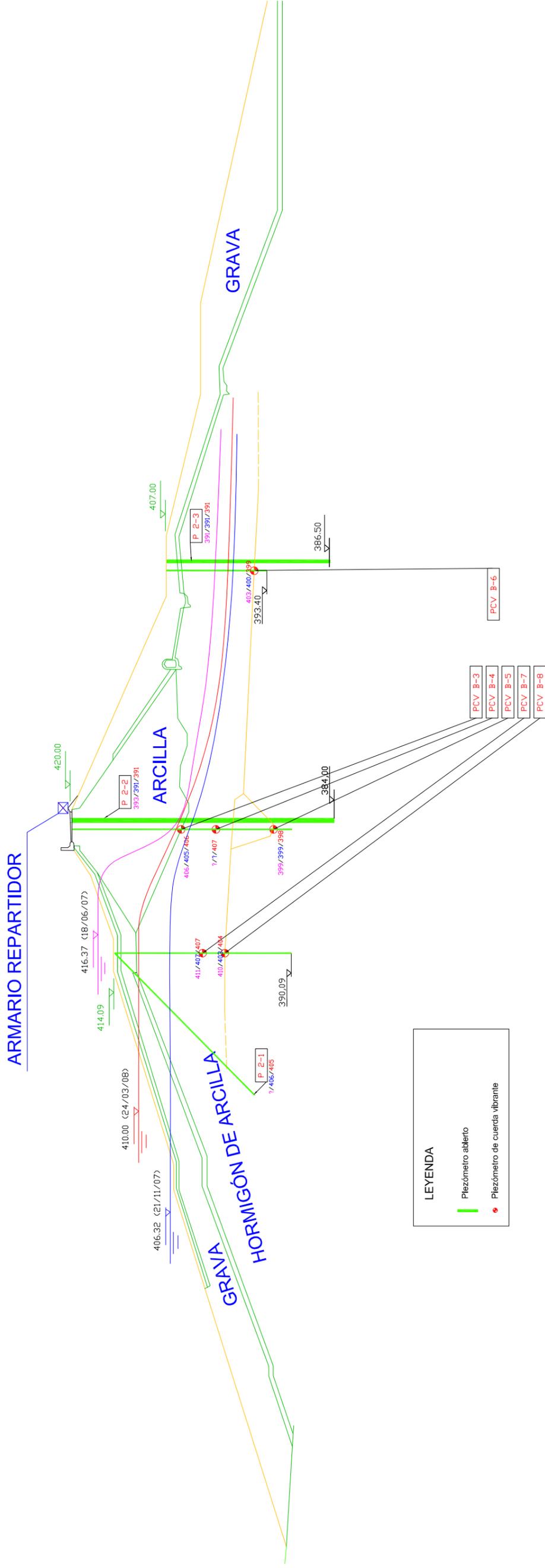
**LEYENDA**

- Piezómetro abierto
- Piezómetro de cuerda vibrante

**SECCIÓN N° 1 SOTÓN**

DOCUMENTO: INFORME DE AUSCULTACION. COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE LA SOTONERA EN EL PERIODO DEL 01/11/1991 AL 31/12/08	CÓDIGO DOCUMENTO: CLAVE CONTRATO:	ESCALAS: SIN ESCALA	FECHA: JUNIO 2009	TÍTULO DEL PLANO: LÍNEA DE SATURACIÓN. SECCIÓN DE CONTROL S-1 (SOTÓN)	N° DE PLANOS: 9
					HOJA: 206

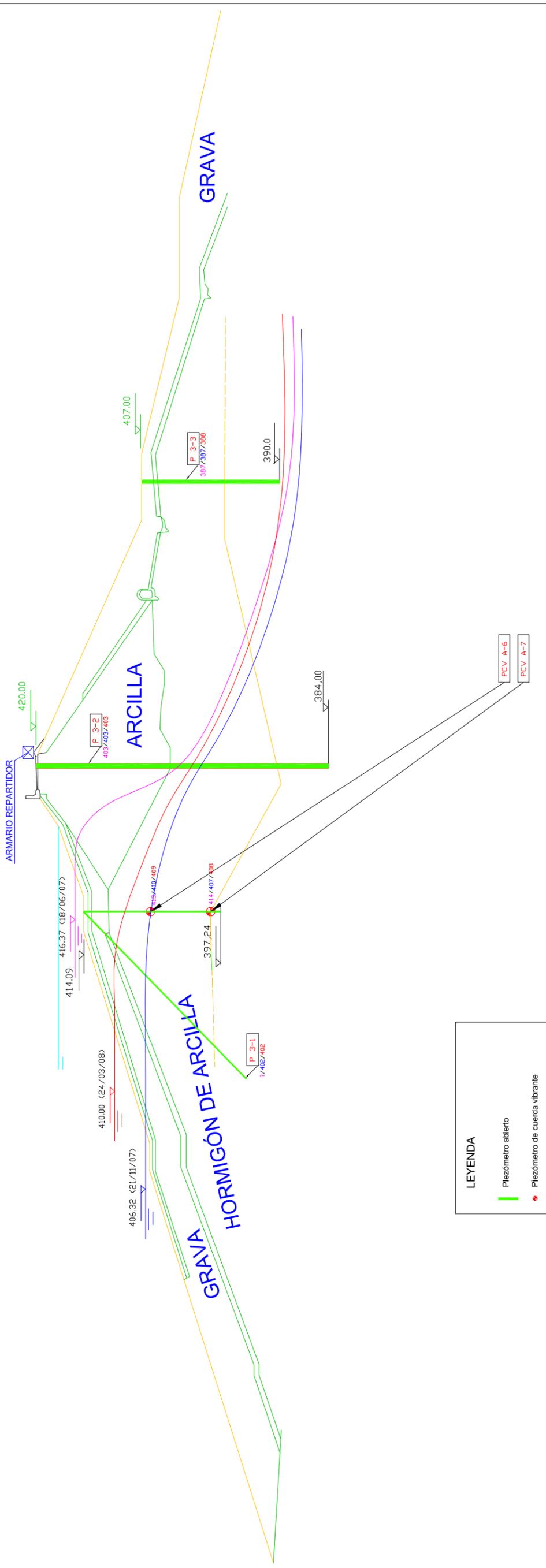
NIVELES PIEZOMETRICOS ASOCIADOS A TRES NIVELES DE EMBALSE:  
 416.37 m.s.n.m. <18/06/07>, 406.32 m.s.n.m. <21/11/07> y 410.00 m.s.n.m. <24/03/08>



**SECCIÓN N° 2 ASTÓN 2**

DOCUMENTO: INFORME DE AUSCULTACION. COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE LA SOTONERA EN EL PERIODO DEL 01/11/1991 AL 31/12/08	CÓDIGO DOCUMENTO: CLAVE CONTRATO:	ESCALAS: SIN ESCALA	FECHA: JUNIO 2009	TÍTULO DEL PLANO: LÍNEA DE SATURACIÓN. SECCIÓN DE CONTROL S-2 (ASTÓN 2)	N° DE PLANOS: 10
					HOJA: 207

NIVELES PIEZOMETRICOS ASOCIADOS A TRES NIVELES DE EMBALSE:  
 416.37 m.s.n.m. <18/06/07>, 406.32 m.s.n.m. <21/11/07> y 410.00 m.s.n.m. <24/03/08>

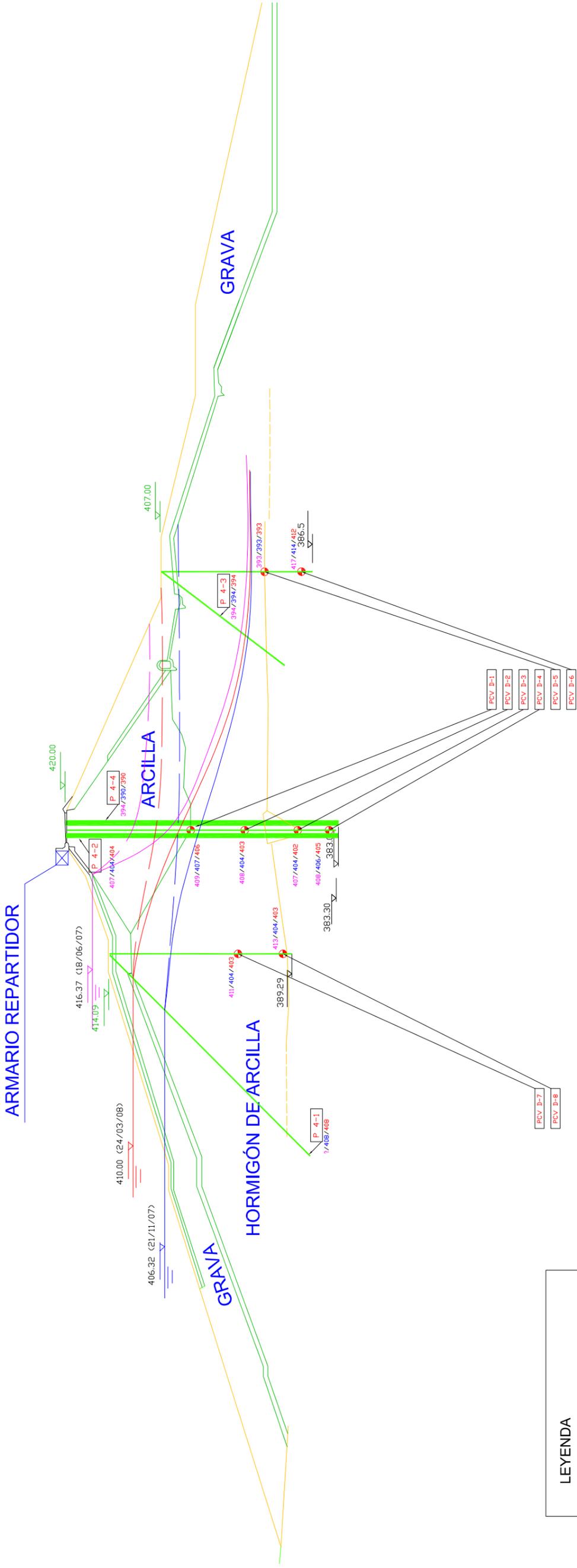


LEYENDA	
<span style="color: green;">█</span>	Piezómetro atleito
<span style="color: red;">●</span>	Piezómetro de cuerda vibrante

**SECCIÓN N° 3 ASTÓN 1**

DOCUMENTO: INFORME DE AUSCULTACION. COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE LA SOTONERA EN EL PERIODO DEL 01/11/1991 AL 31/12/08	CÓDIGO DOCUMENTO: CLAVE CONTRATO:	ESCALAS: SIN ESCALA	FECHA: JUNIO 2009	TÍTULO DEL PLANO: LÍNEA DE SATURACIÓN. SECCIÓN DE CONTROL S-3 (ASTÓN 1)	N° DE PLANOS: 11
					HOJA: 208

NIVELES PIEZOMETRICOS ASOCIADOS A TRES NIVELES DE EMBALSE:  
 416.37 m.s.n.m. (18/06/07), 406.32 m.s.n.m. (21/11/07) y 410.00 m.s.n.m. (24/03/08)



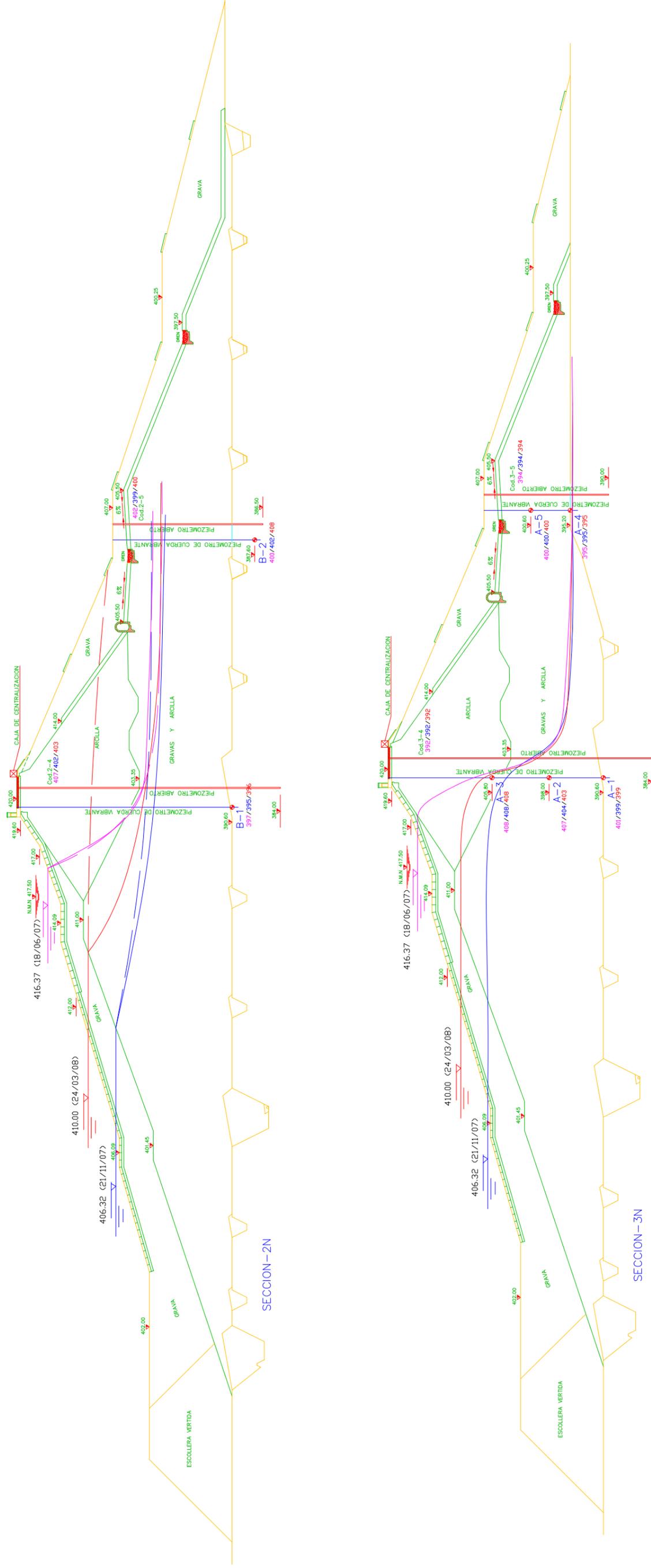
**LEYENDA**  
 — Piezómetro abierto  
 — Piezómetro de cuenta vibrante

— LÍNEA DE SATURACIÓN OMITIENDO LA EXISTENCIA DE ALGUNOS VALORES AISLADOS DE ALTAS PRESIONES EN EL PIE DE AGUAS ABAJO  
 — LÍNEA DE SATURACIÓN CON EL PCV-D6

**SECCIÓN N° 4 ALBERCA ALCALÁ**

DOCUMENTO: INFORME DE AUSCULTACION. COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE LA SOTONERA EN EL PERIODO DEL 01/11/1991 AL 31/12/2008	CÓDIGO DOCUMENTO: CLAVE CONTRATO:	ESCALAS: SIN ESCALA	FECHA: JUNIO 2009	TÍTULO DEL PLANO: LÍNEA DE SATURACIÓN. SECCIÓN DE CONTROL S-4 (ALBERCA DE ALCALÁ)	N° DE PLANOS: 12
					HOJA: 209

NIVELES PIEZOMETRICOS ASOCIADOS A TRES NIVELES DE EMBALSE:  
 416.37 m.s.n.m. <18/06/07>, 406.32 m.s.n.m. <21/11/07> y 410.00 m.s.n.m. <24/03/08>



**LEYENDA**

- Piezómetro abierto
- + Piezómetro de cuerda vibrante

— LÍNEA DE SATURACIÓN OMITIENDO LA EXISTENCIA DE ALGUNOS VALORES AISLADOS DE ALTAS PRESIONES EN EL PIE DE AGUAS ABAJO  
 — LÍNEA DE SATURACIÓN TENIENDO EN CUENTA EL PCV-B2

DOCUMENTO: INFORME DE AUSCULTACION. COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE LA SOTONERA EN EL PERIODO DEL 01/11/91 AL 31/12/08	CODIGO DOCUMENTO: CLAVE CONTRATO:	ESCALAS: SIN ESCALA	FECHA: JUNIO 2009	TITULO DEL PLANO: LÍNEA DE SATURACIÓN. SECCIONES DE CONTROL S-2N Y S-3N	Nº DE PLANOS: 13
					HOJA: 210

**A.2. ANEJO N° 2:**

**GRÁFICOS DE LAS VARIABLES AUSCULTADAS**

## ANEJO Nº 2 - GRÁFICOS DE LAS VARIABLES AUSCULTADAS

### ÍNDICE

#### A) VARIABLES EXTERIORES:

- A1** Evolución temporal de las variables exteriores: niveles de embalse, temperatura aire, precipitaciones.
- A2** Evolución temporal del nivel de embalse de La Sotonera.
- A3** Evolución temporal de las precipitaciones en el embalse de La Sotonera.

#### B) PIEZÓMETROS ABIERTOS Ó HIDRÁULICOS:

- B1** Piezómetros abiertos. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección de control S-1 o Sotón.
- B2** Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección de control S-2 o Astón-2.
- B3** Piezómetros abiertos. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección de control S-3 o Astón-1.
- B4** Piezómetros abiertos. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección de control S-4 o Alberca de Alcalá.
- B5** Piezómetros abiertos. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la cota de sondeo 1: 414.09 m.s.n.m.
- B6** Piezómetros abiertos. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la cota de sondeo 2: 420.00 m.s.n.m.
- B7** Piezómetros abiertos. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la cota de sondeo 1: 407.00 m.s.n.m.

#### C) PIEZÓMETROS DE CUERDA VIBRANTE:

- C1.** Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección de control S-1 o Sotón: PCV-C1, PCV-C2, PCV-C3, PCV-C4, PCV-C5, PCV-C6, PCV-C7 y PCV-C8.
- C2.** Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección de control S-1 o Sotón aguas arriba: PCV-C7 y PCV-C8.
- C3.** Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección de control S-1 o Sotón en el núcleo: PCV-C1, PCV-C2, PCV-C3 y PCV-C4.

- C4.** Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección de control S-1 o Sotón aguas abajo: PCV-C5 y PCV-C6.
- C5.** Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección S-2 o Astón-2: PCV-B3, PCV-B4, PCV-B5, PCV-B6, PCV-B7 y PCV-B8.
- C6.** Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección S-2 o Astón-2 aguas arriba: PCV-B7 y PCV-B8.
- C7.** Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección S-2 o Astón-2 en el núcleo: PCV-B3, PCV-B4 y PCV-B5.
- C8.** Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección S-2 o Astón-2 aguas abajo: PCV-B3, PCV-B4 y PCV-B5.
- C9.** Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección S-3 o Astón-1: PCV-A6 y PCV-A7.
- C10.** Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección S-4 o Alberca de Alcalá: PCV-D1, PCV-D2, PCV-D3, PCV-D4, PCV-D5, PCV-D6, PCV-D7 y PCV-D8.
- C11.** Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección S-4 o Alberca de Alcalá aguas arriba: PCV-D7 y PCV-D8.
- C12.** Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección S-4 o Alberca de Alcalá en el núcleo: PCV-D1, PCV-D2, PCV-D3 y PCV-D4.
- C13.** Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección S-4 o Alberca de Alcalá aguas abajo: PCV-D5 y PCV-D6.
- C14.** Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección S-2N: PCV-B1y PCV-B2.
- C15.** Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección S-3N: PCV-A1, PCV-A2, PCV-A3, PCV-A4 y PCV-A5.
- C16.** Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección S-3N en el núcleo: PCV-A, PCV-A2 y PCV-A3.
- C17.** Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección S-3N aguas abajo: PCV-A4 y PCV-A5.

# A) VARIABLES EXTERIORES

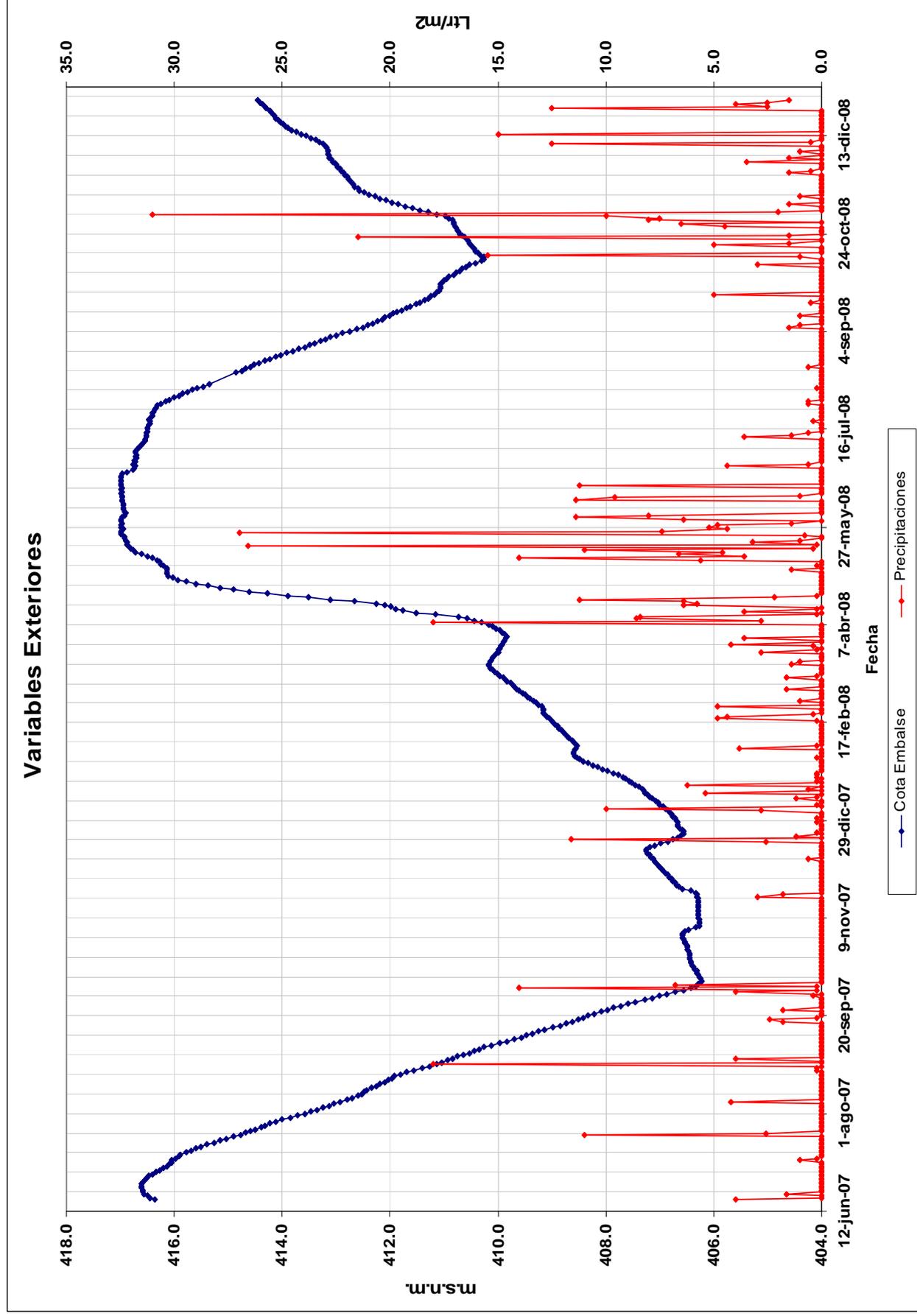


Gráfico A1. Evolución temporal de las variables exteriores (nivel de embalse y precipitaciones) del embalse de La Sotonera

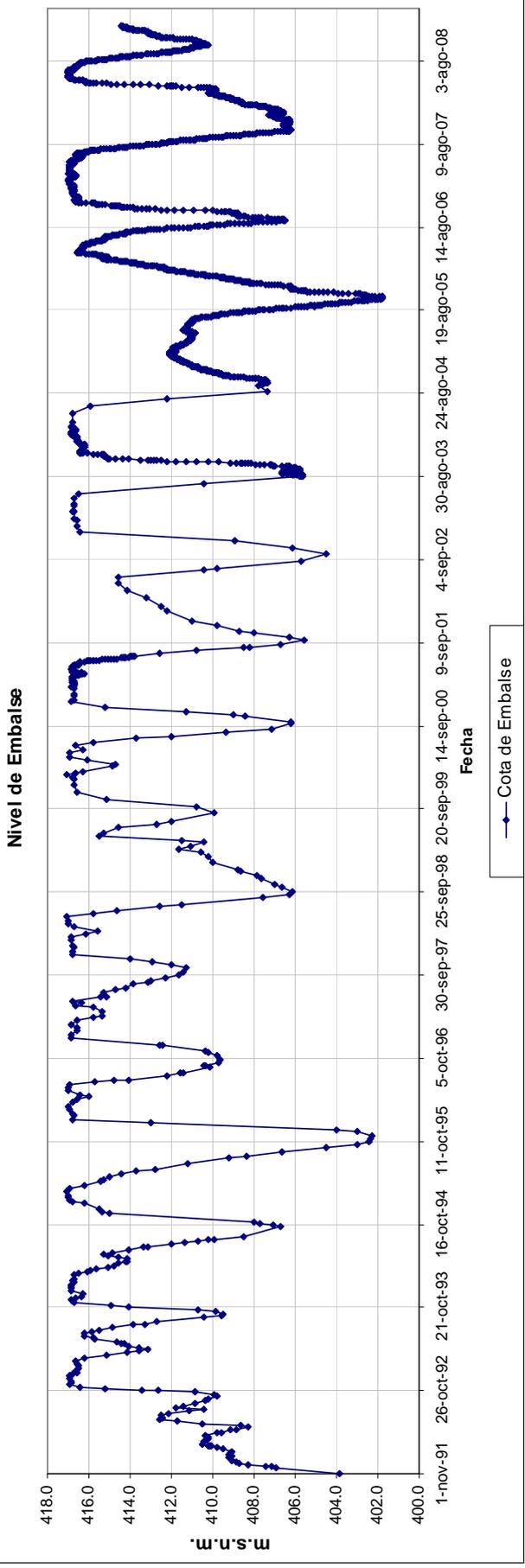


Gráfico A2. Evolución temporal del nivel del embalse de la Sotonera.

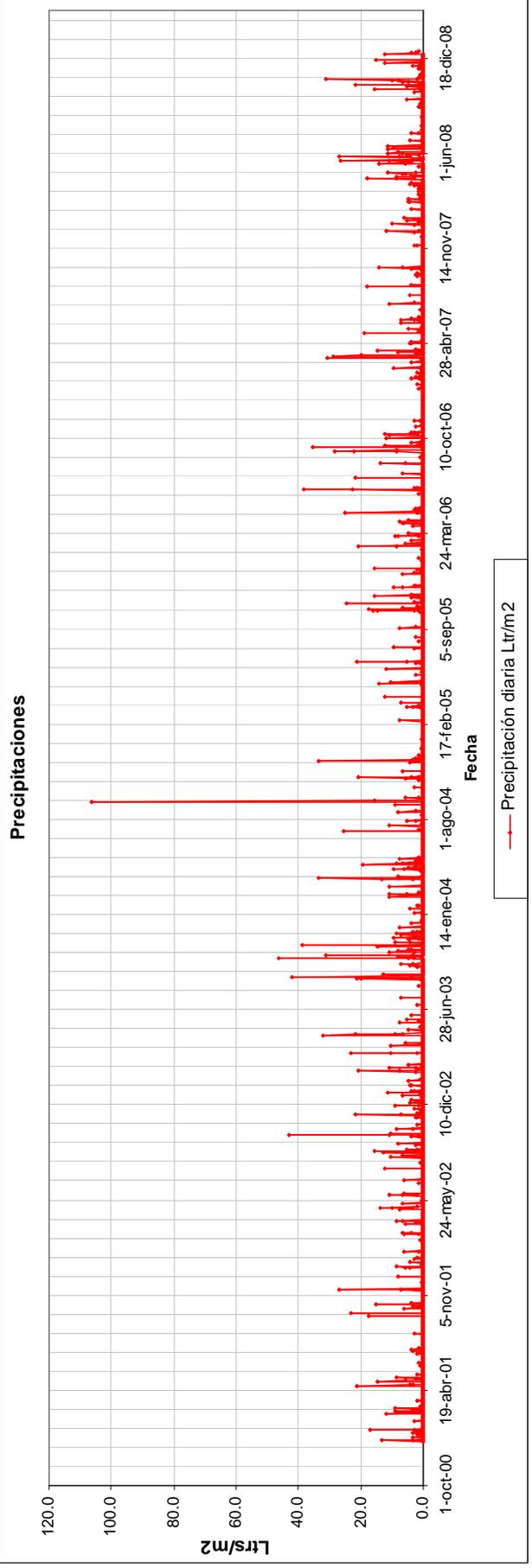


Gráfico A2. Evolución temporal de las precipitaciones en el embalse de la Sotonera.

## B) PIEZÓMETROS ABIERTOS O HIDRAULICOS

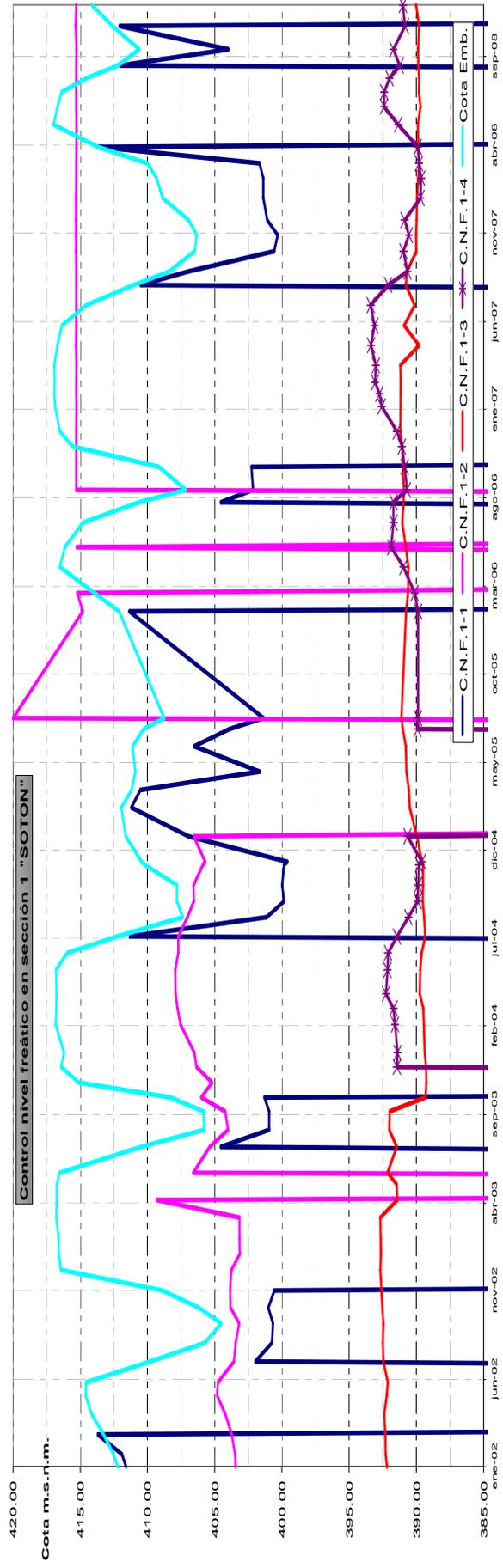


Gráfico B1. Piezómetros abiertos. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección de control S-1 o Sotón.

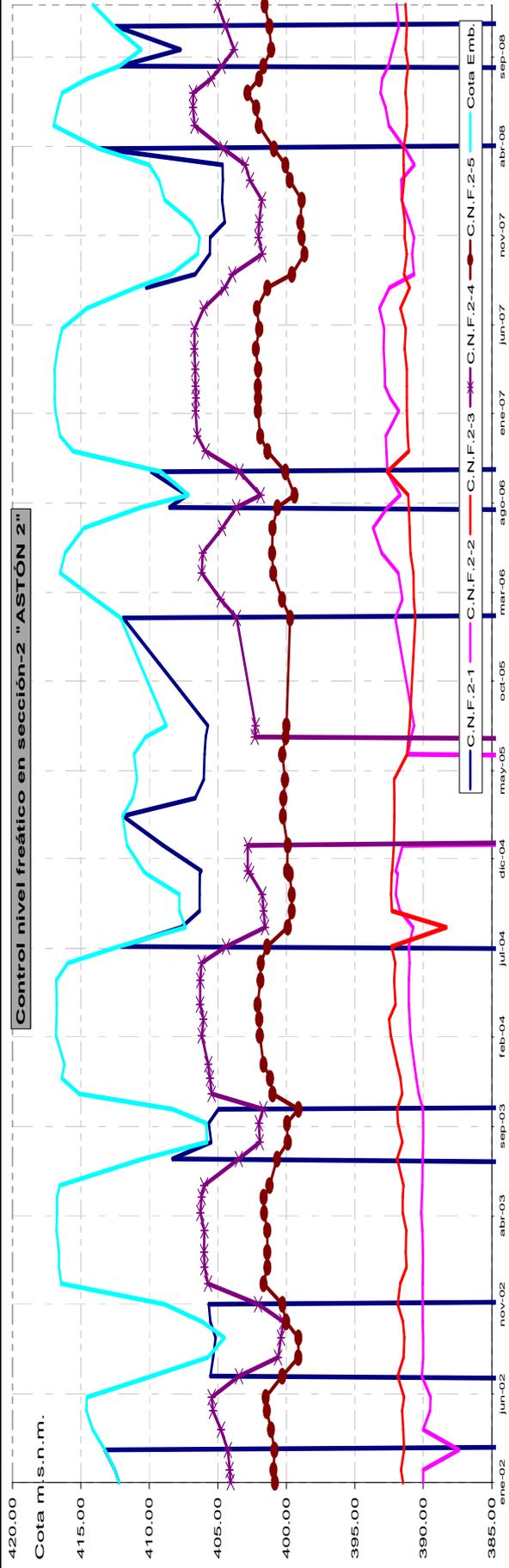


Gráfico B2. Piezómetros abiertos. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección de control S-2 o Astón 2.

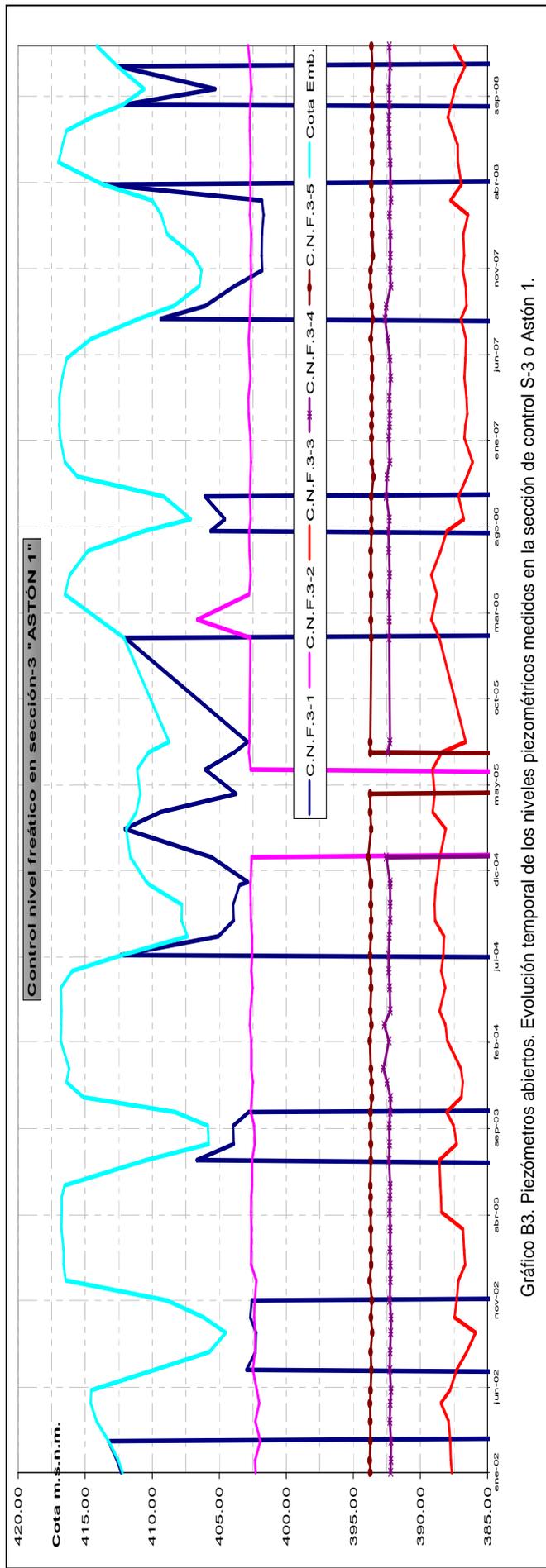


Gráfico B3. Piezómetros abiertos. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección de control S-3 o Astón 1.

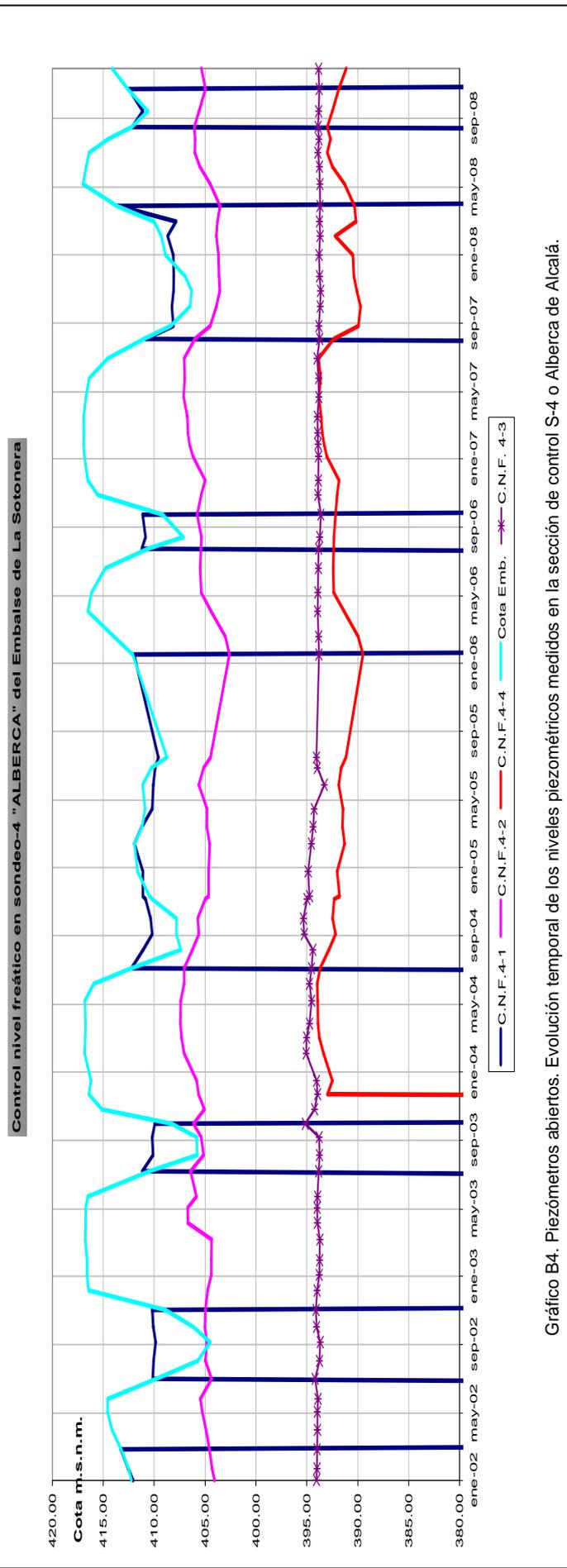
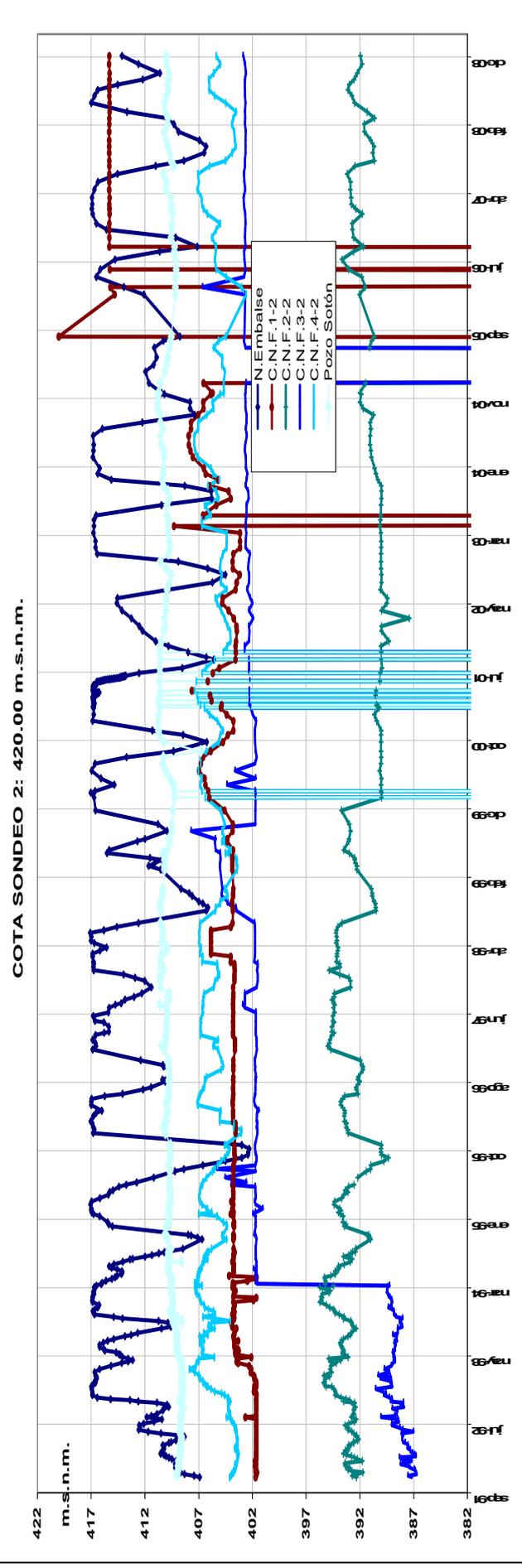
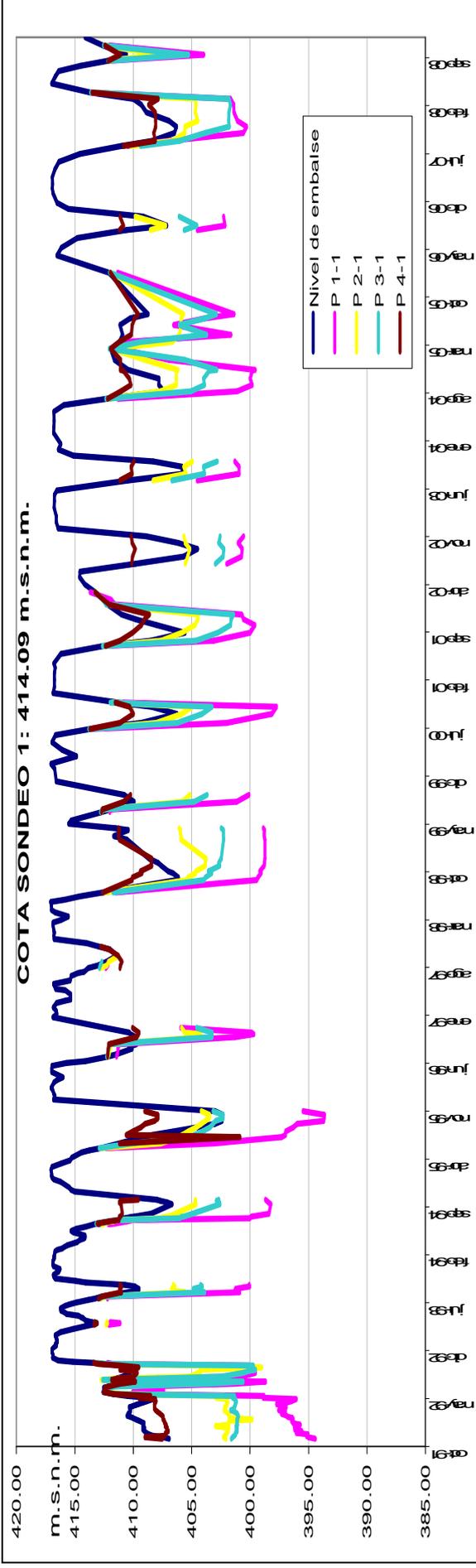


Gráfico B4. Piezómetros abiertos. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la sección de control S-4 o Alberca de Alcalá.



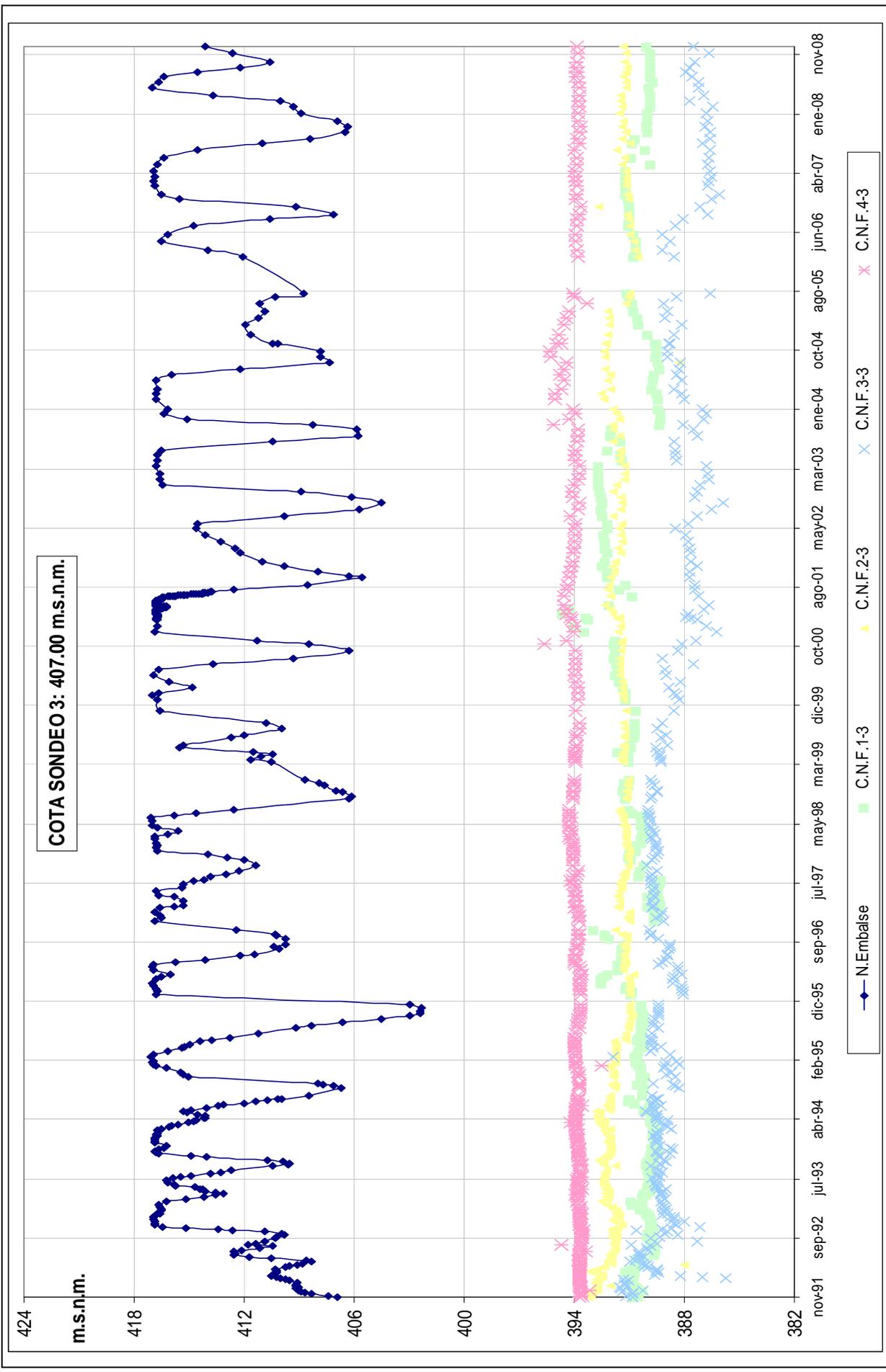


Gráfico B7. Piezómetros abiertos. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la cota de sondeo 3: 407.00 m.s.n.m.

### C) PIEZÓMETROS DE CUERDA VIBRANTE

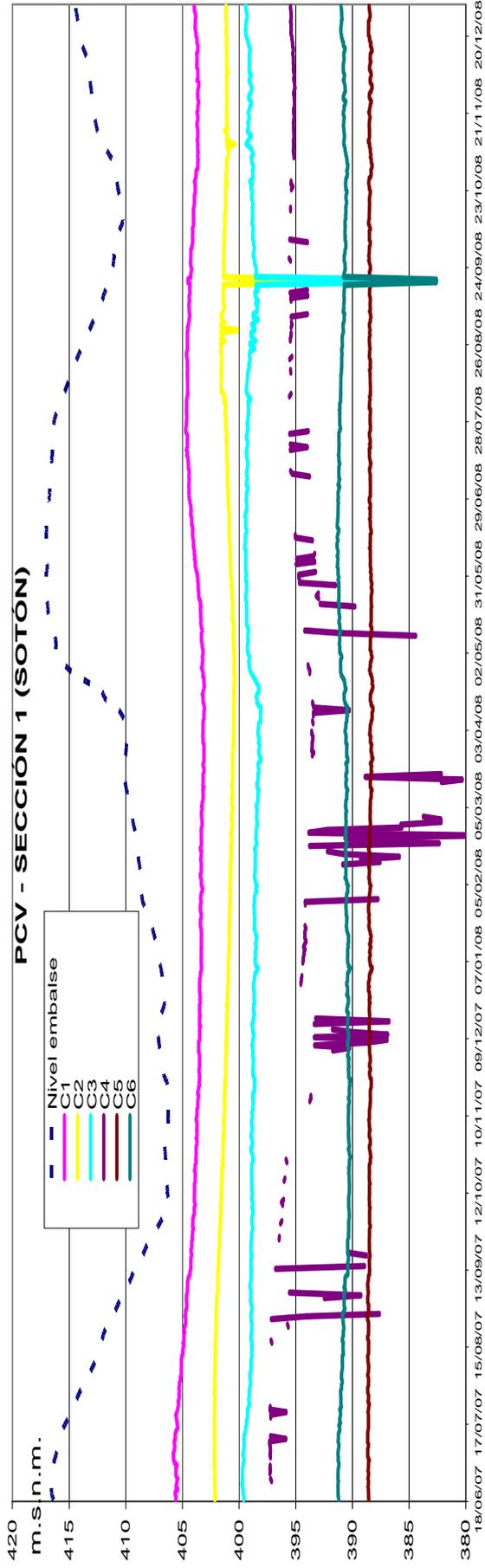


Gráfico C1. Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos en la sección S-1 o Sotón: PCV-C1, PCV-C2, PCV-C3, PCV-C4, PCV-C5, PCV-C6, PCV-C7 y PCV-C8.

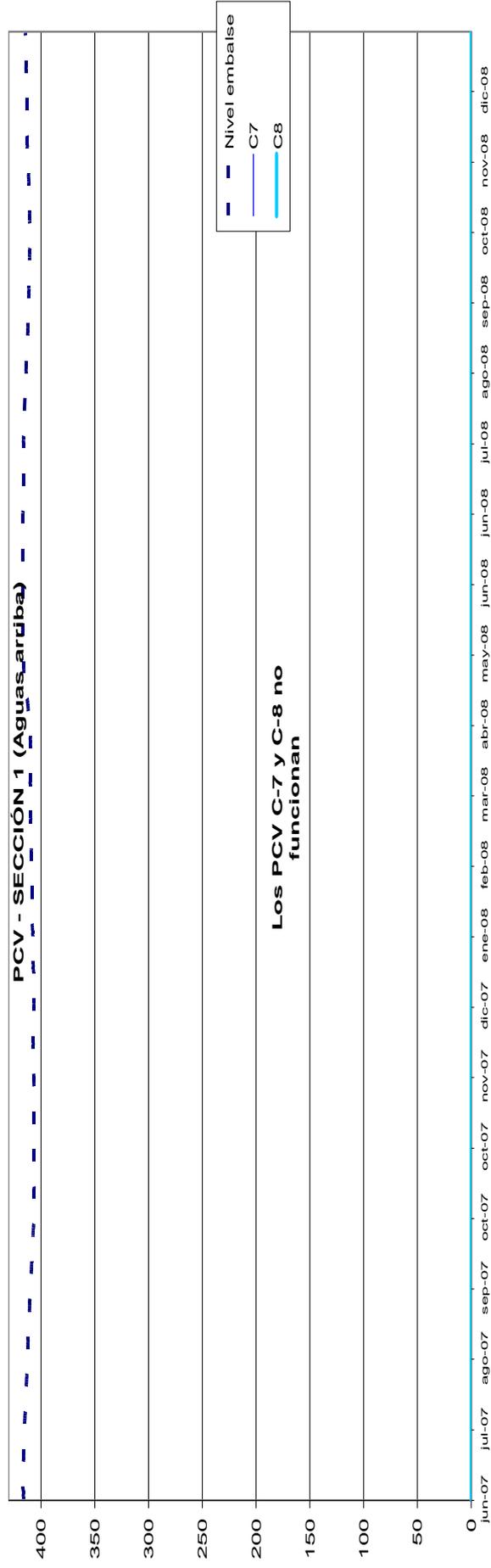
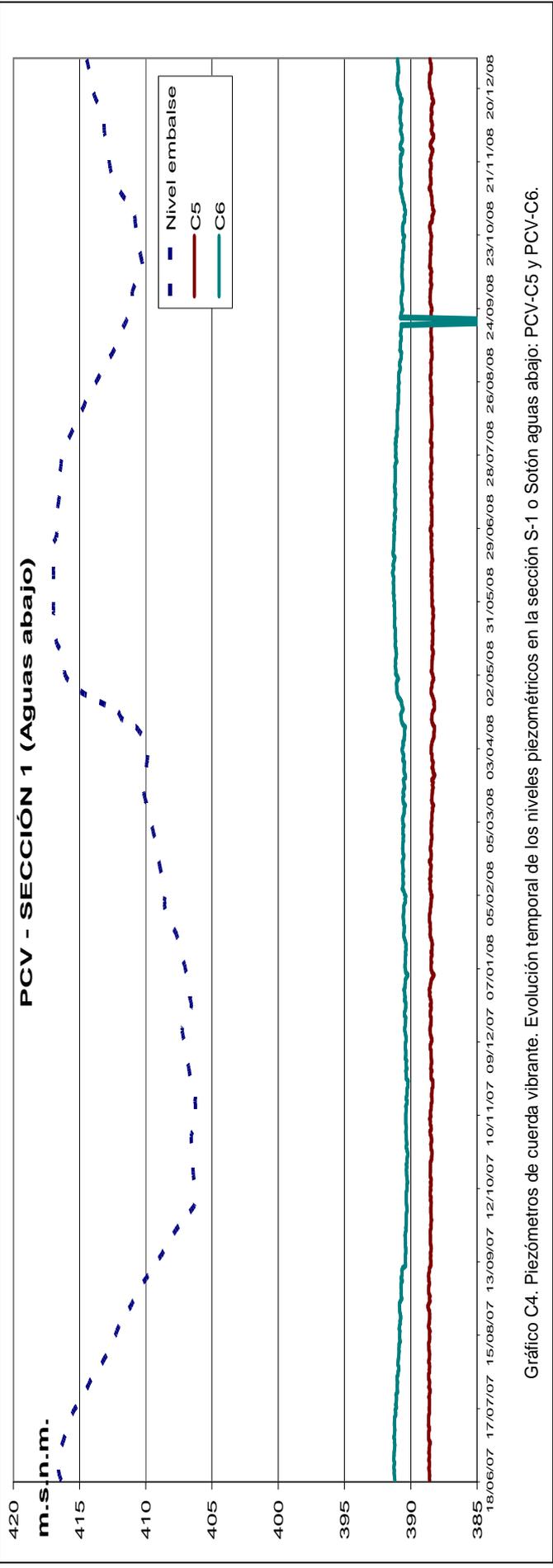
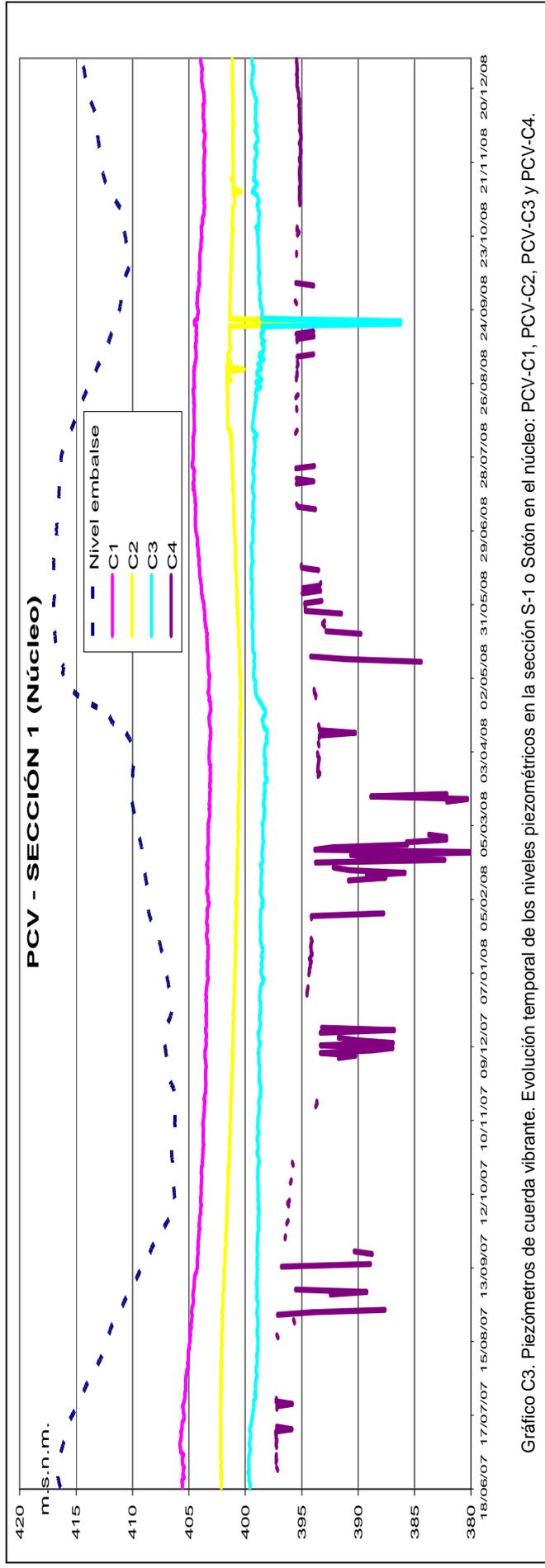
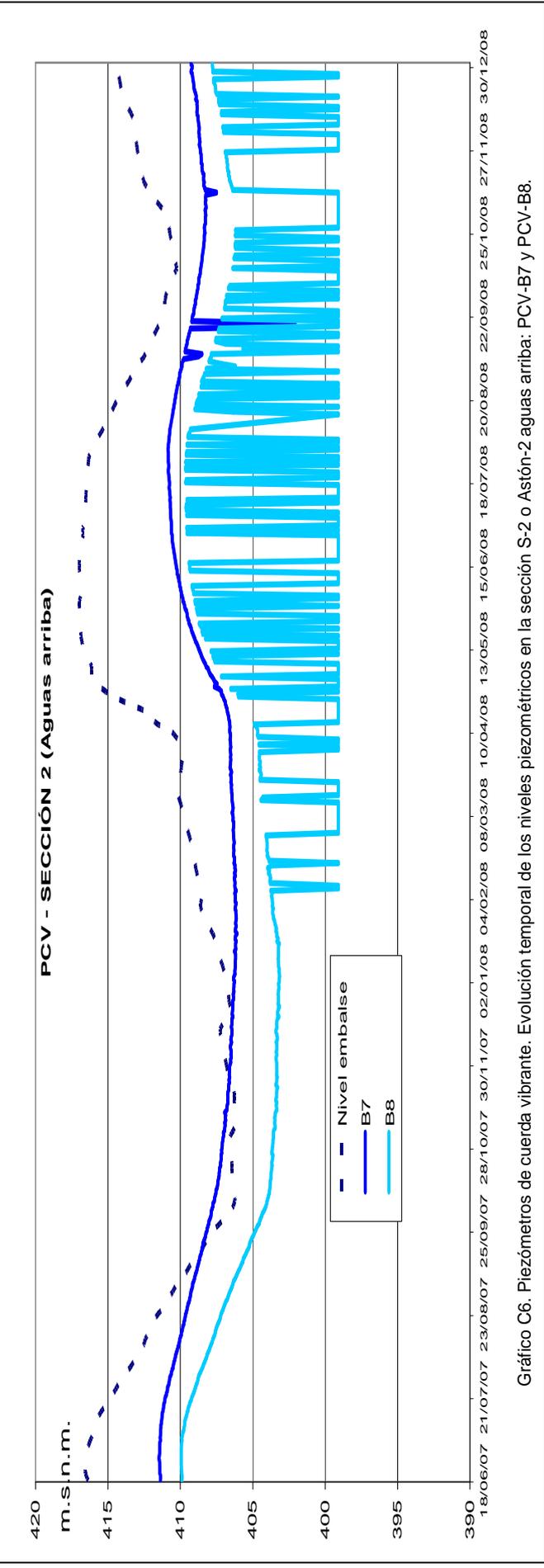
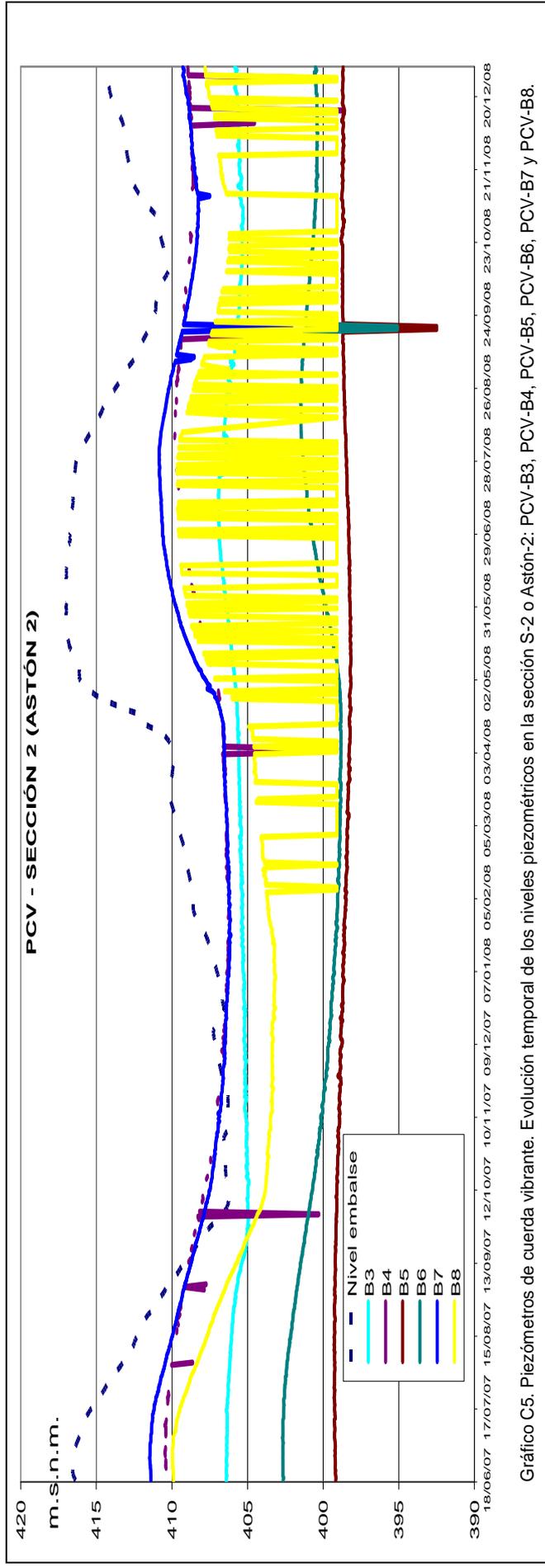


Gráfico C2. Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos en la sección S-1 aguas arriba: PCV-C7 y PCV-C8.





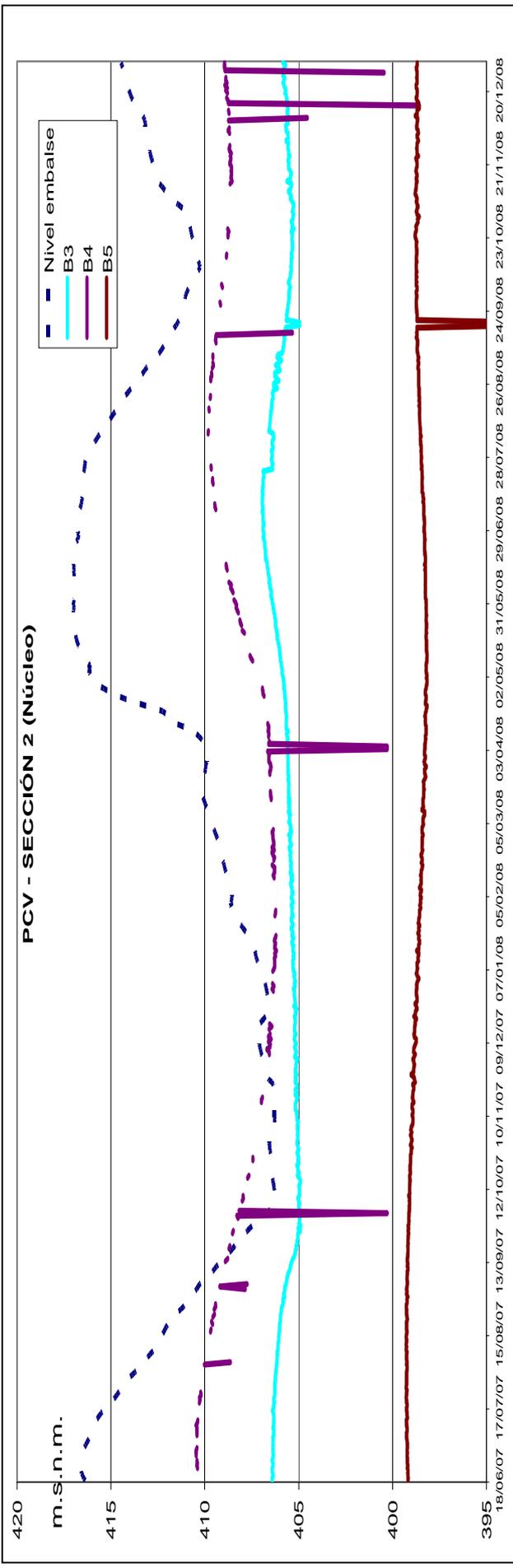


Gráfico C7. Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos en la sección S-2 o Aston-2 en el núcleo: PCV-B3, PCV-B4 y PCV-B5.

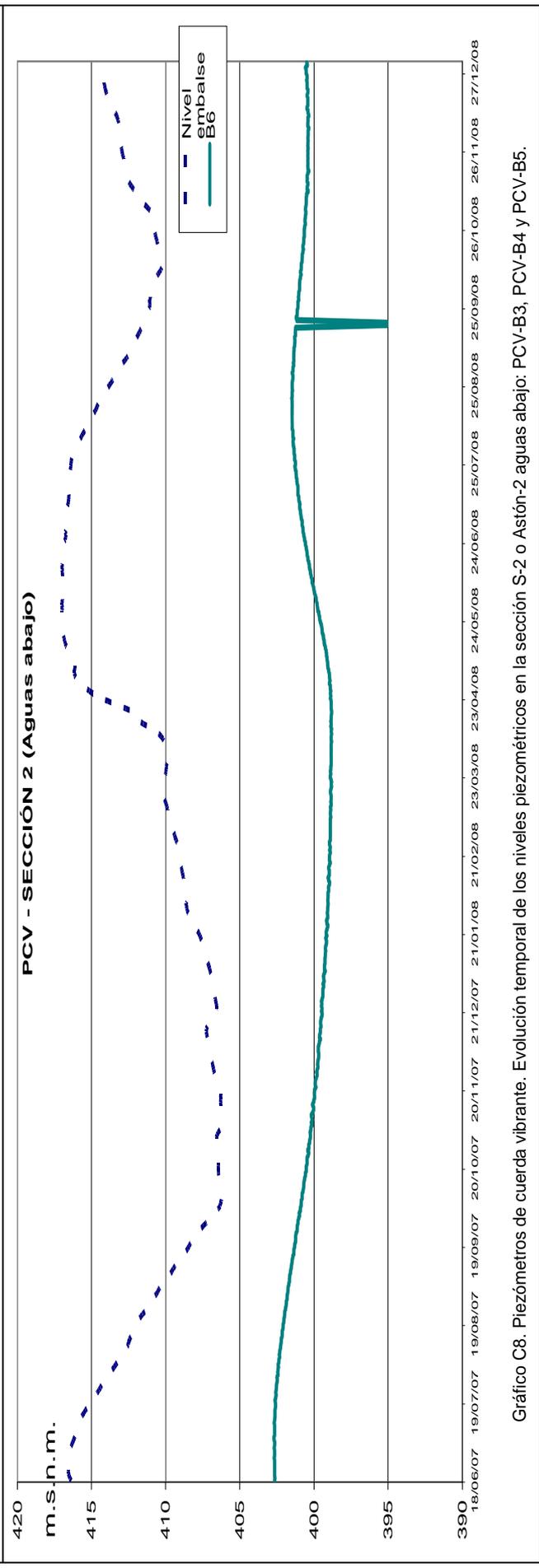


Gráfico C8. Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos en la sección S-2 o Aston-2 aguas abajo: PCV-B3, PCV-B4 y PCV-B5.

### PCV - SECCIÓN 3 (Aguas arriba)

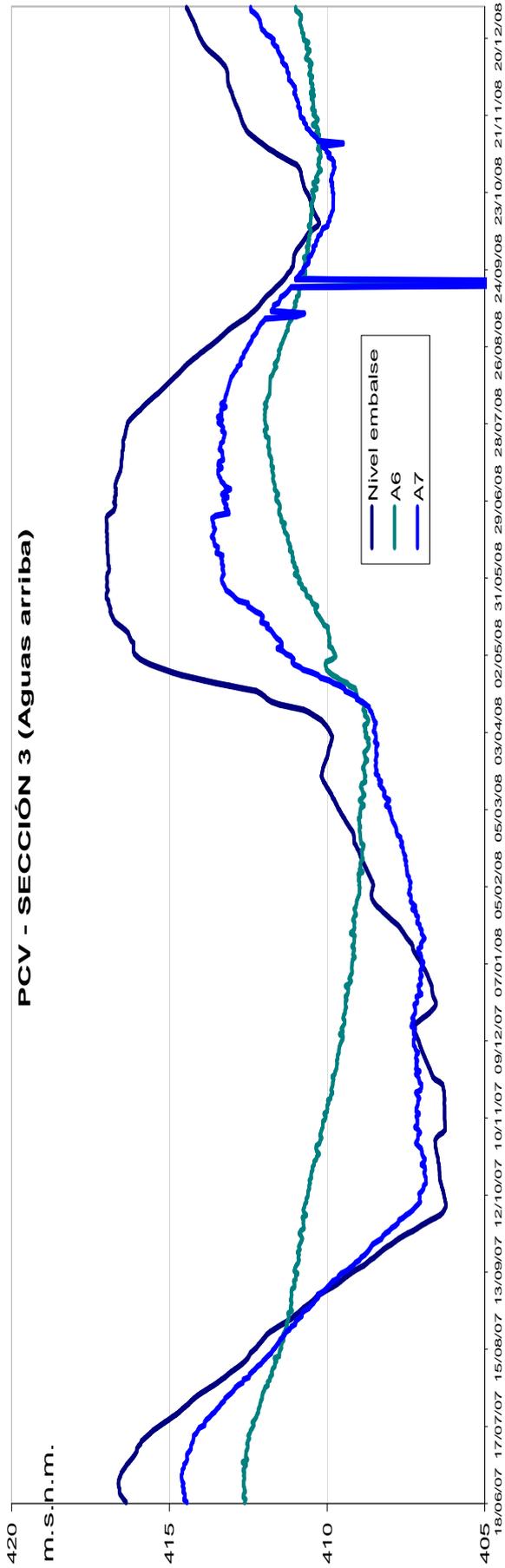


Gráfico C9. Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos en la sección S-3 o Astón-1: PCV-A6 y PCV-A7.

### PCV - SECCIÓN 4 (ALBERCA DE ALCALÁ)

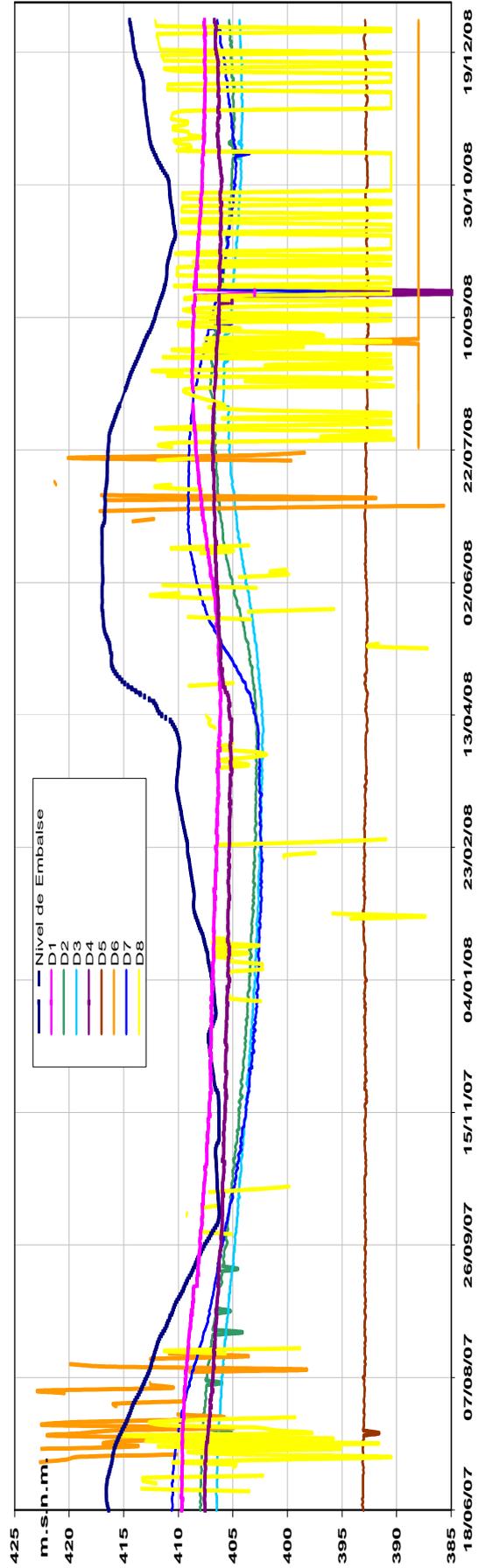


Gráfico C10. Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos en la sección S-4 o Alberca de Alcalá:

PCV-D1, PCV-D2, PCV-D3, PCV-D4, PCV-D5, PCV-D6, PCV-D7 y PCV-D8.

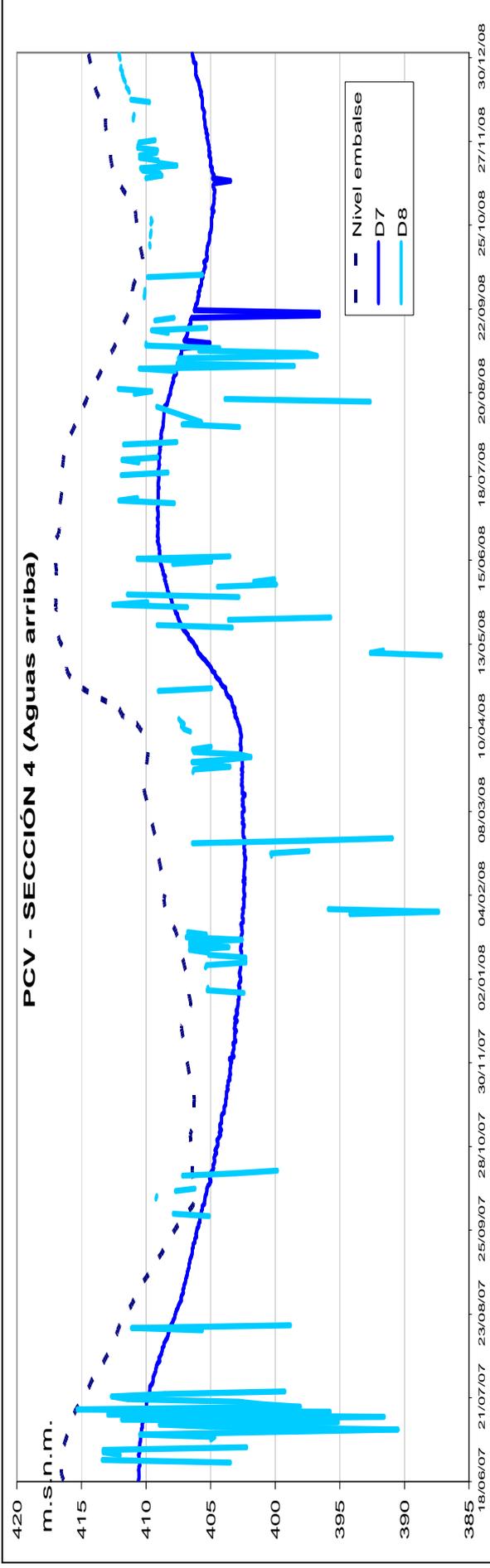


Gráfico C11. Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos en la sección S-4 o Alberca de Alcalá aguas arriba: PCV-D7 y PCV-D8.

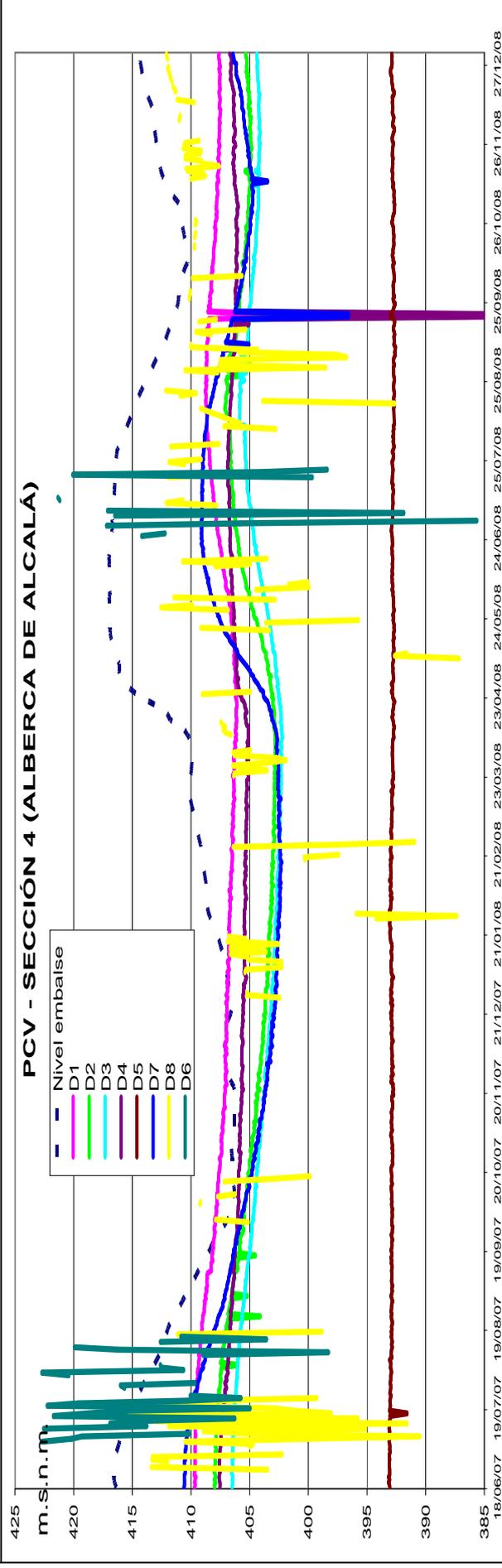


Gráfico C12. Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos en la sección S-4 o Alberca de Alcalá en el núcleo: PCV-D1, PCV-D2, PCV-D3 y PCV-D4.

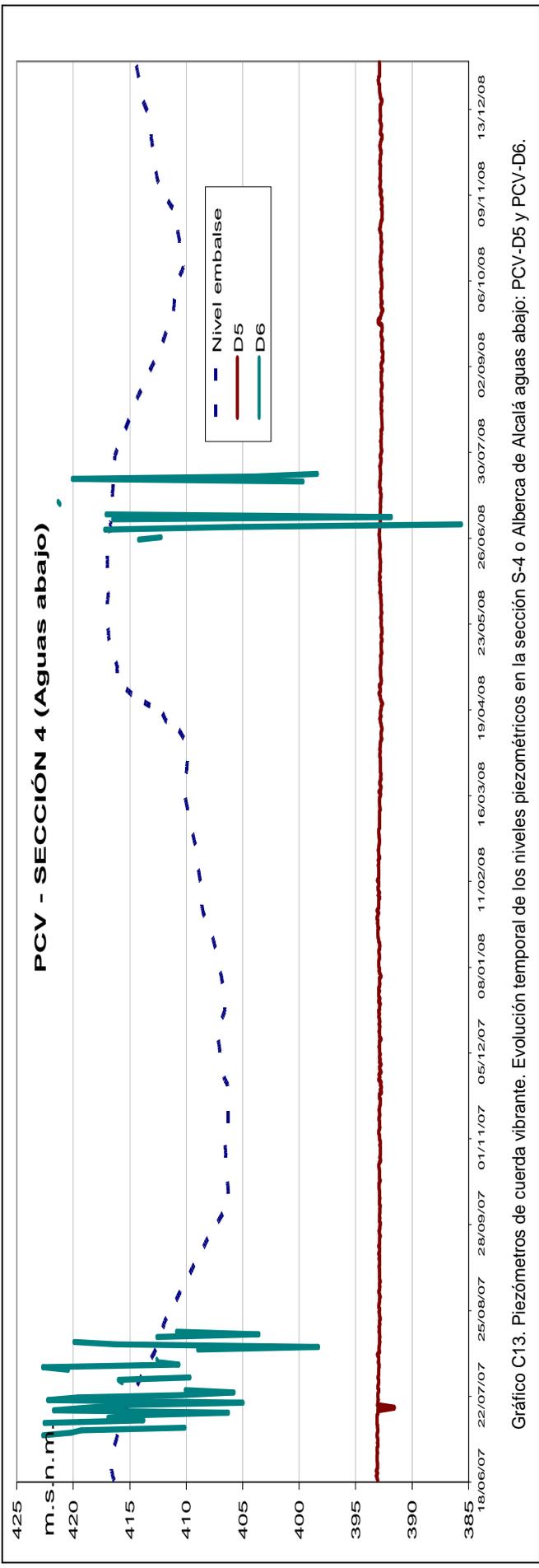


Gráfico C13. Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos en la sección S-4 o Alberca de Alcalá aguas abajo: PCV-D5 y PCV-D6.

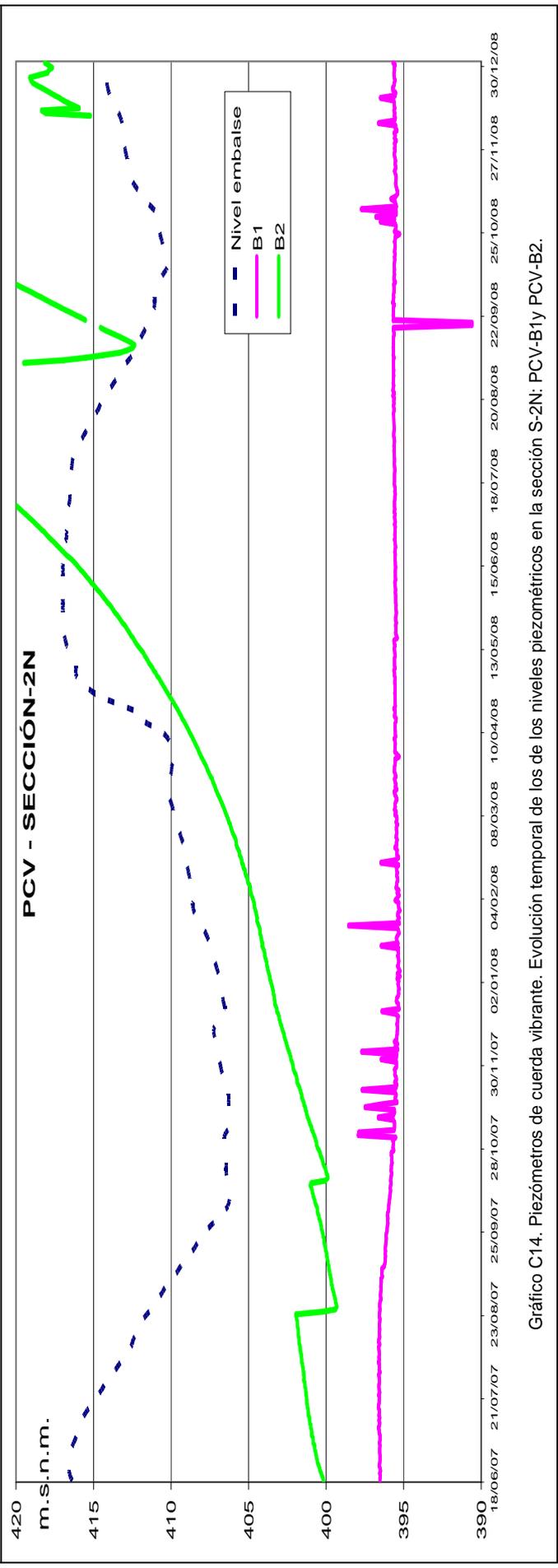


Gráfico C14. Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los de los niveles piezométricos en la sección S-2N: PCV-B1y PCV-B2.

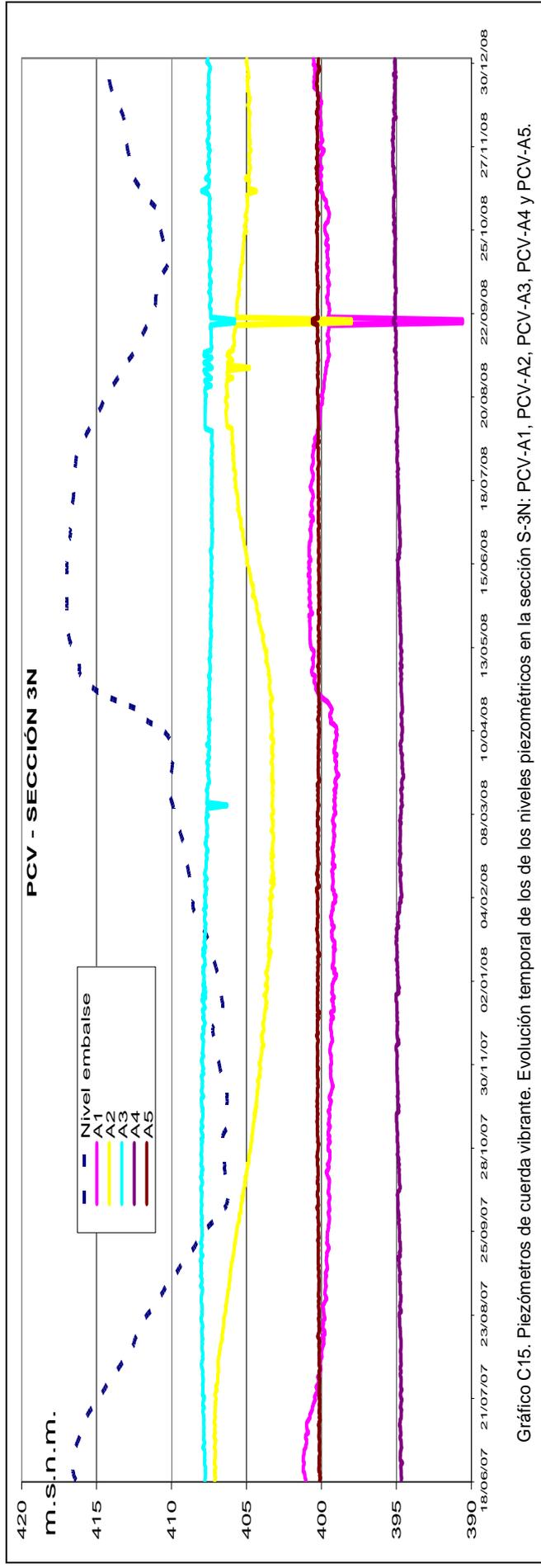


Gráfico C15. Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los de los niveles piezométricos en la sección S-3N: PCV-A1, PCV-A2, PCV-A3, PCV-A4 y PCV-A5.

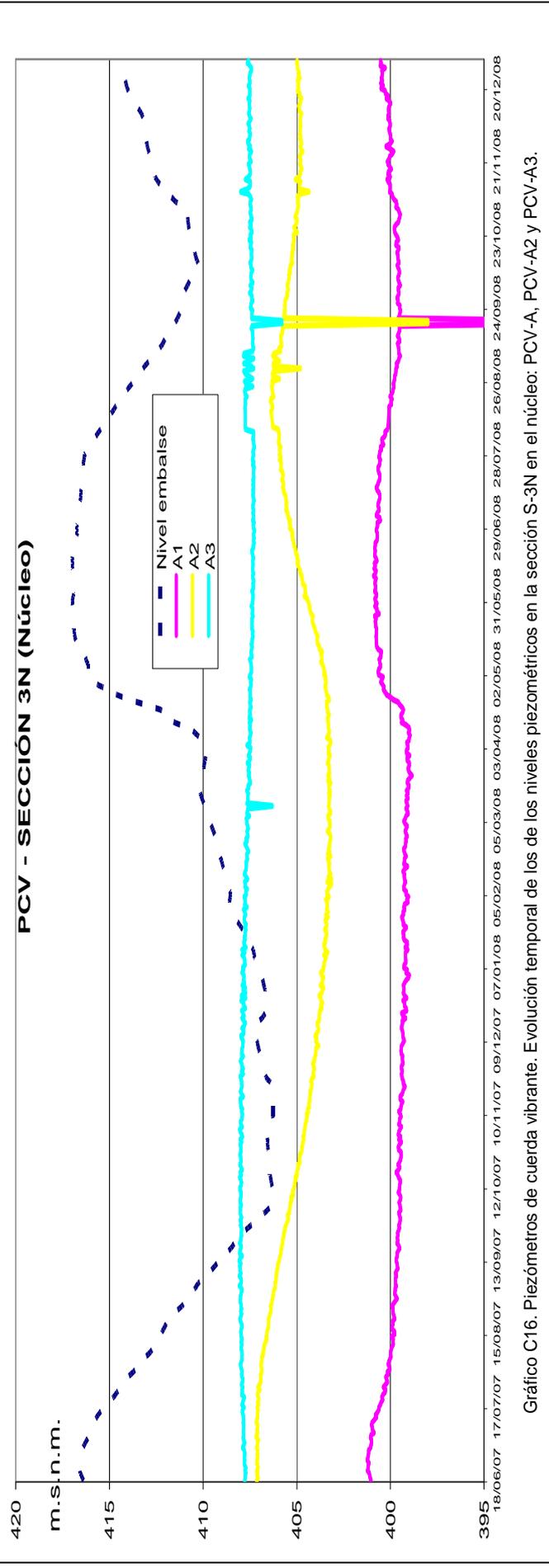


Gráfico C16. Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los de los niveles piezométricos en la sección S-3N en el núcleo: PCV-A, PCV-A2 y PCV-A3.

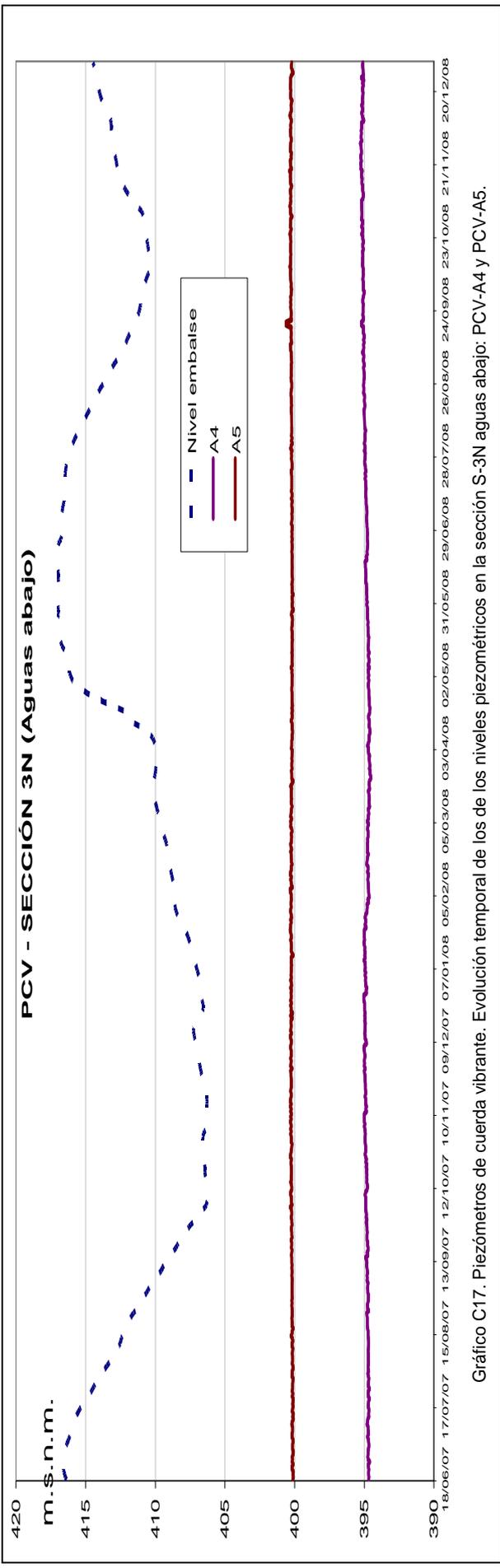


Gráfico C17. Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los de los niveles piezométricos en la sección S-3N aguas abajo: PCV-A4 y PCV-A5.



### **A.3. Anejo 3. CD CON LA BASE DE DATOS**

ADHERIDO A LA PARTE INTERIOR DE LA PORTADA PRINCIPAL SE ADJUNTA UN CD CON EL SIGUIENTE CONTENIDO:

- BASE DE DATOS DE LAS VARIABLES EXTERIORES Y DE CONTROL
- LISTADOS DE DATOS DE LAS VARIABLES EXTERIORES Y DE CONTROL
- LA MEMORIA, FIGURAS Y ANEJOS DEL MISMO

### Anejo 3.

Listados con los datos de auscultación obtenidos desde el  
01.11.91 hasta el 31.12.08

## ÍNDICE DEL ANEJO 3

- 1.NIVELES DEL EMBALSE
- 2.PRECIPITACIONES
- 3.CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES MEDIDOS

## **A.4. Anejo 4: DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA**

## 1. Presa.



Fotografía 1: Vista general de la Presa de La Sotonera.



Fotografía 2: Vista de la presa desde aguas abajo.



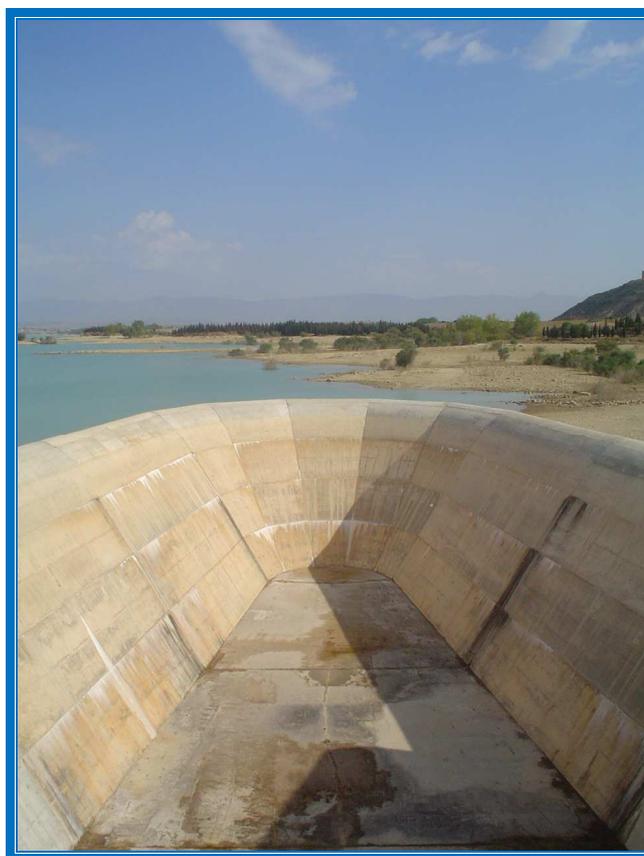
**Fotografía 3:** Vista de la presa desde aguas arriba.



**Fotografía 4:** Paramento de aguas abajo.



Fotografía 5: Embalse.



Fotografía 6: Aliviadero lateral en la margen izquierda.



Fotografía 7: Nueva modificación en la presa.



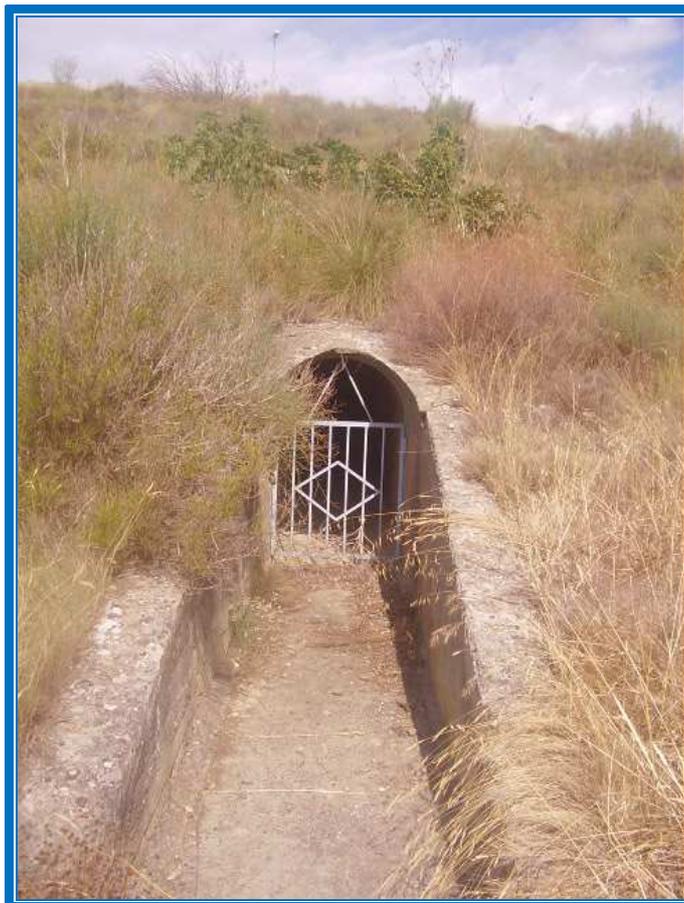
Fotografía 8: Coronación de la presa de La Sotonera.



Fotografía 9: Antigua cauce del río Astón.



Fotografía 10: Desvío al canal de los Monegros.



Fotografía 11: Boca de la galería (cota 404.78 m.s.n.m.).



Fotografía 12: Caseta de válvulas.

## 2. Sistema de auscultación.



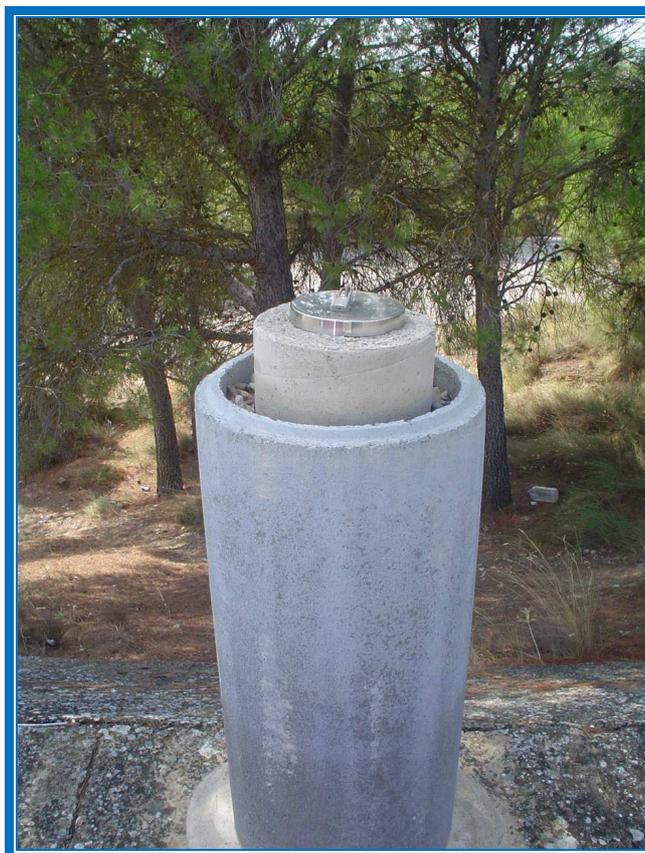
Fotografía 13: Armario de centralización de lecturas de piezómetros de cuerda vibrante.



Fotografía 14: Dren abierto de la berma.



Fotografía 15: Dren seco.



Fotografía 16: Pilar de colimación.



Fotografía 17: Piezómetro abierto.



Fotografía 18: Clavo de nivelación.

## **A.5. Anejo 5. INFORME DE ESTADO DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN DE LA PRESA DE LA SOTONERA**

**CONSULTORÍA Y ASISTENCIA PARA LA ELABORACIÓN DE INFORMES DE  
COMPORTAMIENTO Y REVISIÓN DE LOS SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN Y  
CONTROL, ELEMENTOS HIDROMECÁNICOS E INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y  
PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN DE GESTIÓN DE LAS NORMAS DE  
EXPLOTACIÓN DE LAS PRESAS DE TITULARIDAD ESTATAL EN EXPLOTACIÓN  
DE LA CUENCA DEL EBRO.**

**Clave: 09.803.371/0411**

## **PRESA DE LA SOTONERA**

**INFORME DE ESTADO DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN**

CONSULTORÍA Y ASISTENCIA PARA LA ELABORACIÓN DE INFORMES DE COMPORTAMIENTO Y REVISIÓN DE LOS SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN Y CONTROL, ELEMENTOS HIDROMECAÑICOS E INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN DE GESTIÓN DE LAS NORMAS DE EXPLOTACIÓN DE LAS PRESAS DE TITULARIDAD ESTATAL EN EXPLOTACIÓN DE LA CUENCA DEL EBRO. Clave: 09.803.371/0411

## PRESA DE LA SOTONERA INFORME DE ESTADO DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN

### ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>247</b>
<b>2</b>	<b>MEDIDA DE LAS VARIABLES EXTERIORES.....</b>	<b>249</b>
2.1	MEDIDA DEL NIVEL DE EMBALSE .....	249
2.2	MEDIDA DE VARIABLES METEOROLÓGICAS.....	249
<b>3</b>	<b>MEDIDAS DE LAS VARIABLES DE CONTROL.....</b>	<b>251</b>
3.1	CONTROL PIEZOMÉTRICO .....	252
3.1.1	<i>Descripción del control instalado.....</i>	<i>252</i>
3.1.2	<i>Situación actual.....</i>	<i>258</i>
3.2	CONTROL DE FILTRACIONES.....	258
<b>4</b>	<b>CUADRO RESUMEN DE LA SITUACIÓN DE LOS APARATOS DE AUSCULTACIÓN DE LA PRESA DE LA SOTONERA A FECHA 31/08/2008 .....</b>	<b>259</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>261</b>
<b>6</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>262</b>

## 1 INTRODUCCIÓN

El presente Informe de situación del Sistema de Auscultación se redacta en cumplimiento del contrato:

***“ELABORACIÓN DE INFORMES DE COMPORTAMIENTO Y REVISIÓN DE LOS SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN Y CONTROL, ELEMENTOS HIDROMECAÑICOS E INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN DE GESTIÓN DE LAS NORMAS DE EXPLOTACIÓN DE LAS PRESAS DE TITULARIDAD ESTATAL EN EXPLOTACIÓN DE LA CUENCA DEL EBRO”***

El objetivo de este documento es analizar el estado del sistema de auscultación de la Presa de La Sotenera, describiendo la instrumentación instalada en la presa, indicando sus deficiencias y recomendando posibles actuaciones relativas a dicho sistema, con el fin de que el control de la presa sea lo más completo y útil posible.

La redacción de este Informe se ha basado en la visita que un equipo de ingenieros de la Universidad Politécnica de Valencia, dirigido por el profesor Ignacio Escuder Bueno, realizó a la presa.

La visita tuvo lugar el día 11 de septiembre de 2008, a la cual asistieron:

- Por parte de la Universidad Politécnica de Valencia: Ignacio Escuder Bueno  
Luis García Kabbabe  
Carlos Riera Planells  
José Daniel Rosales Maniglia
- Por parte de la Confederación Hidrográfica del Ebro: (encargado de la presa).

Además de las observaciones hechas en la visita, los datos recogidos y las fotografías tomadas en la misma, la redacción de este informe se ha apoyado en la siguiente información:

- Datos del mantenimiento preventivo del Sistema Automático de Auscultación de la Presa de La Sotonera realizado periódicamente por técnicos de Ofiteco y aclaraciones realizadas por dichos técnicos.
- Documento XYZT de la Presa de La Sotonera (1ª Edición; 1981).
- Auscultación de presas. Presa de La Sotonera (1991).
- Proyecto de Gran Reparación de la presa de La Sotonera (1992).
- Instrumentación Parcial de la presa de La Sotonera. 1ª Fase. Documento Técnico del Sistema. (Geocisa; marzo de 2000).
- Instrumentación Parcial de la presa de La Sotonera. 2ª Fase. Documento Técnico del Sistema. (Geocisa; marzo de 2001).
- 1ª Actualización del Documento XYZT de la presa de La Sotonera. (Euroestudios; noviembre de 2002).
- Instrumentación Parcial de la presa de La Sotonera. 3ª fase. Documento Técnico. (Geocisa; noviembre de 2003).
- Normas de explotación de la Presa de La Sotonera (Euroestudios; diciembre de 2003).
- Plan de emergencia de la Presa de La Sotonera (Euroestudios; diciembre de 2003).
- La visita realizada a la presa el día 11 de septiembre de 2008 (Anejos Nº 4 y Nº 5).

Para mayor claridad en la exposición, el estudio se ha realizado dividiendo los aparatos por tipologías, incluyéndose en el apartado 4 una tabla resumen de la situación de los aparatos que permite dar una impresión global de la situación de la auscultación de la presa de La Sotonera.

## 2 MEDIDA DE LAS VARIABLES EXTERIORES

### 2.1 MEDIDA DEL NIVEL DE EMBALSE

La medición de la cota del nivel de embalse se realiza mediante un equipo neumático instalado en el edificio de las tomas de paramento en la coronación de la presa y consta de los siguientes elementos: equipo compresor, dosificador, sensor y unidad de medida, donde a nivel local se puede visualizar de manera constante la cota del embalse.

El rango de medida está comprendido entre la cota 403.87 m.s.n.m. y la cota 420.00 m.s.n.m., coronación de la presa.

También se puede controlar el nivel del embalse de forma visual mediante la escala que se encuentra dispuesta en tres tramos distintos, según las tomas.

Este equipo está automatizado e incluido en la red del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) del Ebro. Su funcionamiento actual es correcto.

Las instalaciones de la red del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) en el embalse de La Sotenera tiene las siguientes características: código de estación E038; concentrador del que depende: Huesca (PC05); repetidor del que cuelga: Loarre (R051).

### 2.2 MEDIDA DE VARIABLES METEOROLÓGICAS

Para el control de las variables meteorológicas que actúan sobre la presa existe una Estación Meteorológica y una estación automática que está incluida dentro de la red SAIH.

La estación meteorológica manual está instalada en las inmediaciones de la Casa de Administración. Está dotada de los siguientes instrumentos:

- Pluviómetro manual.
- Termómetro de máxima y de mínima diarias.

Dentro del sistema SAIH de la presa están incluidos los siguientes aparatos:

- 1) Pluviómetro automatizado. Permite medir la intensidad de la lluvia y envía datos de precipitaciones cada 5 minutos mediante el Sistema Automático de Información

Hidrológica. Su resolución es de  $0.1 \text{ l/m}^2$  y a nivel local solamente se presenta la lluvia caída en los últimos cinco minutos.

- 2) Temperatura del aire. Dispone de tres (3) termómetros que miden las temperaturas máximas, mínimas y actuales de la temperatura ambiente en tiempo real. Los datos se almacenan quinceminutalmente.

Ambos equipos se encuentran en buen estado de uso y operativos en la actualidad.

### 3 MEDIDAS DE LAS VARIABLES DE CONTROL

Los controles existentes para la observación y seguimiento de la Presa de La Sotonera son los siguientes:

#### 1.- AUSCULTACIÓN HIDRÁULICA.

1. Medición de subpresiones.

#### 2.- DESPLAZAMIENTOS TOTALES.

No se realiza control de los movimientos horizontales ni verticales en el cuerpo de presa.

Así pues, para la materialización o realización de estos controles se instaló la siguiente instrumentación:

- Piezómetros abiertos o hidráulicos. Están constituidos básicamente por una tubería de PVC ranurada, revestida por un filtro de membrana geotextil y un prefiltro de transición, que rodea a este conjunto, formado por gravilla limpia y seleccionada, con tamaños comprendidos entre 3 y 5 mm.
- Piezómetros de cuerda vibrante. Mide la presión del agua monitoreando los cambios en la frecuencia de una cuerda vibrante instalada entre el cuerpo del instrumento y una membrana. La presión del agua o cambios en la presión, es proporcional al cambio en la frecuencia de la cuerda vibrante.
- Automatización del Sistema de Auscultación.

### 3.1 CONTROL PIEZOMÉTRICO

#### 3.1.1 Descripción del control instalado.

##### Instrumentación de auscultación antigua

Desde la fecha de finalización de la presa en el año 1962, se ha implantado un conjunto de secciones de piezómetros abiertos para control de los niveles freáticos en el cuerpo de presa. En la presa de La Sotonera, con anterioridad, se han colocado varios dispositivos que consisten en doce (12) piezómetros abiertos antiguos.

La presa estaba instrumentada en cuatro (4) perfiles transversales: S-1, S-2, S-3, S-4. Estas secciones se encuentran ubicadas en las presas del Sotón, Vacas, Astón y Alberca de Alcalá, respectivamente.

- Sección de control S-1 (se encuentra aproximadamente en el centro de la presa del Sotón).
  - Tres (3) piezómetros abiertos antiguos (1-1, 1-2, 1-3) en la berma de aguas arriba, coronación y en la berma aguas abajo a las cotas 419.09, 420.00 y 407.00 m.s.n.m., respectivamente.

Nº	Perfil transversal	Profundidad (cota m.s.n.m.)	Distancia al eje coronación (m.) Aguas arriba (+) Aguas abajo (-)	Fecha instalación
1-1	S-1	384.00	-16.80	?
1-2	S-1	384.00	+2.00	?
1-3	S-1	384.00	+16.80	?

Tabla. Datos de la instalación de los piezómetros abiertos de la sección de control S-1.

- Sección de control S-2.
  - Tres (3) piezómetros abiertos antiguos (2-1, 2-2, 2-3) dispuestos en la berma de aguas arriba, coronación y en la berma aguas abajo a las cotas 419.09, 420.00 y 407.00 m.s.n.m., respectivamente. Profundizando los tres hasta la cota 384.00 m.s.n.m. El piezómetro (2-2) tiene 6.00 m. de lodo acumulado aproximadamente.

Nº	Perfil transversal	Profundidad (cota m.s.n.m.)	Distancia al eje coronación (m.) Aguas arriba (-) Aguas abajo (+)	Fecha instalación
2-1	S-2	384.00	-6.00	?
2-2	S-2	384.00	+2.00	?
2-3	S-2	384.00	+16.80	?

Tabla. Datos de la instalación de los piezómetros abiertos de la sección de control S-2.

- Sección de control S-3.

- Tres (3) piezómetros abiertos antiguos (3-1, 3-2, 3-3) en la berma de aguas arriba, coronación y en la berma aguas abajo a las cotas 419.09, 420.00 y 407.00 m.s.n.m., respectivamente. La perforación llega hasta la cota 384.00 m.s.n.m. para los tres piezómetros.

Nº	Perfil transversal	Profundidad (cota m.s.n.m.)	Distancia al eje coronación (m.) Aguas arriba (-) Aguas abajo (+)	Fecha instalación
3-1	S-3	384.00	-6.00	?
3-2	S-3	384.00	+2.00	?
3-3	S-3	384.00	+16.80	?

Tabla. Datos de la instalación de los piezómetros abiertos de la sección de control S-3.

- Sección de control S-4 (se encuentra ubicada en la sección transversal central de la presa de la Alberca de Alcalá).

- Tres (3) piezómetros abiertos antiguos (4-1, 4-2, 4-3) que se encuentran en la berma de aguas arriba, en coronación y en la berma aguas abajo a las cotas 419.09, 420.00 y 407.00 m.s.n.m., respectivamente.

Nº	Perfil transversal	Profundidad (cota m.s.n.m.)	Distancia al eje coronación (m.) Aguas arriba (-) Aguas abajo (+)	Fecha instalación
4-1	S-4	384.00	-16.80	?
4-2	S-4	384.00	+2.00	?
4-3	S-4	384.00	+16.80	?

Tabla. Datos de la instalación de los piezómetros abiertos de la sección de control S-4.

### Instrumentación instalada en el año 2000 (fase 1 y 2)

A finales del año 1999, se instalaron dos nuevas secciones de control (S-2N, S-3N) para el seguimiento de las presiones intersticiales y del nivel de agua en el interior del cuerpo de presa, ubicadas en las presas de Vacas y Astón respectivamente. Se instalaron siete (7) piezómetros de cuerda vibrante y cuatro (4) piezómetros abiertos nuevos.

- Sección de control S-2N (ubicada sobre el cauce del río Astón).
  - Dos (2) piezómetros abiertos (2-4, 2-5). Las profundidades alcanzadas son de 36.00 m. y 20.50 m. para los situados en la coronación (2-4) y en la berma (2-5) respectivamente. Al piezómetro de la berma se lo ha profundizado 9.5 m. por debajo del contacto terreno natural – presa debido a la presencia de una afloración de agua que se habría observado al pie del talud de aguas abajo de la presa en esa sección.

- Dos (2) piezómetros de cuerda vibrante (B1, B2). Uno en coronación (B1) y el otro en la berma de aguas abajo (B2), con los sensores colocados a las cotas 390.60 y 387.60 m.s.n.m., respectivamente.

Nº	Perfil transversal	Profundidad (cota m.s.n.m.)	Distancia al eje coronación (m.) Aguas arriba (-) Aguas abajo (+)	Fecha instalación
2-4	S-2N	384.00	+2.00	Enero-2000 (fase1)
2-5	S-2N	386.50	+16.80	Enero-2000 (fase1)
B1	S-2N	390.60	+2.00	Febrero-2001 (fase2)
B2	S-2N	387.60	+16.80	Febrero-2001 (fase2)

Tabla. Datos de la instalación de los elementos de auscultación de la nueva sección de control S-2N.

- Sección de control S-3N (situada entre los cauces de los ríos Vacas y Astón).
  - Dos (2) piezómetros abiertos (3-4, 3-5) en paralelo con los taladros realizados para la instalación de piezómetros de cuerda vibrante. Uno en coronación (3-4) hasta la cota 384.00 m.s.n.m. y otro en la berma de aguas abajo (3-5) hasta la cota 386.50 m.s.n.m.
  - Cinco (5) piezómetros de cuerda vibrante (A1, A2, A3, A4, A5). Tres piezómetros se han situado en un taladro vertical realizado desde coronación de la presa (A1, A2, A3), de las cuales, uno (A3) se encuentra en el contacto con el terreno natural, a 29.4 m. de profundidad desde coronación; otro (A2) en la interfase entre arcillas con gravas y arcillas con bolos y gravas, a unos 22.0 m. de coronación; y el último (A1) en la interfase entre arcillas con bolos y gravas y arcillas con gravas, a 14.2 m. de coronación. Dos piezómetros se han instalado en otro taladro vertical realizado desde la berma superior a cota 407.00 m.s.n.m. del espaldón de aguas abajo (A4, A5): uno (A5) en el contacto con el terreno natural, a 11.8 m de profundidad desde la berma; y el otro (A4) controla desde la berma a la cota 400.60 m.s.n.m. puntos intermedios.

Nº	Perfil transversal	Profundidad (cota m.s.n.m.)	Distancia al eje coronación (m.) Aguas arriba (-) Aguas abajo (+)	Fecha instalación
3-4	S-3N	384.00	+2.00	Enero-2000
3-5	S-3N	386.50	+16.80	Enero-2000
A1	S-3N	390.60	+2.00	Enero-2000
A2	S-3N	398.00	+2.00	Enero-2000
A3	S-3N	405.80	+2.00	Enero-2000
A4	S-3N	400.60	+16.80	Enero-2000
A5	S-3N	395.20	+16.80	Enero-2000

Tabla. Datos de la instalación de los elementos de auscultación de la nueva sección de control S-3N.

### Instrumentación instalada en el año 2003 (fase 3)

En la presa de La Sotenera, con anterioridad, se habían instalado varios dispositivos que consisten en: siete (7) piezómetros de cuerda variante y cuatro (4) piezómetros abiertos.

Con el objetivo de completar la instrumentación existente en la presa, se han colocado veinticuatro (24) nuevos piezómetros de cuerda vibrante y dos (2) piezómetros abiertos, dispuestos en cuatro (4) secciones. Las secciones se han llamado Sotón (S-1), Astón 1 (S-3), Astón 2 (S-2) y Alberca de Alcalá (S-4) según los ríos que regulan el embalse.

En cada sección se han realizado las instalaciones a partir de perforaciones emplazadas en la berma de aguas arriba, en coronación o bien en la berma de aguas abajo.

- Sección Sotón ó S-1. Se han instalado ocho (8) piezómetros de cuerda vibrante y un (1) piezómetro abierto (convencional).
  - Dos (2) piezómetros de cuerda vibrante (C7, C8) en un taladro vertical realizado desde la berma del espaldón aguas arriba, cota 419.09 m.s.n.m. El piezómetro C7 está situado en hormigón de arcillas a una profundidad de 17.50 m. y el C8 se encuentra en contacto con el terreno natural a una profundidad de 22.40 m.
  - Cuatro (4) piezómetros de cuerda vibrante (C1, C2, C3, C4) en un taladro vertical realizado desde coronación de la presa, a la cota 420.00 m.s.n.m. El piezómetro C1 se encuentra en el contacto entre la arcilla y el hormigón de arcilla a 15.50 m. de profundidad; el C2 está en hormigón de arcilla a 25 m. de profundidad; el C3 está en el contacto entre la arcilla y el terreno natural representado por margas a profundidad de 33.75 m.; el C4 se ha ubicado a una profundidad de 38.0 m. en terreno natural.
  - Dos (2) piezómetros de cuerda vibrante (C5, C6) en un tercer taladro vertical realizado desde la berma superior del espaldón aguas abajo, cota 407.00 m.s.n.m. El piezómetro C5 está situado en el contacto entre el hormigón de arcilla y las margas que constituyen el terreno natural a una profundidad de 19.0 m. desde la berma y el C6 se encuentra anclado en las margas a una profundidad de 24.40 m.
  - Un (1) piezómetro convencional (1-4) colocado en sondeos verticales en la coronación a la cota 420.00 m.s.n.m. a una profundidad de 38.50 m.
  
- Sección Astón 2 ó S-2. Está situada a una distancia de 1225 m. de la sección de Sotón. Como hemos visto anteriormente, en el año 2001 se instalaron dos (2) piezómetros de cuerda vibrante (B1, B2). Se han instalado seis (6) piezómetros de cuerda vibrante.
  - Dos (2) piezómetros de cuerda vibrante (B7, B8) instalados en un taladro vertical realizado desde la berma del espaldón de aguas arriba a la cota 414.09 m.s.n.m. El

B7 está a una profundidad de 12 m. en hormigón de arcilla y el B8 está situado en el contacto entre el hormigón de arcilla y las margas a 15 m. de profundidad.

- Tres (3) piezómetros de cuerda vibrante (B3, B4, B5) en el sondeo vertical de la coronación. El piezómetro B3 está a una profundidad de 15.05 m. en el contacto entre la arcilla y el hormigón de arcilla; el B4 ubicado en hormigón de arcilla en la cota 400.3 m.s.n.m.; el B5 en el contacto entre el hormigón de arcilla y el terreno natural a 27.5 m. de profundidad.
- Un (1) piezómetro de cuerda vibrante (B6) ubicado en el sondeo vertical aguas abajo a 11.90 m. de profundidad en el contacto entre el hormigón de arcilla y el terreno natural.
- Astón 1 ó S-3. Está situada a una distancia de 400 m. de la sección de Astón 2. Como hemos visto anteriormente, en el año 2000 se instalaron cinco (5) piezómetros de cuerda vibrante (A1, A2, A3, A4, A5). Ahora se han instalado dos (2) nuevos piezómetros de cuerda vibrante.
  - Dos (2) piezómetros de cuerda vibrante (A6 y A7) en un sondeo vertical aguas arriba. El A6 en hormigón de arcilla a 8.10 m. de profundidad y el A7 en el contacto entre el hormigón de arcilla y las margas a 15.50 m. de profundidad.
- Alberca de Alcalá ó S-4. Está situada a 1225 m. de distancia de la sección de Astón 1. Está compuesta por tres sondeos verticales: en coronación, aguas arriba y aguas abajo. Se han dispuesto ocho (8) piezómetros de cuerda vibrante y un (1) piezómetro abierto.
  - Dos (2) piezómetros de cuerda vibrante (D7, D8) en el taladro situado aguas arriba. El piezómetro D7 en hormigón de arcilla a 17.50 m. de profundidad y el D8 en el contacto entre el hormigón de arcilla y el terreno natural a 23.50 m.
  - Cuatro (4) piezómetros de cuerda vibrante (D1, D2, D3, D4) instalados en el sondeo de coronación. El D1 en el contacto entre arcilla y el hormigón de arcilla a una profundidad de 17 m.; el D2 en hormigón de arcilla a una profundidad de 24.30 m.; el D3 en el contacto entre el hormigón de arcilla y el terreno natural a 31.50 m.; el D4 anclado en margas a 35.75 m.
  - Dos (2) piezómetros de cuerda vibrante (D5 y D6) en el sondeo vertical realizado desde la berma superior del espaldón aguas abajo. El D5 en hormigón de arcilla a 14 m. de profundidad y el D6 en el contacto entre el hormigón de arcilla y el terreno natural a 19 m. de profundidad.

- o Un (1) piezómetro convencional (4-4) colocado en sondeos verticales en la coronación a la cota 420.00 m.s.n.m. a una profundidad de 37.00 m.

Nº	Sección	Distancia aprox (m.)	Cota fin del sondeo (m.s.n.m.)	Piezómetro	Cota colocación piezómetro (m.s.n.m.)
3	ASTÓN 1 Aguas arriba	400	397.24	A6	405.90
				A7	398.50
2	ASTÓN 2 Aguas arriba	1225	390.09	B7	402.09
				B8	399.09
	ASTÓN 2 Coronación		390.00	B3	404.95
				B4	400.30
				B5	392.50
ASTÓN 2 Aguas abajo	393.40	B6	395.10		
1	SOTÓN Aguas arriba	820	385.09	C7	396.59
				C8	391.69
	SOTÓN Coronación		381.00	C1	404.50
				C2	395.00
				C3	386.25
				C4	382.00
	SOTÓN Aguas abajo		381.50	C5	388.00
				C6	382.60
SOTÓN Coronación	381.50	Piezómetro abierto (1-4)	381.50		
4	ALBERCA Aguas arriba	550	389.29	D7	396.59
				D8	390.50
	ALBERCA Coronación		383.30	D1	403.00
				D2	395.70
				D3	388.50
				D4	384.25
	ALBERCA Aguas arriba		386.50	D5	393.00
				D6	388.00
ALBERCA Coronación	383.00	Piezómetro abierto (4-4)	383.05		

Tabla. Datos de todos los dispositivos de auscultación instalados en el año 2003.

En resumen, el número de aparatos instalados en el conjunto de la presa son:

- 31 piezómetros de cuerda vibrante: dos (2) piezómetros en la sección Astón 1 ó S-3 (A6, A7), seis (6) en la sección Astón 2 ó S-2 (B3, B4, B5, B6, B7, B8), ocho (8) en la sección Sotón ó S-1 (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8), ocho (8) en la sección Alberca de Alcalá ó S-4 (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8), dos (2) en la sección S-2N (B1, B2) y cinco (5) en la sección S-3N (A1, A2, A3, A4, A5).
- 18 piezómetros abiertos: tres (3) piezómetros (3-1, 3-2, 3-3) en la sección Astón 1 ó S-3, tres (3) en la sección Astón 2 ó S-2 (2-1, 2-2, 2-3), cuatro (4) en la sección Sotón ó S-1 (1-1, 1-2,

1-3, 1-4), cuatro (4) en la sección Alberca de Alcalá ó S-4 (4-1,4-2, 4-3, 4-4), dos (2) en la sección S-2N (2-4, 2-5) y dos (2) en la sección S-3N (3-4, 3-5).

<i>APARATOS DE AUSCULTACIÓN</i>	<i>Sección ASTÓN 1 ó S-3</i>	<i>Sección ASTÓN 2 ó S-2</i>	<i>Sección SOTÓN ó S-1</i>	<i>Sección ALBERCA ó S-4</i>	<i>Sección S-2N</i>	<i>Sección S-3N</i>	<i>TOTAL</i>
<i>Piezómetros de cuerda vibrante</i>	2	6	8	8	2	5	31
<i>Piezómetros abiertos</i>	3	3	4	4	2	2	18

Tabla. Resumen de los aparatos de auscultación instalados en la presa de La Sotonera.

### 3.1.2 Situación actual.

Los piezómetros de cuerda vibrante C7 y C8, que se encuentran en la sección S-1 ó Sotón, no suministran valores coherentes. Además la remota indica mediante un código, que son valores erróneos.

Otros piezómetros de cuerda vibrante como el C4, B4, D6 y D8, alteran lecturas buenas con malas.

Aparte de los sensores PCV-C7 y PCV-C8, que están estropeados, todos los piezómetros de cuerda vibrante funcionan correctamente aportando datos a través del sistema automático.

Algunos piezómetros convencionales presentan lecturas defectuosas porque durante cortos periodos de tiempo se han llenado de barro o de agua. Pero por lo general, se leen regularmente de forma idónea desde el 26.11.91 hasta el 22.12.08. Actualmente se consideran todos operativos.

## 3.2 CONTROL DE FILTRACIONES

No hay ningún elemento para el control de las filtraciones.

Hace tiempo había, por cada emisario un aforador o vertedero de pared delgada, por un total de tres (3) aforadores. Debido al pésimo estado de las galerías de drenaje, que prácticamente no recogen agua de filtraciones por los emisarios, no se vierte caudal apreciable.

En la actualidad no existen estos aforadores, de manera que no se controlan las filtraciones. Sin embargo, según se aprecia, las filtraciones recogidas por estos emisarios son mínimas y casi no existen, deduciéndose que el sistema de recogida de las filtraciones no funciona o está colapsado.

#### **4 CUADRO RESUMEN DE LA SITUACIÓN DE LOS APARATOS DE AUSCULTACIÓN DE LA PRESA DE LA SOTONERA A FECHA 31/08/2008**

Con todos los aspectos analizados en los epígrafes precedentes, se ha confeccionado la tabla resumen. En ella se informa de la situación de todos los aparatos instalados en la presa de La Sotonera a fecha 31/08/2008, dando como resultado final que un 91.07% del número total de sensores instalado a lo largo de diferentes periodos en la presa continua operativo en la actualidad.

**PRESA DE LA SOTONERA**  
**ESTADO DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN EXISTENTE A FECHA 31/12/2008**

VARIABLE AUSCULTADA	SENSOR	GRUPO	Nº TOTAL		Nº SENSORES		% SENSORES OPERATIVOS SOBRE EL TOTAL
			SENSORES	OPERATIVOS	NO OPERATIVOS	OPERATIVOS	
Nivel de embalse	Balanza neumática (SAIH) y escala graduada	Variables exteriores	2	2	0	0	100%
Temperatura ambiente	Termómetro manual y automático (SAIH)	Variables exteriores	2	2	0	0	100%
Precipitación acumulada	Pluviómetro manual y automático (SAIH)	Variables exteriores	2	2	0	0	100%
Caudales y filtraciones	Aforadores de pared delgada	Variables de control	3	0	3	3	0%
Presiones intersticiales	Piezómetros abiertos	Variables de control	18	18	0	0	100%
	Piezómetros de cuerda vibrante	Variables de control	31	29	2	2	93.55%
<b>TOTAL PUNTOS DE CONTROL:</b>			<b>58</b>	<b>53</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>91%</b>

Tabla. Situación del sistema de auscultación instalado en la presa de La Sotonera el día 31/12/2008.

## 5 CONCLUSIONES

Se puede decir que en general el sistema de auscultación existente en la presa de La Sotonera se encuentra en buen estado, aunque presenta carencias que se han ido señalando en los capítulos anteriores. Con todo es pertinente destacar, a modo de conclusión del presente anejo, algunos aspectos importantes:

- 1) Actualmente los piezómetros de cuerda vibrante C7 y C8 instalados en la sección Sotón ó S-1 suministran lecturas incoherentes y aportan datos erróneos. Se consideran dispositivos no operativos. La remota hace mención de estos fallos.
- 2) Existen piezómetros de cuerda vibrante, como el C4, B4, D6 y D8, que alternan lecturas buenas con malas.
- 3) Algunos piezómetros convencionales presentan lecturas defectuosas porque en un periodo de tiempo se han llenado de barro o de agua. Pero por lo general, se leen regularmente de forma idónea.
- 4) En la actualidad no existen los aforadores de pared delgada que había tiempo atrás, de manera que no se controlan las filtraciones. Sin embargo, según se aprecia, las filtraciones recogidas por los emisarios son mínimas y casi no existen, deduciéndose que el sistema de recogida de las filtraciones no funciona o está colapsado.

Para corregir las deficiencias que se han encontrado en el sistema de auscultación de la presa, se plantean una serie de recomendaciones en el siguiente capítulo.

## 6 RECOMENDACIONES

Se dan las siguientes recomendaciones:

- Sustituir o arreglar los piezómetros de cuerda vibrante C7 y C8. En particular arreglar el fallo de la remota.
- Prestar especial atención a los valores que suministran los piezómetros de cuerda vibrante C4, B4, D6 y D8, que alternan lecturas buenas con malas.
- Instalar aforadores para volver a controlar las filtraciones a través de la presa y los estribos, como se hacía anteriormente.
- Realizar un mantenimiento de la galería de drenaje. En la actualidad, el acceso a la galería es inviable, porque lo que es imposible realizar una visita en el interior de la misma.

Valencia, junio de 2009.

## **A.6. ANEJO Nº 6. MODELACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS DATOS DE AUSCULTACIÓN**

**ANEJO Nº 6. MODELACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS DATOS DE AUSCULTACIÓN****ÍNDICE**

1. OBJETO Y ALCANCE.....	265
2. PLANTEAMIENTO DE LA MODELACIÓN .....	266
3. MODELACIÓN ESTADÍSTICA.....	267
3.1 SUBPRESIONES .....	267
3.1.1 Piezómetros de cuerda vibrante (PCV). .....	267
3.1.1.1 PCV en la sección de control S-1 o Sotón.....	267
3.1.1.2 PCV en la sección de control S-2 o Astón-2.....	278
3.1.1.3 PCV en la sección de control S-3 o Astón-1.....	291
3.1.1.4 PCV en la sección de control S-4 o Alberca de Alcalá.....	295
3.1.1.5 PCV en la sección de control S-2N. ....	308
3.1.2.1 Piezómetros abiertos en la sección de control S-1 o Sotón.....	320
3.1.2.2 Piezómetros abiertos en la sección de control S-2 o Astón-2.....	326
3.1.2.3 Piezómetros abiertos en la sección de control S-3 o Astón-1.....	332
3.1.2.4 Piezómetros abiertos en la sección de control S-4 o Alberca de Alcalá.....	338
3.1.2.5 Piezómetros abiertos en la sección de control S-2N. ....	346
3.1.2.6 Piezómetros abiertos en la sección de control S-3N. ....	351
4. RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	355
 APÉNDICE 1: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MODELACIÓN ESTADÍSTICA	357
A1.1 INTRODUCCIÓN.....	357
A1.2 DATOS .....	357
A1.3 JUSTIFICACIÓN Y METODOLOGÍA DE APLICACIÓN.....	359
A1.3.1 Creación del modelo .....	360
A1.3.2 Identificación de los coeficientes.....	362
A1.3.3 Contraste del modelo y obtención del índice de tolerancia.....	363
A1.3.4 Estudio de tendencias.....	364
REFERENCIAS .....	367

## 1. OBJETO Y ALCANCE

El objeto del presente Anejo a la Memoria consiste en la presentación detallada de todos los trabajos de modelación numérica de tipo estadística determinista realizados entre enero de 2003 y diciembre de 2008.

Resulta de especial interés el hecho de que el embalse a principios de otoño de cada año registra el nivel mínimo anual a una cota media de aproximadamente 406 m.s.n.m. a partir de entonces sube 8-12 m. hasta alcanzar un nivel cerca de los 417 m.s.n.m. a finales de otoño. En invierno y primavera se mantiene un nivel aproximadamente de 417.00 m.s.n.m. con pocas variaciones y muy cerca del máximo normal (417.50 m.s.n.m.) hasta finales de mayo. En verano el nivel de embalse baja aproximadamente 8-15 m. hasta alcanzar el nivel mínimo anual, completándose un ciclo de carga de casi 12 metros.

Establecidos unos criterios generales de modelización, para cada una de las series de datos estudiada y según las directrices establecidas (APÉNDICE 1), se aporta la representación gráfica del modelo ajustado, una tabla resumen con los valores obtenidos de los coeficientes así como los gráficos que muestran la repercusión de las variaciones de nivel de embalse, sobre la variable de control. Adicionalmente, se estima la tendencia de dicha variable de control a través de la contabilización del conjunto de los efectos irreversibles.

Por último, a partir de todos los modelos numéricos confeccionados, se lleva a cabo una evaluación del comportamiento de la presa a través de la interpretación ingenieril de los resultados de los modelos.

## 2. PLANTEAMIENTO DE LA MODELACIÓN

El estudio de la series de datos mediante modelación estadística se aborda de manera completa para varias secciones transversales consideradas representativas del comportamiento de la presa (S-1, S-2, S-3, S-4, S-2N, S-3N), así como para una serie de variables asociadas a las estructuras, las interacciones de éstas con el cuerpo de presa y las filtraciones a través de cimiento y cuerpo de presa.

Los modelos han sido realizados siguiendo la metodología establecida en el APÉNDICE 1 y presentan las siguientes características comunes:

- El tiempo origen de los efectos irreversibles (asociados fundamentalmente a fenómenos de fluencia) se ha establecido en el 1 de Noviembre de 1991, fecha en la que se tienen los primeros datos de variables exteriores (nivel de embalse).
- El tiempo de comienzo del cálculo varía para cada dispositivo de auscultación. Se ha considerado en la primera fecha de valores para cada aparato. En los piezómetros de cuerda vibrante se ha establecido a partir de junio de 2007 (fecha en la que se tienen los primeros datos automáticos), de manera que pueda considerarse el comportamiento de los sensores sin influencia alguna de la propia construcción de la presa (elevación de tongadas, paso de maquinaria pesada, etc.).
- El período de contraste se ha establecido a dos terceras (2/3) partes del periodo de tiempo del que se disponen datos de cada variable de control.

### 3. MODELACIÓN ESTADÍSTICA

A continuación se presentan detalladamente todos los trabajos de modelación numérica de tipo estadística determinista realizados entre 1991 y 2008, haciendo hincapié en los últimos cinco años.

En los dispositivos de auscultación que no aparece la gráfica ajustada del efecto irreversible por el paso del tiempo o la gráfica de efecto térmico quiere decir que no existe o que es despreciable.

Además si la modelación no ha sido correcta por saltos injustificados en los valores o datos erróneos, no se presentará la tabla de resultados numéricos.

#### 3.1 SUBPRESIONES

##### 3.1.1 Piezómetros de cuerda vibrante (PCV).

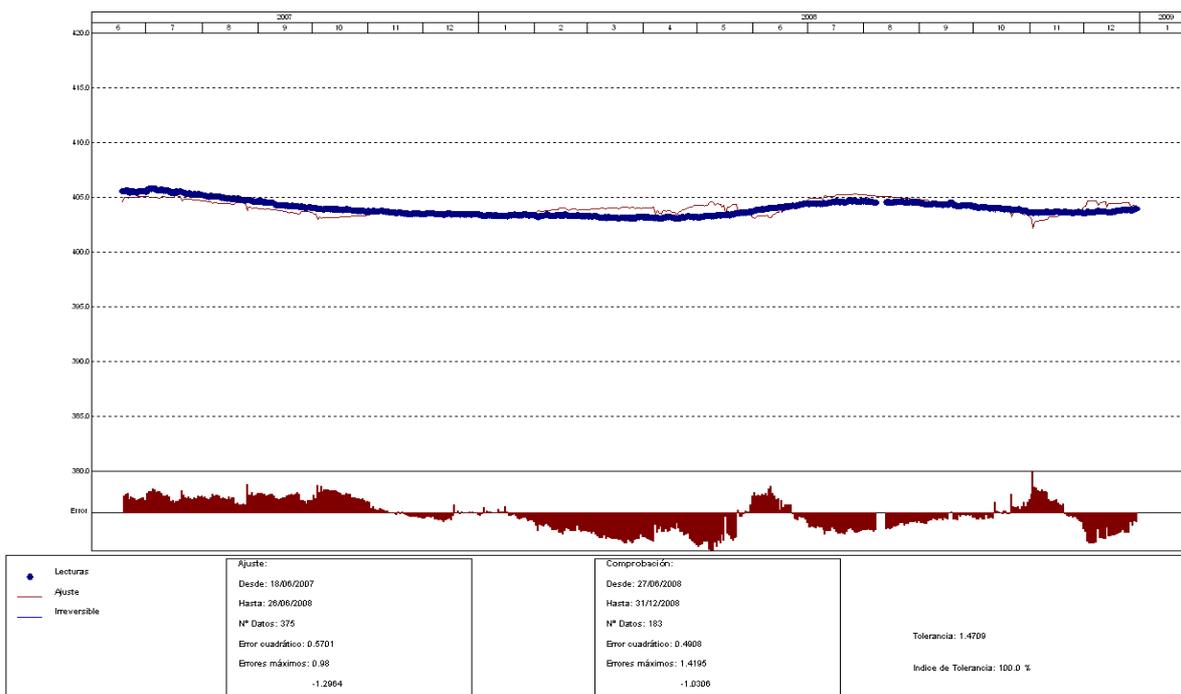
Los modelos estadísticos de los valores que suministran los piezómetros de cuerda vibrante en las diferentes secciones no son buenos. Esto se debe, probablemente, a que la serie de datos histórica en los piezómetros de cuerda vibrante es corta desde un punto de vista estadístico; los mismos datan desde mediados del 2007 hasta finales del 2008, y con ellos no es posible modelar correctamente los ciclos anuales.

##### 3.1.1.1 PCV en la sección de control S-1 o Sotón.

###### PCV-C1

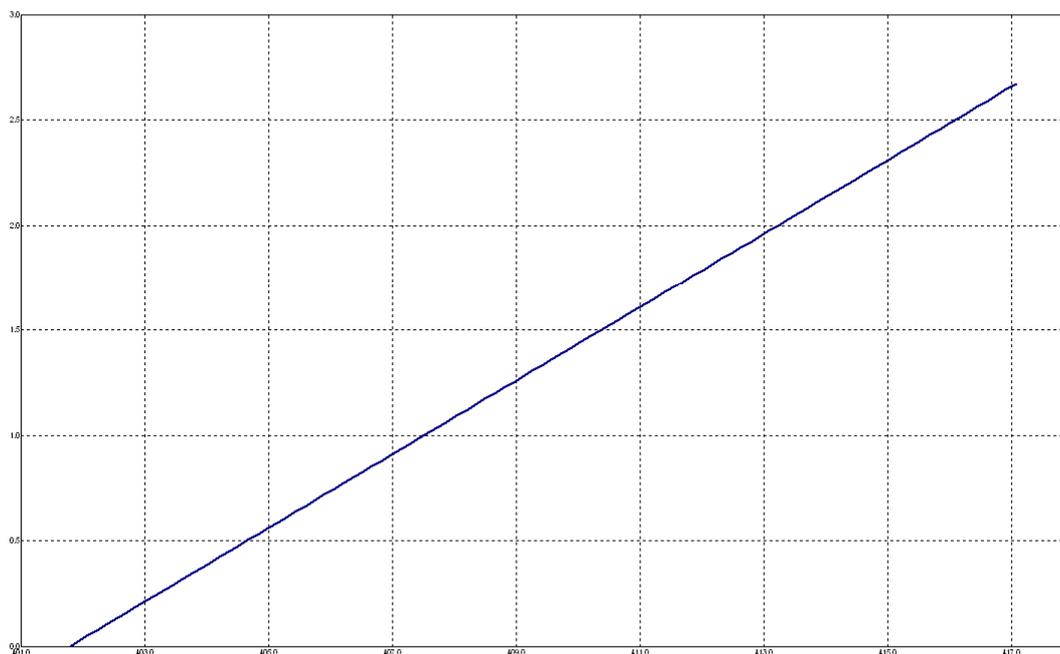
PRESA: La Sotonera  
MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-C1

Unidades:



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-C1

Unidades



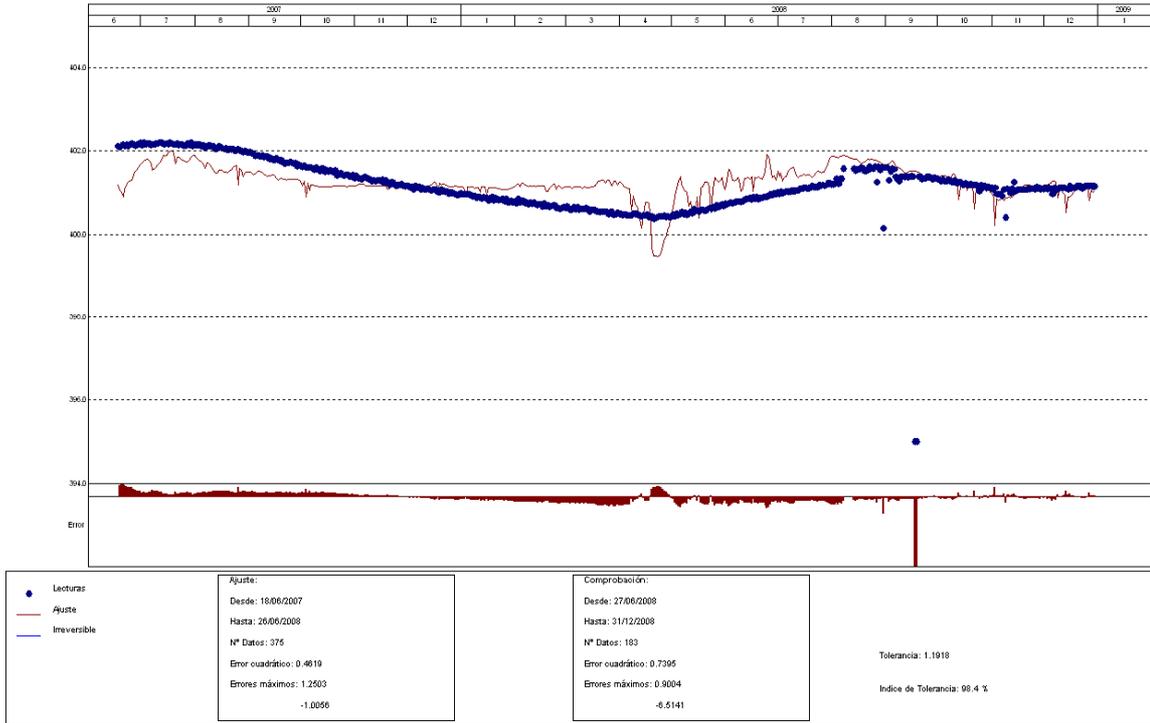
0.00 (m)

PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: PCV-C1		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coefficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	18/06/2007 al 26/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 375
1-e <sup>-(tiempo/365)</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	2.67357	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.5701142
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 0.980011
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -1.296417
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 1.470895
cos(2*PT)	0.000	
TD-TDC	0.000	Período de Comprobación
TMM-TMMC	0.000	27/06/2008 al 31/12/2008
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 183
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.4907966
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 1.419464
LL	-1.96136	Error Máximo negativo: -1.030609
LLMM	-43.14509	Indice de Tolerancia: 100 %
T. independiente	402.8409	

### PCV-C2

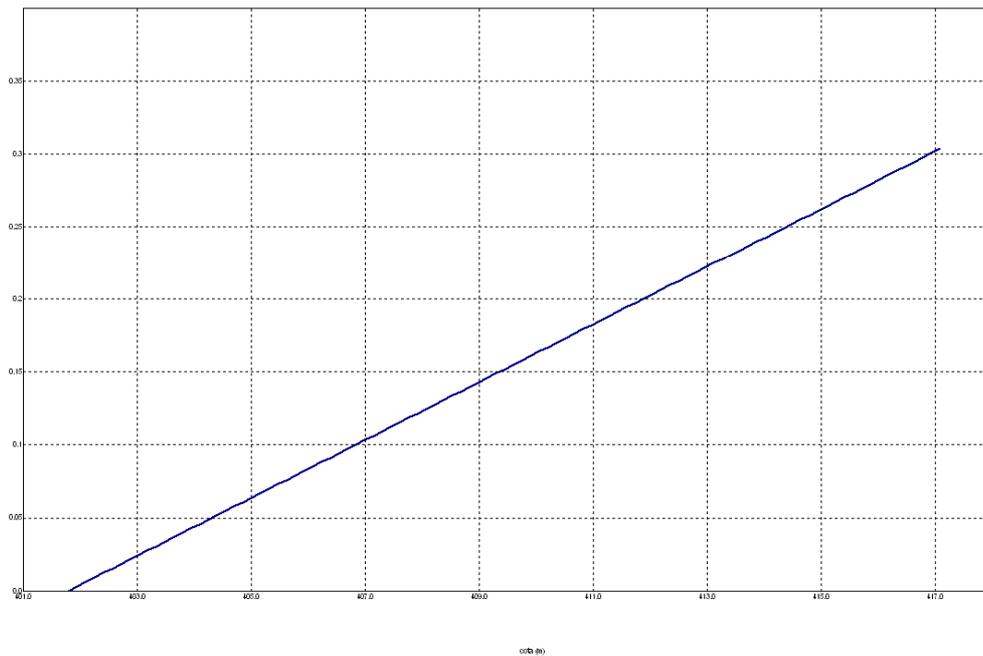
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-C2

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-C2

Unidades

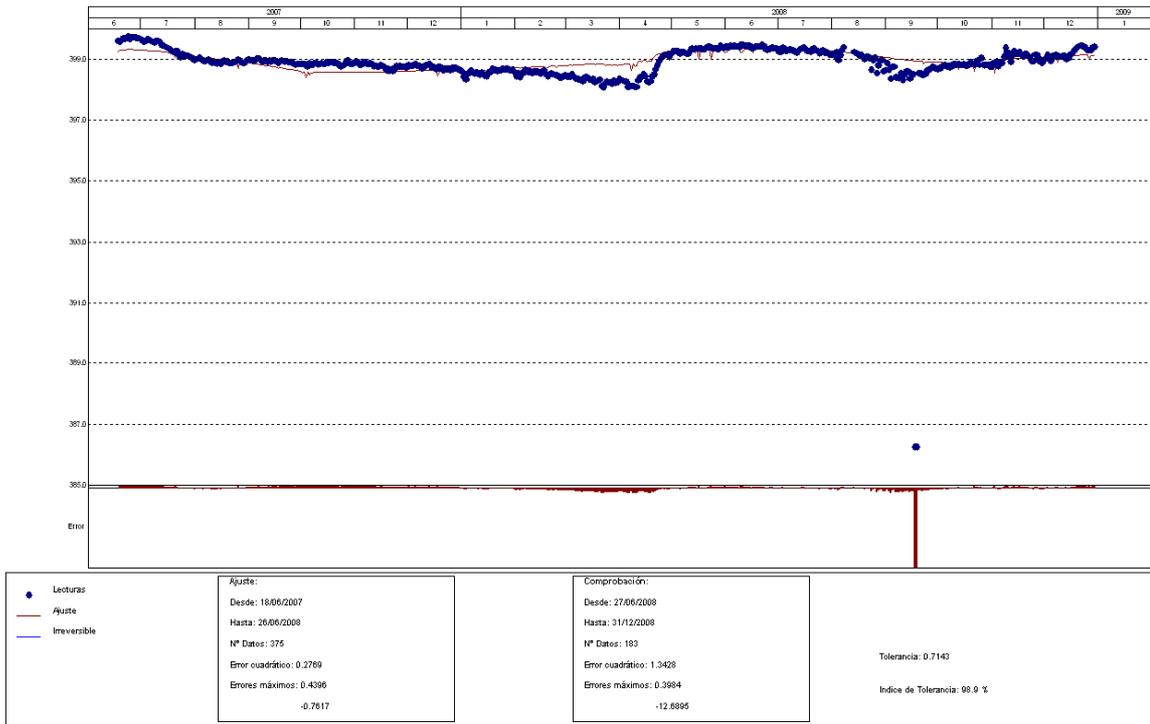


PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: PCV-C2		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coefficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	18/06/2007 al 26/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 375
1-e <sup>(-tiempo/365)</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	0.3035	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	-36.46289	Error cuadrático: 0.4619404
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 1.250336
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -1.005646
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 1.191806
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	27/06/2008 al 31/12/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 183
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 0.73945
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 0.9004211
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: -6.51413
LL	-2.53722	Indice de Tolerancia: 98.36066 %
LLMM	0.000	
T. independiente	401.0699	

### PCV-C3

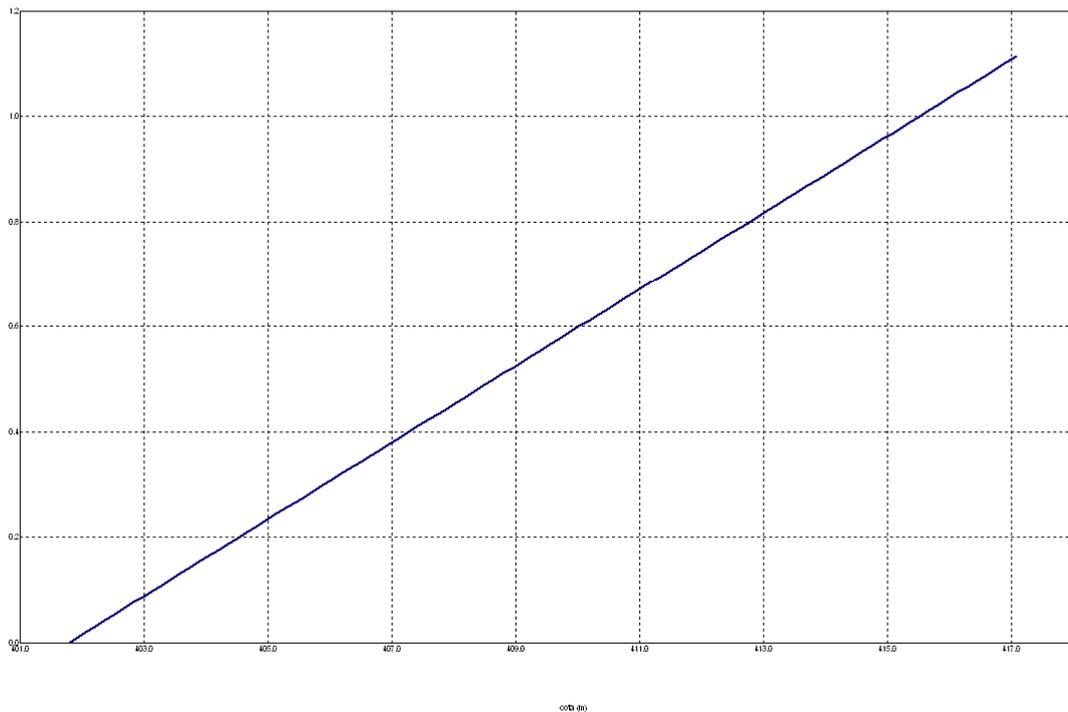
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-C3

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-C3

Unidades

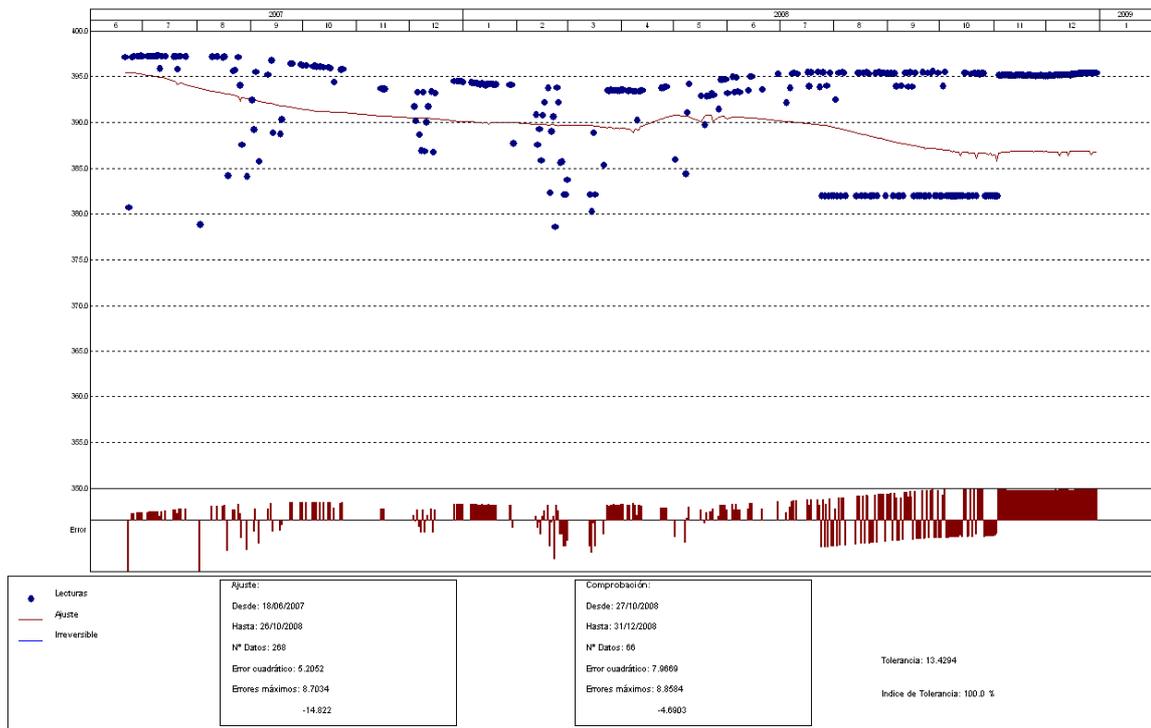


PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: PCV-C3		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	18/06/2007 al 26/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 375
1-e <sup>^</sup> (-tiempo/365)	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	1.11398	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.2768786
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 0.4396057
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -0.7617188
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 0.7143468
cos(2*PT)	0.000	
TD-TDC	0.000	Período de Comprobación
TMM-TMMC	0.000	27/06/2008 al 31/12/2008
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 183
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 1.342826
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 0.398407
LL	-1.21263	Error Máximo negativo: -12.68954
LLMM	0.000	Índice de Tolerancia: 98.9071 %
T. independiente	398.2307	

## PCV-C4.

PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-C4

Unidades



Los datos de lecturas en el PCV-C4 no permiten una modelación estadística consistente.

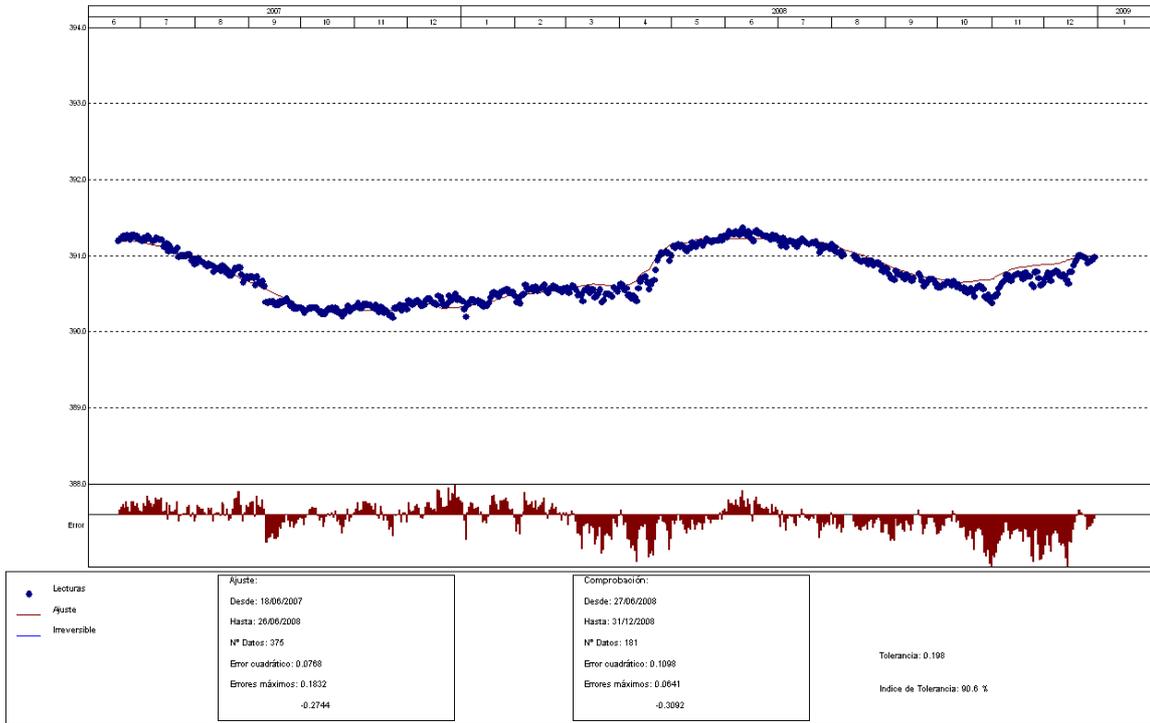
## PCV-C5

Los datos registrados por este piezómetro se mantienen constantes en todo el período de estudio. Con lo cual, un modelo estadístico asociado a esta variable resulta inadecuado.

PCV-C6

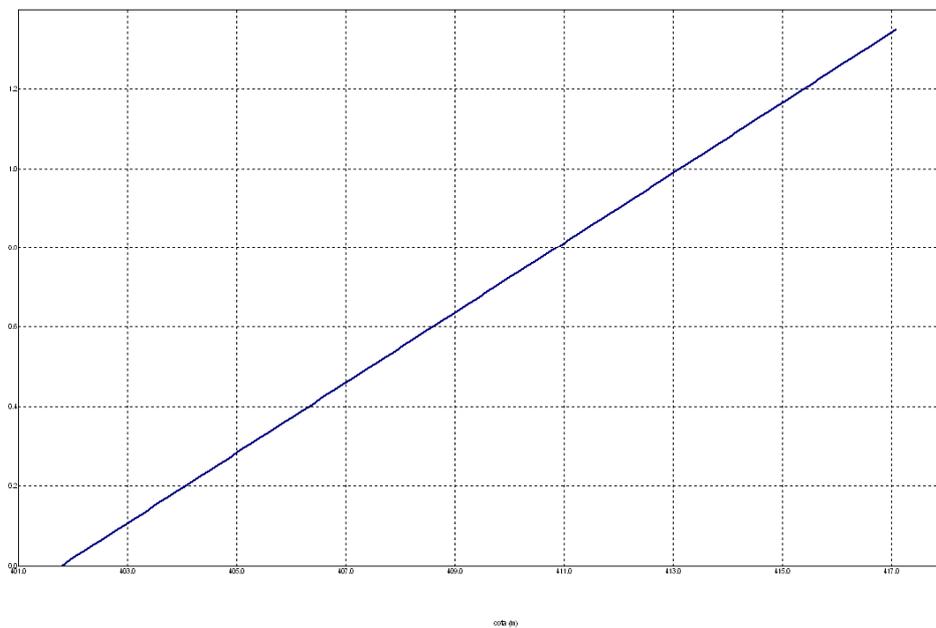
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-C6

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-C6

Unidades



PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: PCV-C6		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	18/06/2007 al 26/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 375
1-e <sup>-tiempo/365</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	1.34986	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.0767633
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 0.1831665
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -0.2743835
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 0.1980493
cos(2*PT)	0.000	
TD-TDC	0.000	Período de Comprobación
TMM-TMMC	0.000	27/06/2008 al 31/12/2008
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 181
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.1097748
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 6.411743E-02
LL	0.000	Error Máximo negativo: -0.3092346
LLMM	0.000	Índice de Tolerancia: 90.60773 %
T. independiente	389.8943	

PCV-C7 y PCV-C8.

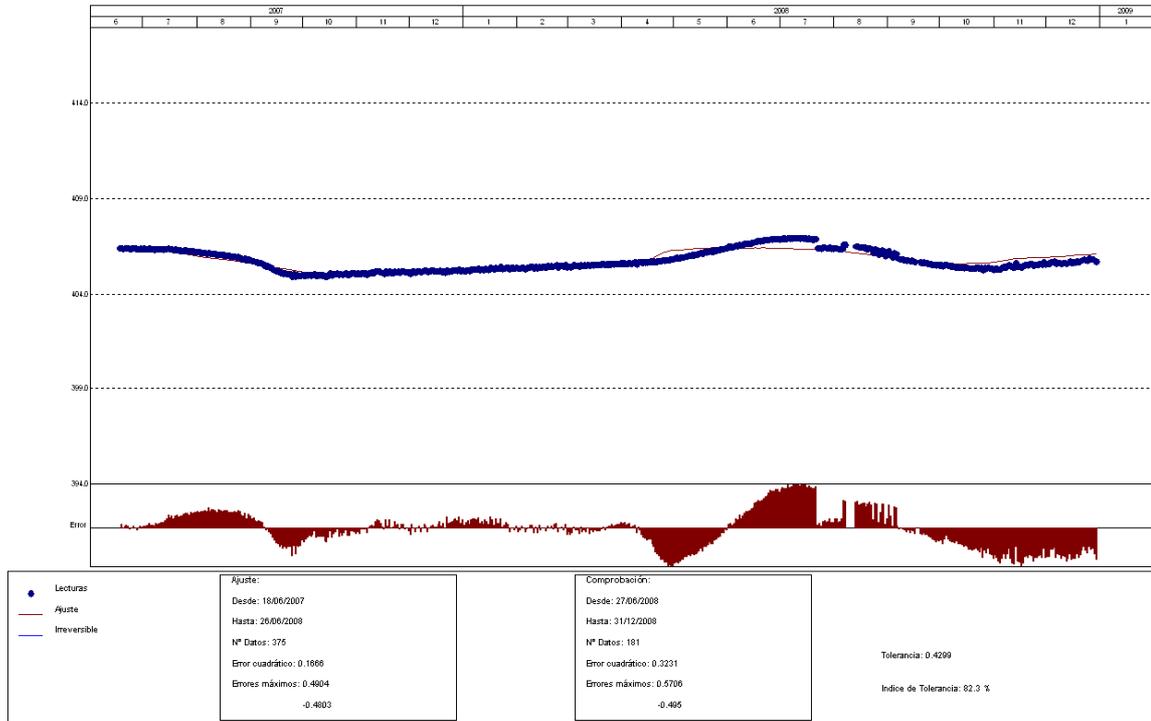
Los piezómetros de cuerda vibrante PCV-C7 y PCV-C8 no funcionan.

### 3.1.1.2 PCV en la sección de control S-2 o Astón-2.

#### PCV-B3

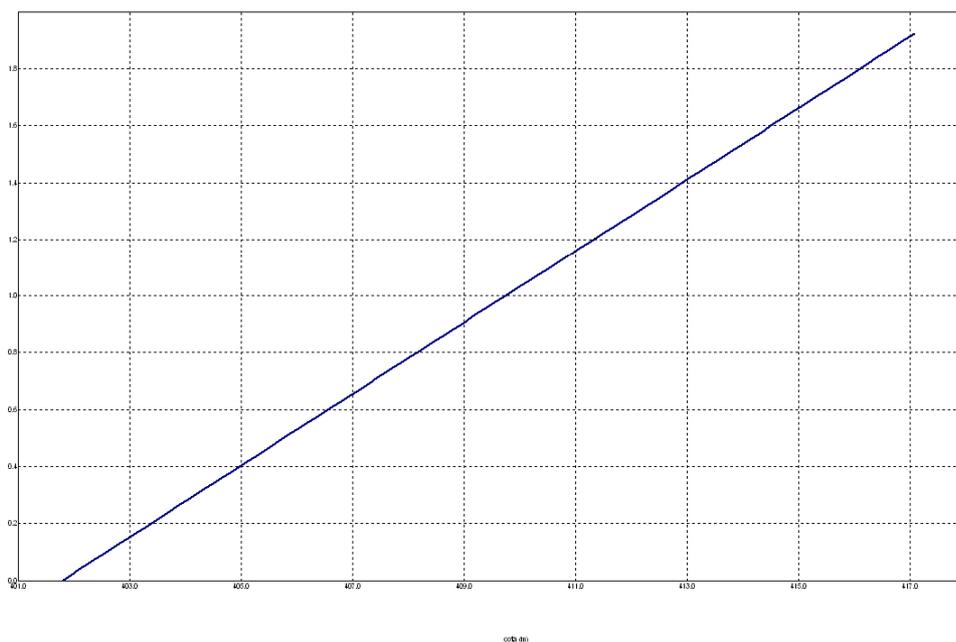
PRESA: La Sotonera  
MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-B3

Unidades:



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-B3

Unidades:

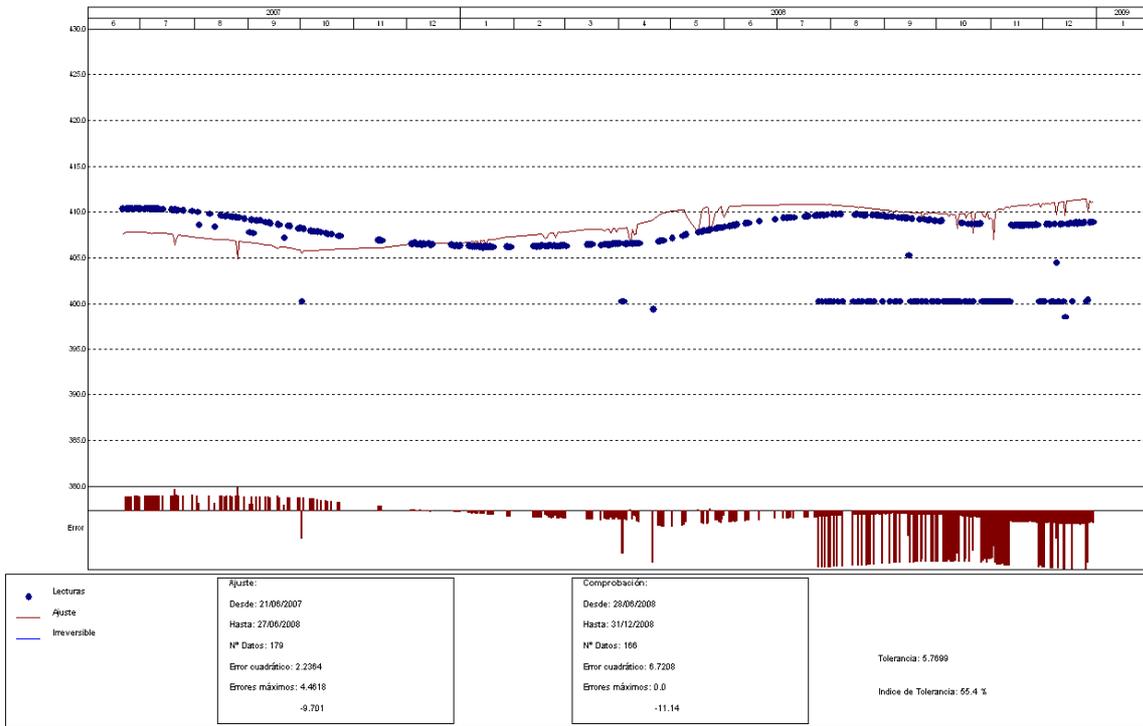


PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: PCV-B3		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	18/06/2007 al 26/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 375
1-e <sup>-tiempo/365</sup> )	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	1.92357	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.1666416
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 0.4904175
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -0.4802551
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 0.4299354
cos(2*PT)	0.000	
TD-TDC	0.000	Período de Comprobación
TMM-TMMC	0.000	27/06/2008 al 31/12/2008
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 181
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.3230966
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 0.5705566
LL	0.000	Error Máximo negativo: -0.4950256
LLMM	0.000	Índice de Tolerancia: 82.32044 %
T. independiente	404.5088	

## PCV-B4.

PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-B4

Unidades

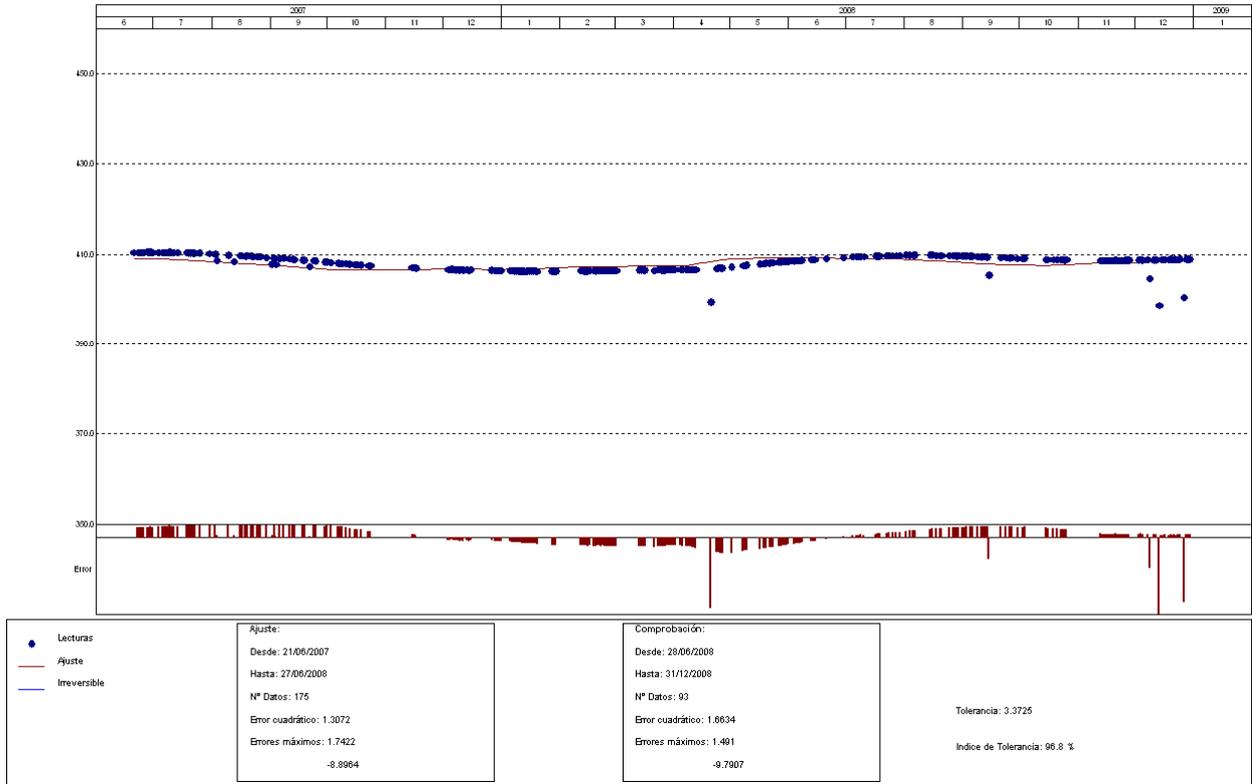


La serie de datos iguales a 400.3 m.s.n.m., registrada en los últimos 6 meses del año 2008, es considerada ilógica e inconsistente. Se plantea ahora, un nuevo modelo estadístico que intenta conseguir un mejor ajuste (2) y excluye a la mencionada serie.

### PCV-B4 (2)

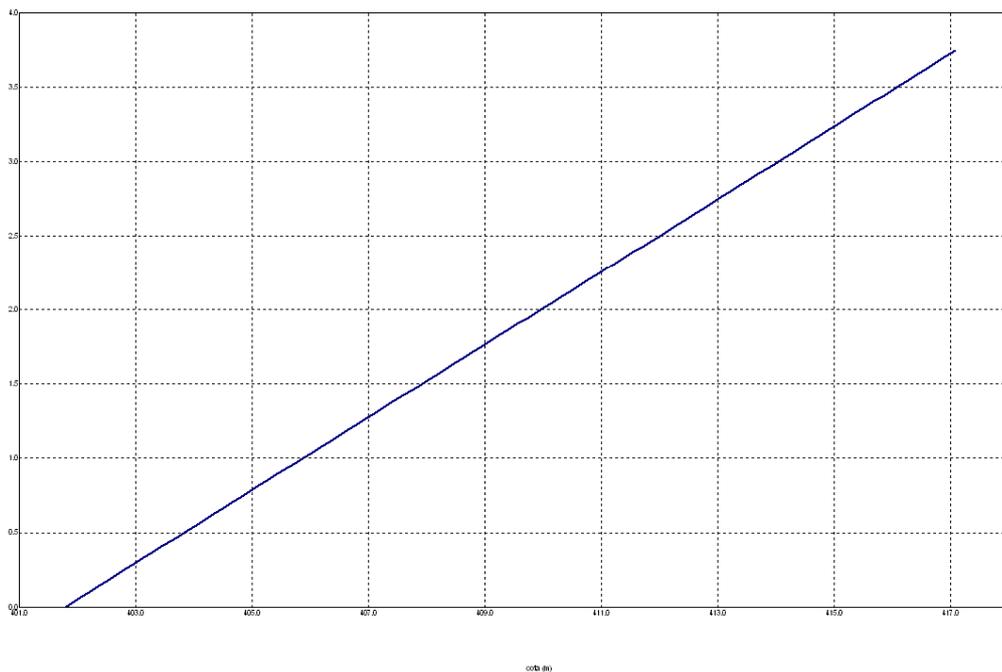
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-B4

Unidades



PRESA: La Sotonera, EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-B4

Unidades

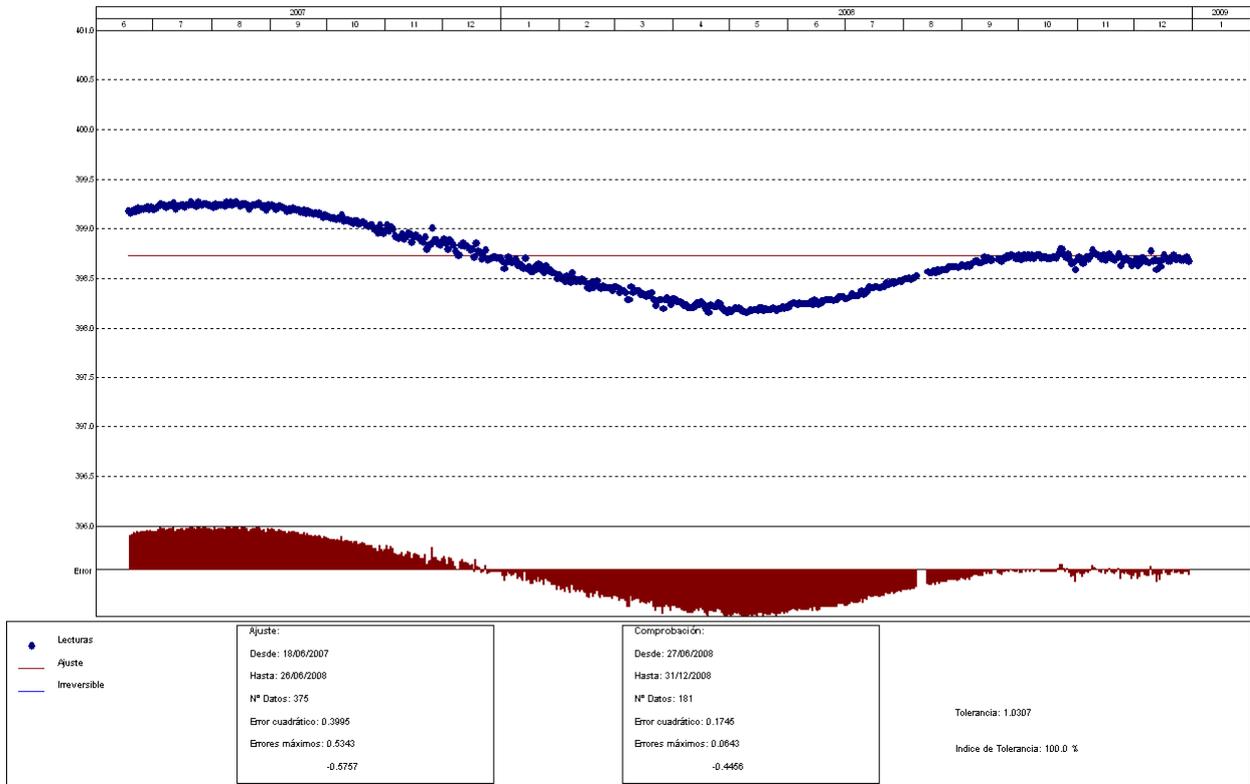


PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: PCV-B4(2)		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	21/06/2007 al 27/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 175
1-e <sup>-tiempo/365</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	3.74508	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 1.30717
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 1.742157
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -8.896423
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 3.372498
cos(2*PT)	0.000	
TD-TDC	0.000	Período de Comprobación
TMM-TMMC	0.000	28/06/2008 al 31/12/2008
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 93
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 1.663365
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 1.490997
LL	0.000	Error Máximo negativo: -9.79068
LLMM	0.000	Índice de Tolerancia: 96.77419 %
T. independiente	405.4557	

## PCV-B5

PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-B5

Unidades:

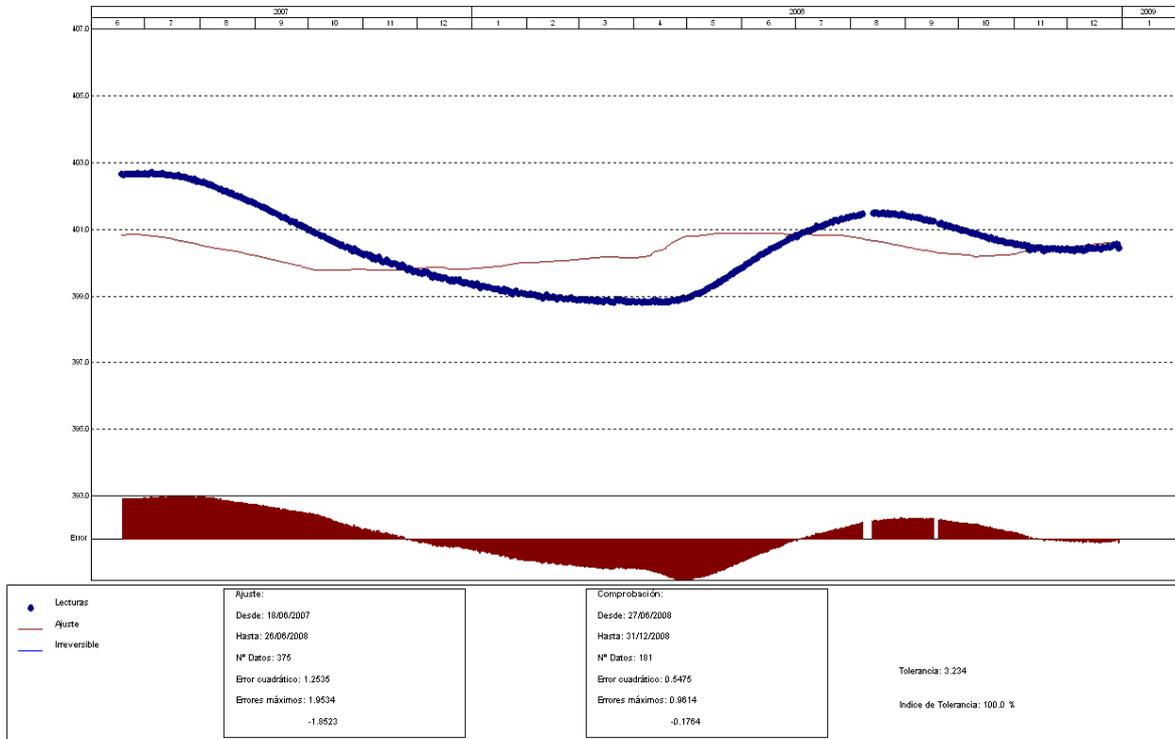


No es posible parametrizar de forma correcta el comportamiento de este piezómetro. .

### PCV-B6

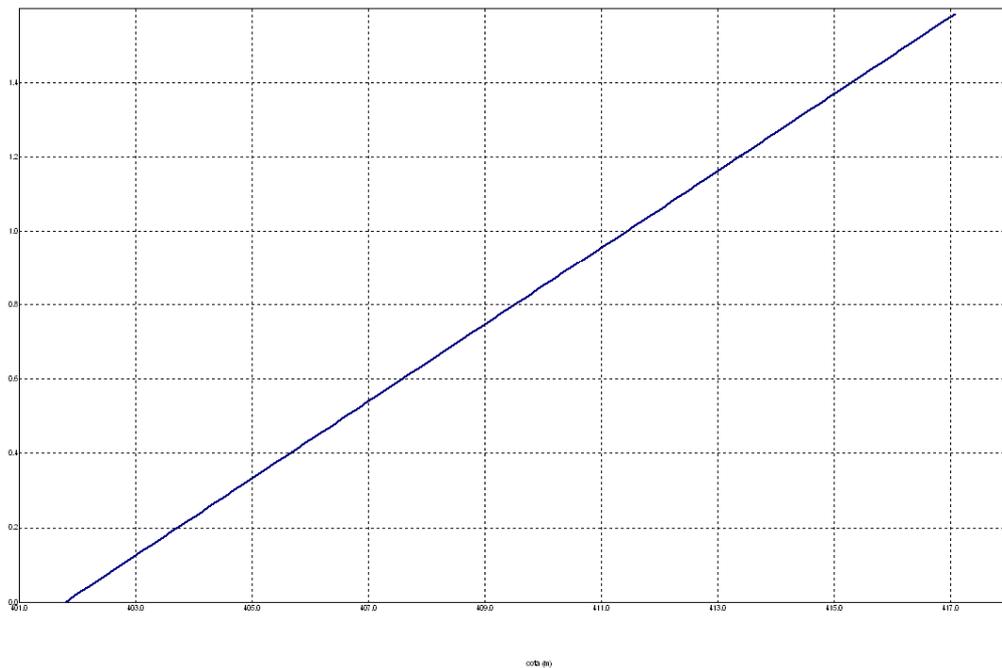
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-B6

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-B6

Unidades

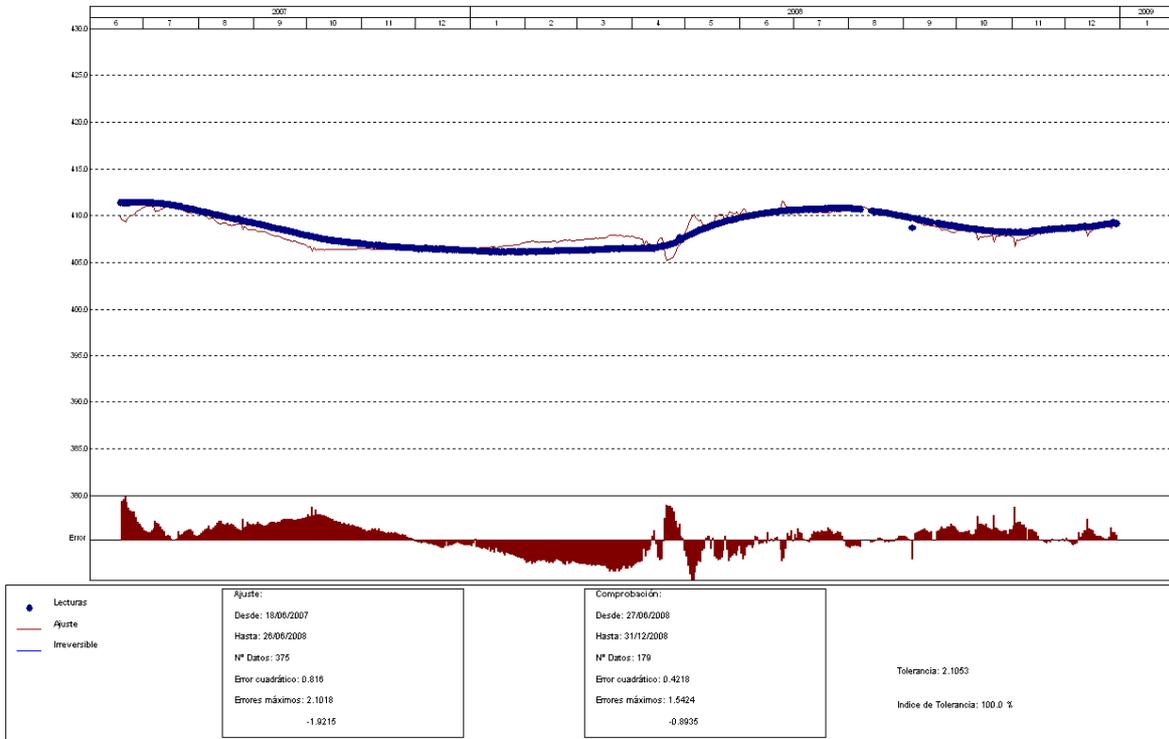


PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: PCV-B6		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coefficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	18/06/2007 al 26/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 375
1-e <sup>^</sup> (-tiempo/365)	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	1.58535	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 1.253495
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 1.95343
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -1.852325
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 3.234016
cos(2*PT)	0.000	
TD-TDC	0.000	Período de Comprobación
TMM-TMMC	0.000	27/06/2008 al 31/12/2008
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 181
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.5474522
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 0.9613953
LL	0.000	Error Máximo negativo: -0.1763611
LLMM	0.000	Indice de Tolerancia: 100 %
T. independiente	399.3062	

### PCV-B7

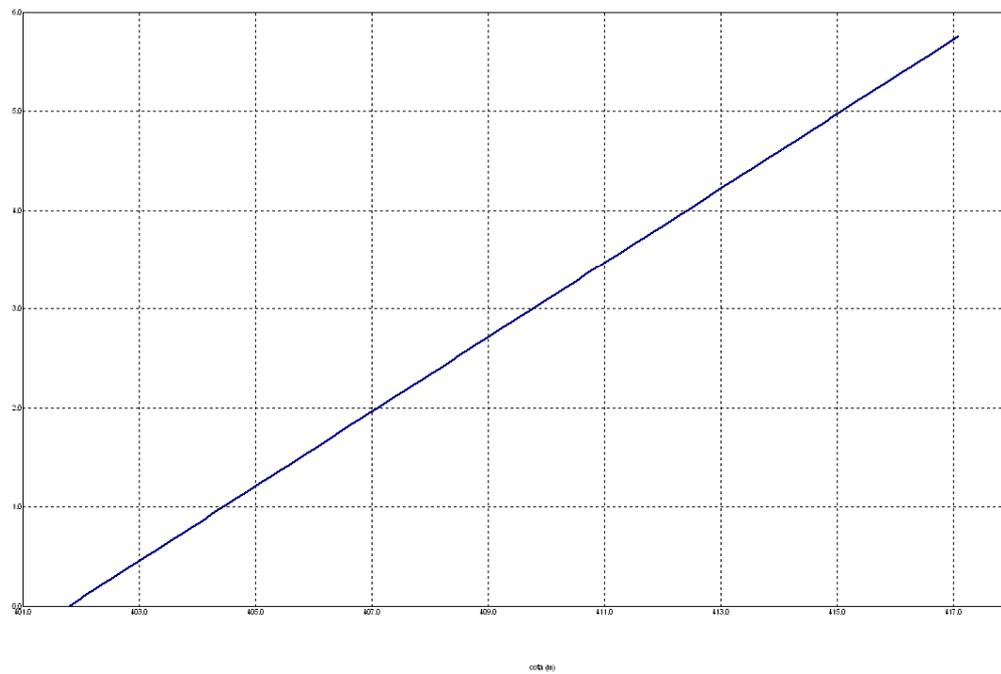
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-B7

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-B7

Unidades



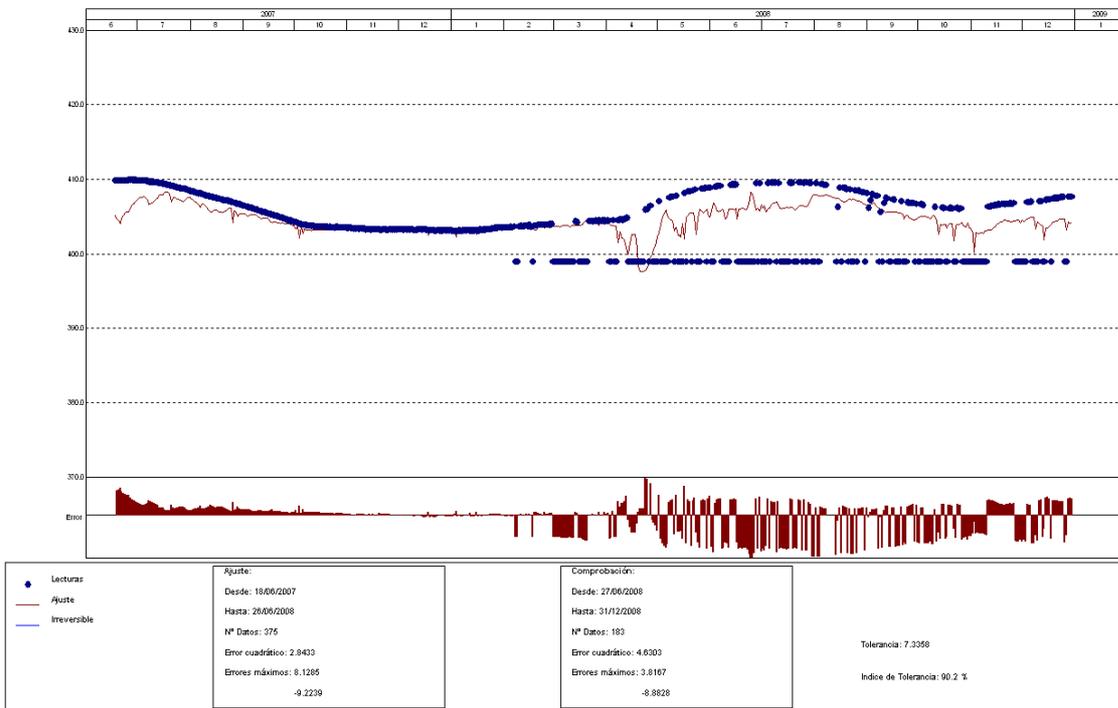
--	--

PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: PCV-B7		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	18/06/2007 al 26/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 375
1-e <sup>^</sup> (-tiempo/365)	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	5.75718	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	-78.65186	Error cuadrático: 0.8159999
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 2.101837
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -1.921478
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 2.10528
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	27/06/2008 al 31/12/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 179
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 0.4218158
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 1.542358
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: -0.8935242
LL	-2.99509	Indice de Tolerancia: 100 %
LLMM	0.000	
T. independiente	404.7067	

## PCV-B8

PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-B8

Unidades

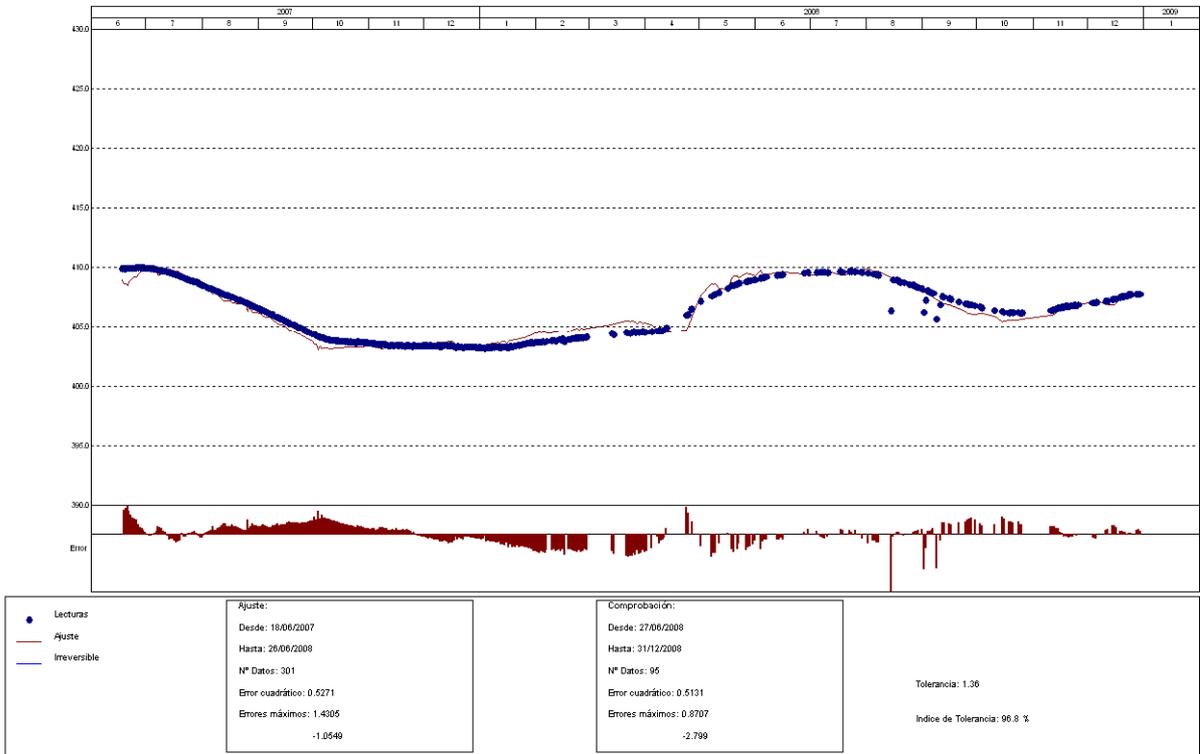


La serie de datos con valores iguales a 399.99 m.s.n.m. registrados durante el año 2008 no permite obtener un buen ajuste estadístico. Se plantea ahora, un modelo filtrado (2) para intentar mejorar los resultados obtenidos.

### PCV-B8 (2)

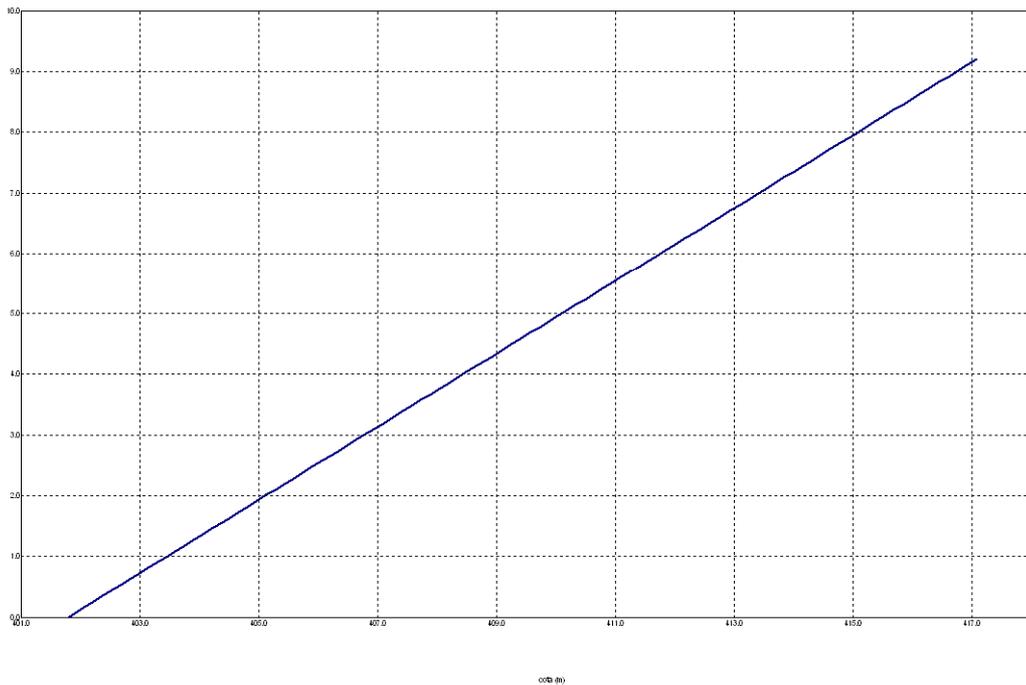
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-B8

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-B8

Unidades



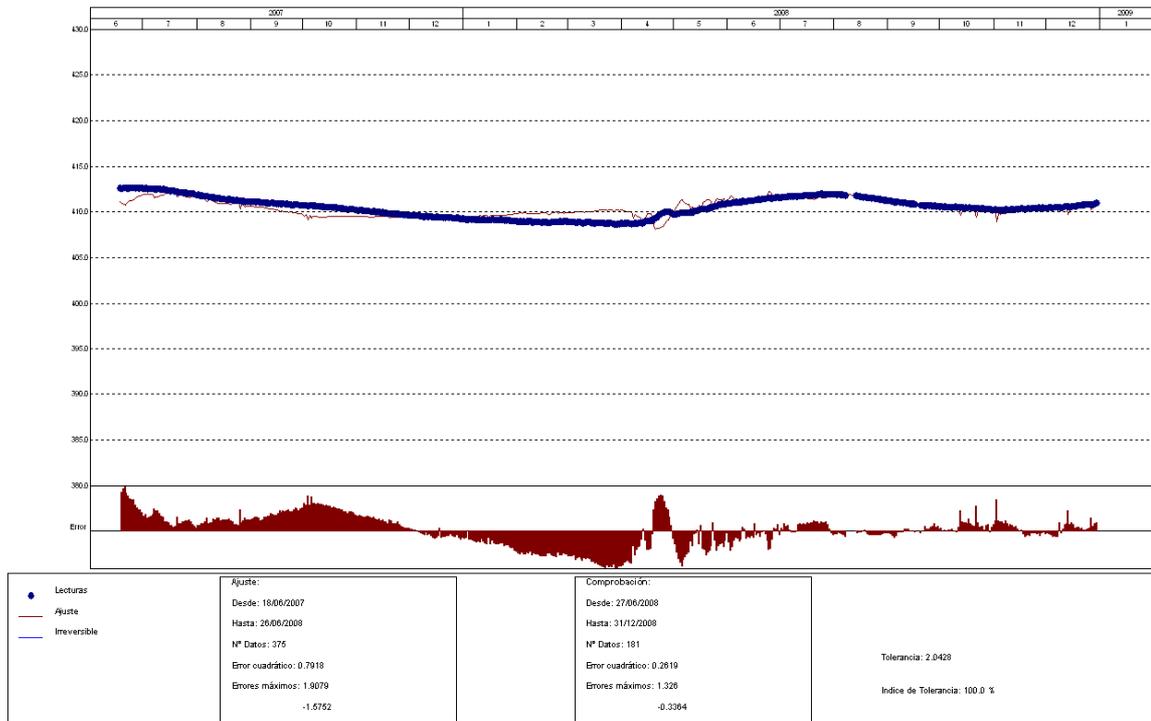
PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: PCV-B8 (2)		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coefficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	18/06/2007 al 26/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 301
1-e <sup>-tiempo/365</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	9.20635	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	-68.8716	Error cuadrático: 0.5271151
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 1.43045
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -1.054932
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 1.359957
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	27/06/2008 al 31/12/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 95
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 0.5130987
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 0.8707275
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: -2.798981
LL	-2.78209	Indice de Tolerancia: 96.8421 %
LLMM	0.000	
T. independiente	400.4395	

### 3.1.1.3 PCV en la sección de control S-3 o Astón-1.

#### PCV-A6

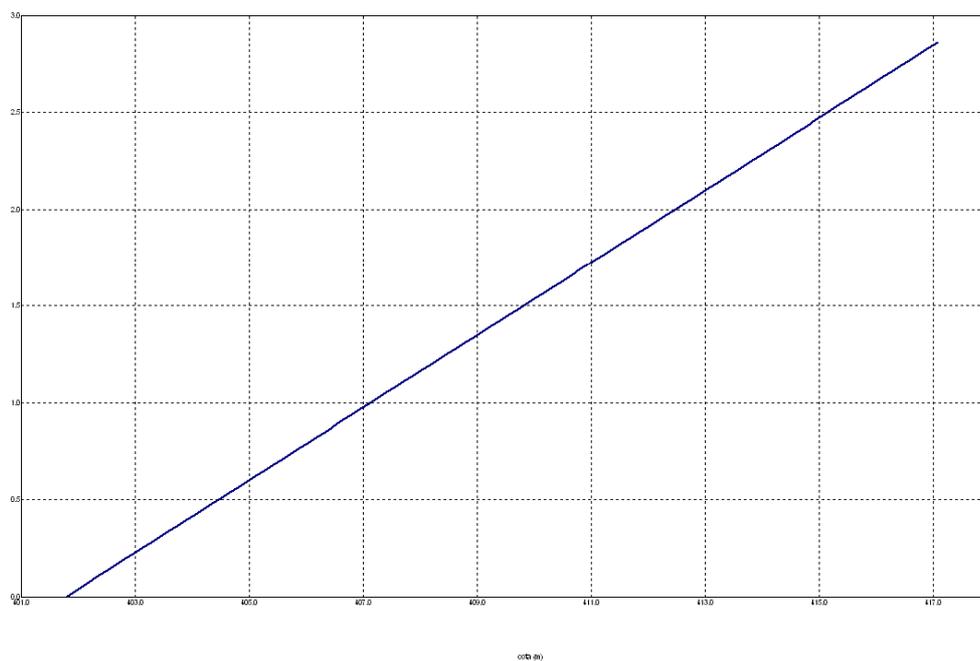
PRESA: La Sotonera  
MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-A6

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-A6

Unidades

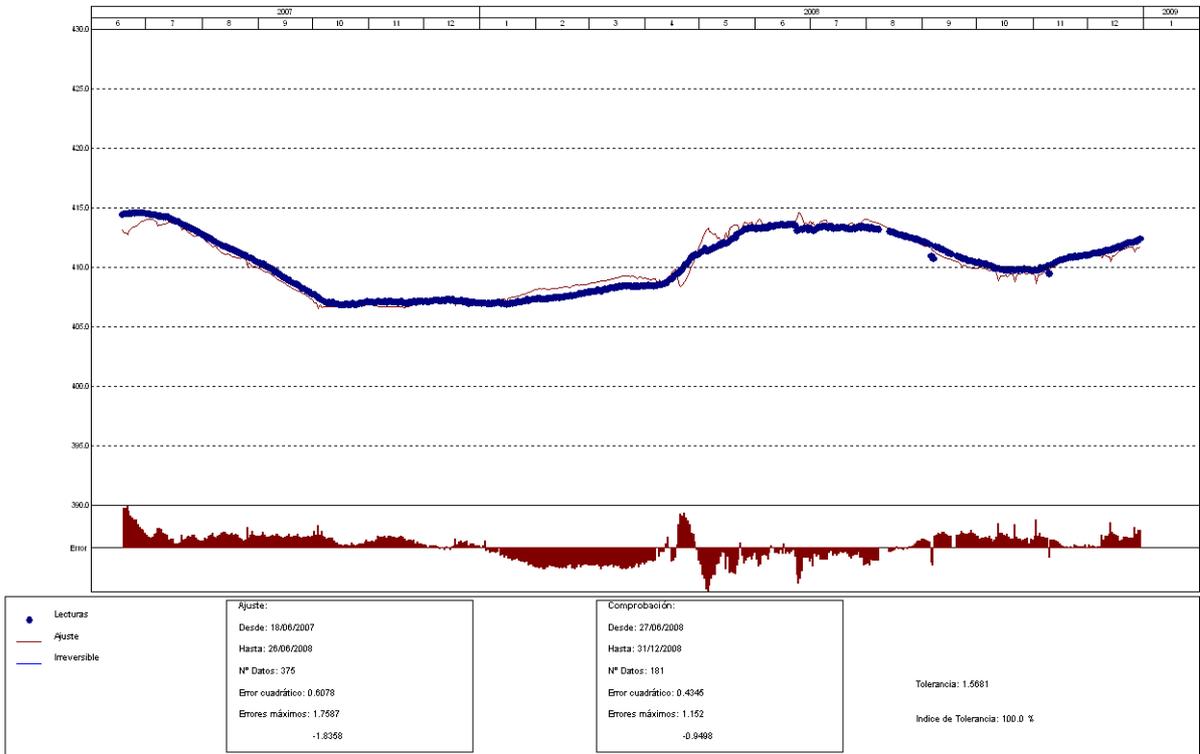


PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: PCV-A6		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coefficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	18/06/2007 al 26/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 375
1-e <sup>-tiempo/365</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	2.86176	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	-54.56147	Error cuadrático: 0.7917987
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 1.907898
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -1.575165
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 2.042841
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	27/06/2008 al 31/12/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 181
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 0.2619436
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 1.325989
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: -0.3363647
LL	-3.57699	Indice de Tolerancia: 100 %
LLMM	0.000	
T. independiente	408.6576	

### PCV-A7

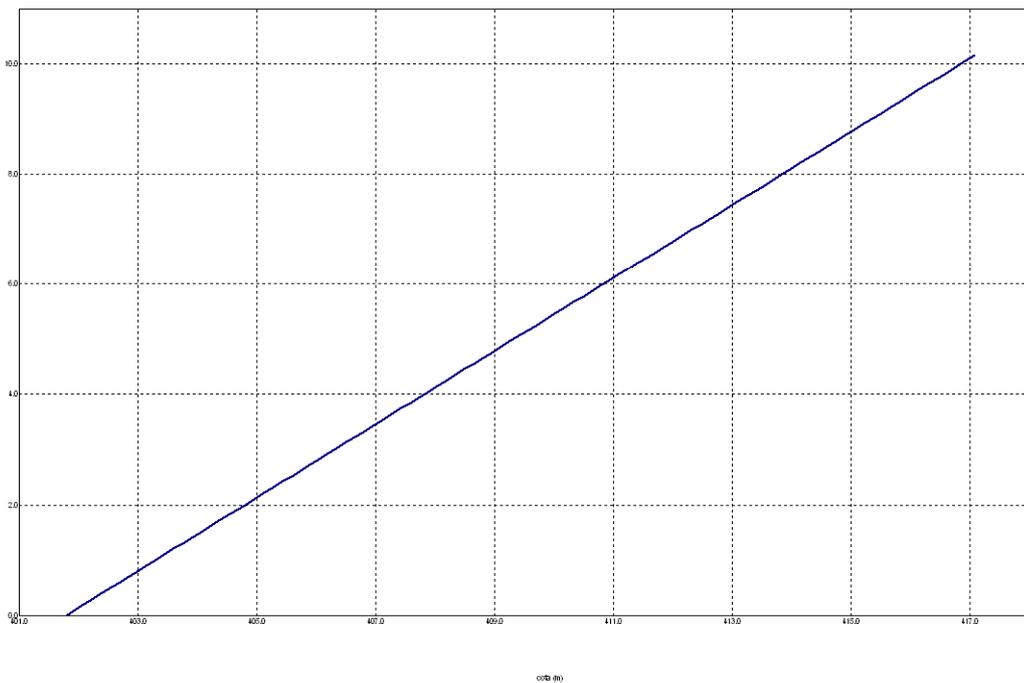
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-A7

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-A7

Unidades



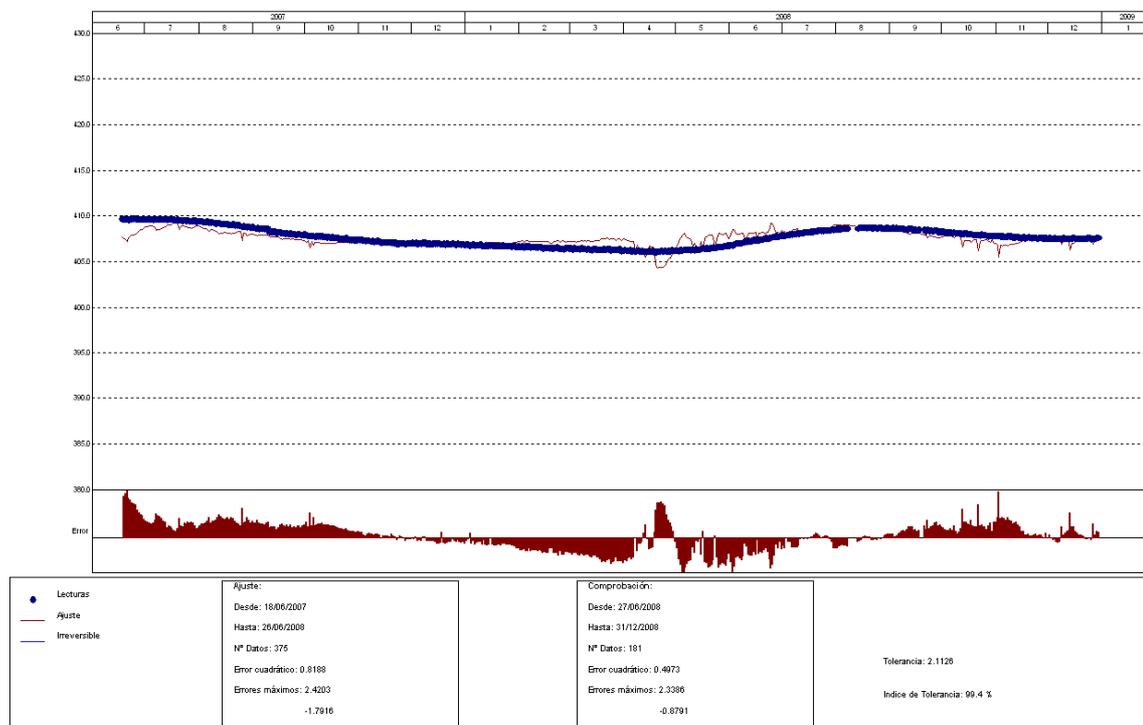
PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: PCV-A7		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coefficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	18/06/2007 al 26/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 375
1-e <sup>-tiempo/365</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	10.15804	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	-62.91871	Error cuadrático: 0.6077891
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 1.758698
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -1.835846
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 1.568096
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	27/06/2008 al 31/12/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 181
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 0.4344866
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 1.152039
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: -0.9498291
LL	-2.77394	Indice de Tolerancia: 100 %
LLMM	0.000	
T. independiente	403.7127	

### 3.1.1.4 PCV en la sección de control S-4 o Alberca de Alcalá.

#### PCV-D1

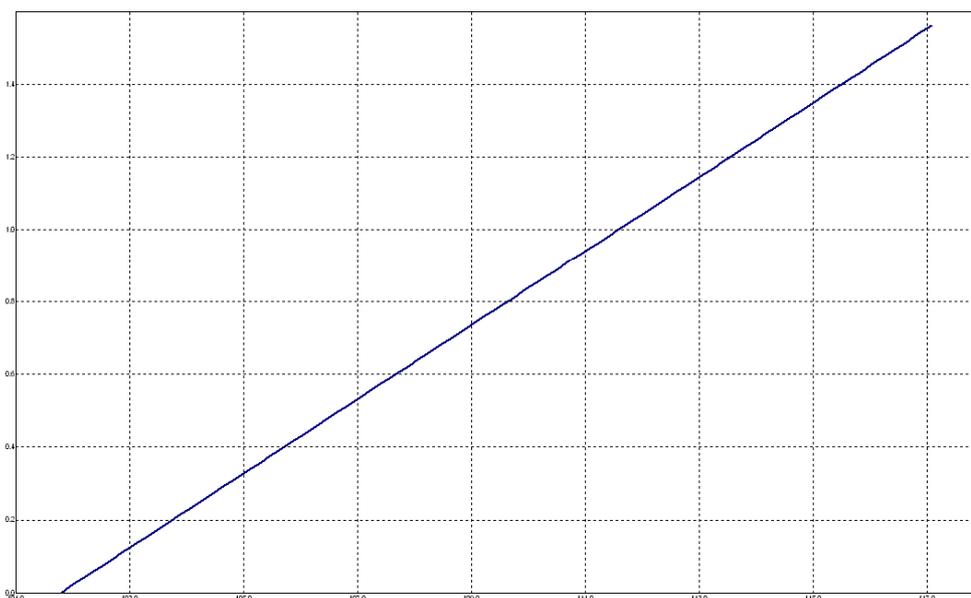
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-D1

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-D1

Unidades



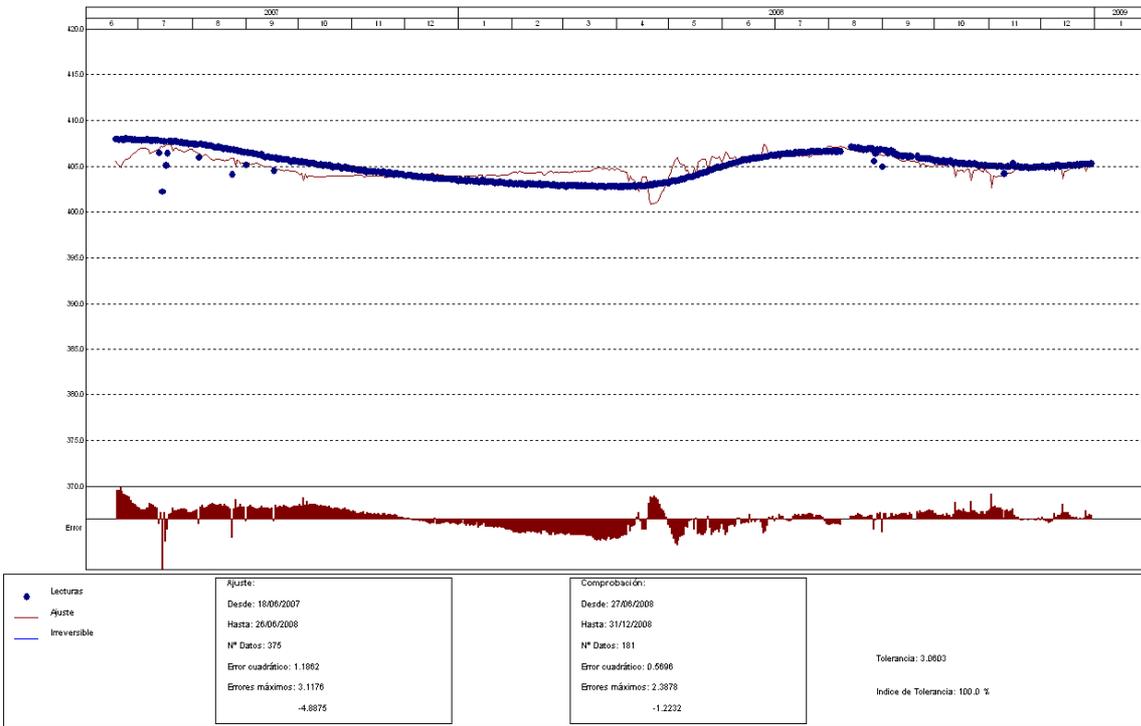
000 (h)

PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: PCV-D1		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	18/06/2007 al 26/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 375
1-e <sup>-(tiempo/365)</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	1.5613	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	-69.15907	Error cuadrático: 0.8188295
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 2.420319
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -1.791565
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 2.11258
cos(2*PT)	0.000	
TD-TDC	0.000	Período de Comprobación
TMM-TMMC	0.000	27/06/2008 al 31/12/2008
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 181
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.4973363
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 2.338623
LL	-5.24906	Error Máximo negativo: -0.8791199
LLMM	0.000	Índice de Tolerancia: 99.44752 %
T. independiente	406.6274	

### PCV-D2

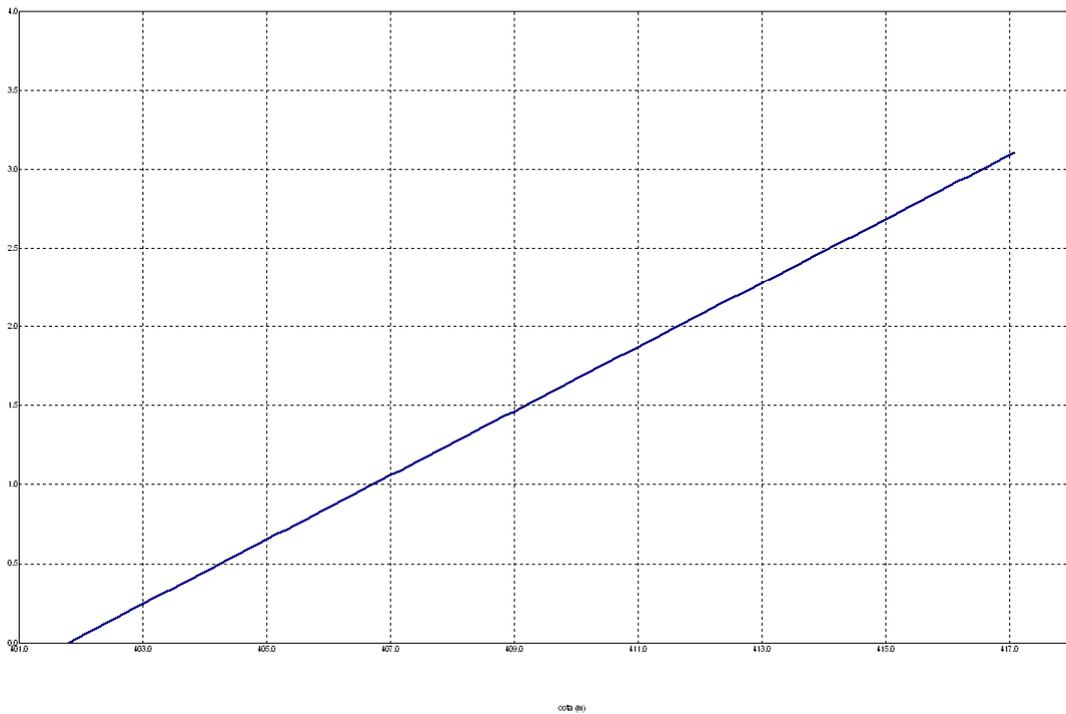
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-D2

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-D2

Unidades

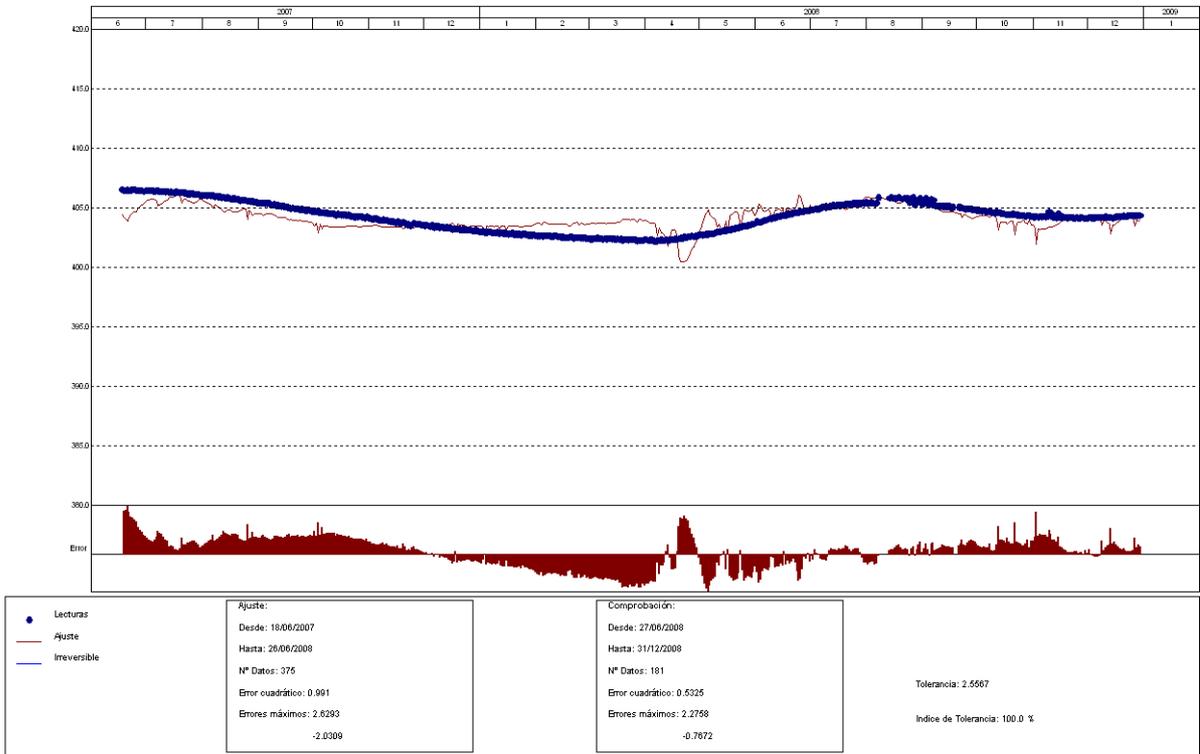


PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: PCV-D2		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	18/06/2007 al 26/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 375
1-e <sup>-tiempo/365</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	3.10785	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	-90.61993	Error cuadrático: 1.18618
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 3.117584
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -4.887512
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 3.060345
cos(2*PT)	0.000	
TD-TDC	0.000	Período de Comprobación
TMM-TMMC	0.000	27/06/2008 al 31/12/2008
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 181
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.5696182
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 2.387787
LL	-5.09545	Error Máximo negativo: -1.223175
LLMM	0.000	Índice de Tolerancia: 100 %
T. independiente	403.0126	

### PCV-D3

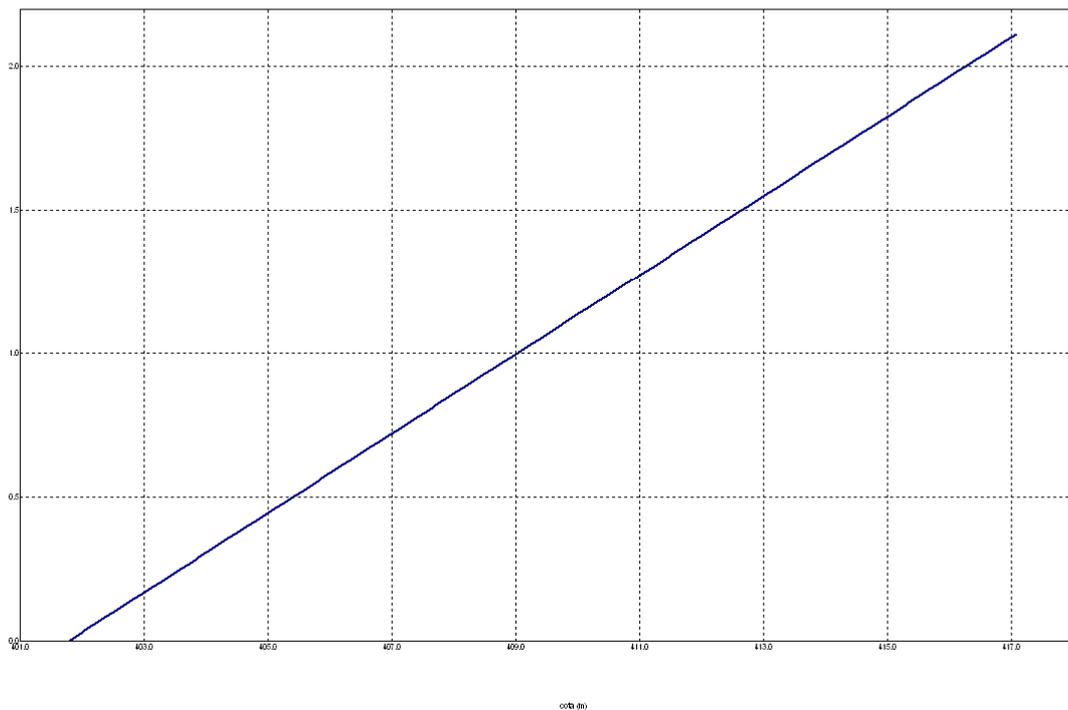
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-D3

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-D3

Unidades

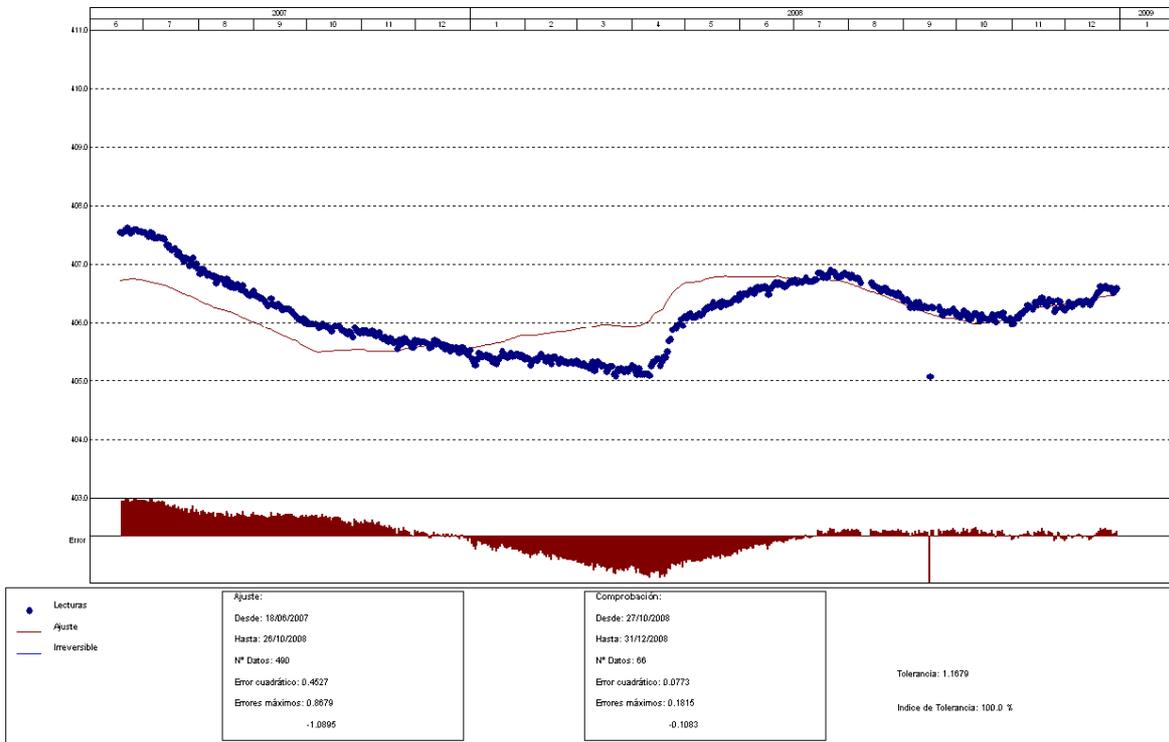


PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: PCV-D3		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	18/06/2007 al 26/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 375
1-e <sup>-tiempo/365</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	2.11386	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	-78.74557	Error cuadrático: 0.9909751
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 2.629333
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -2.030853
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 2.556716
cos(2*PT)	0.000	
TD-TDC	0.000	Período de Comprobación
TMM-TMMC	0.000	27/06/2008 al 31/12/2008
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 181
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.532522
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 2.275787
LL	-5.07072	Error Máximo negativo: -0.7672119
LLMM	0.000	Índice de Tolerancia: 100 %
T. independiente	402.803	

### PCV-D4

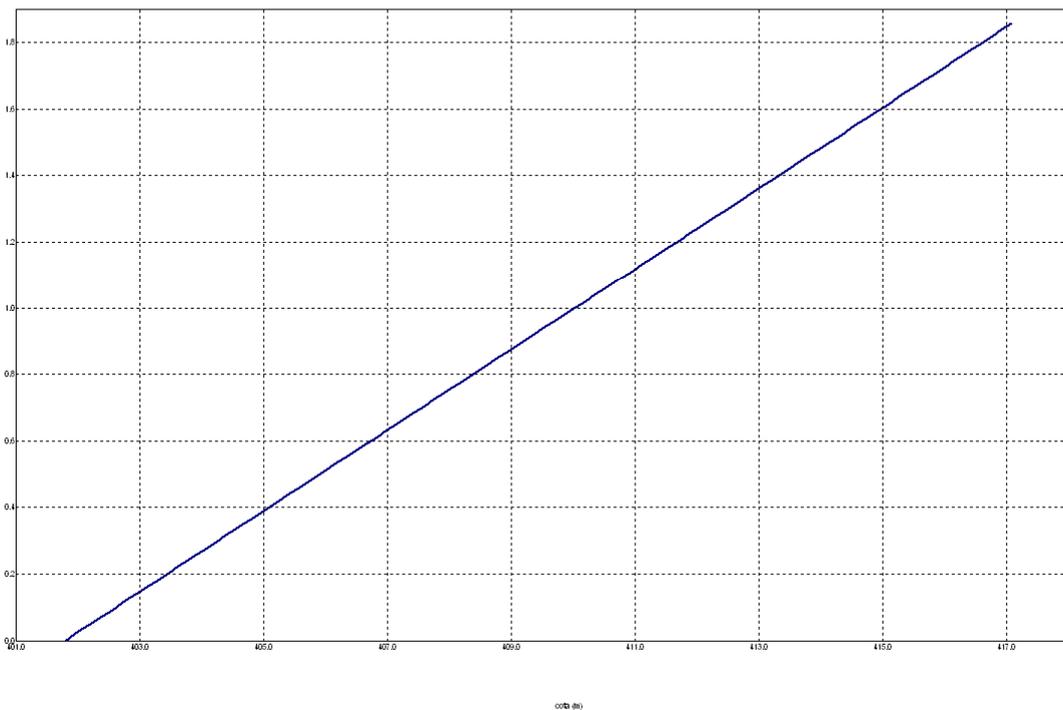
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-D4

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-D4

Unidades

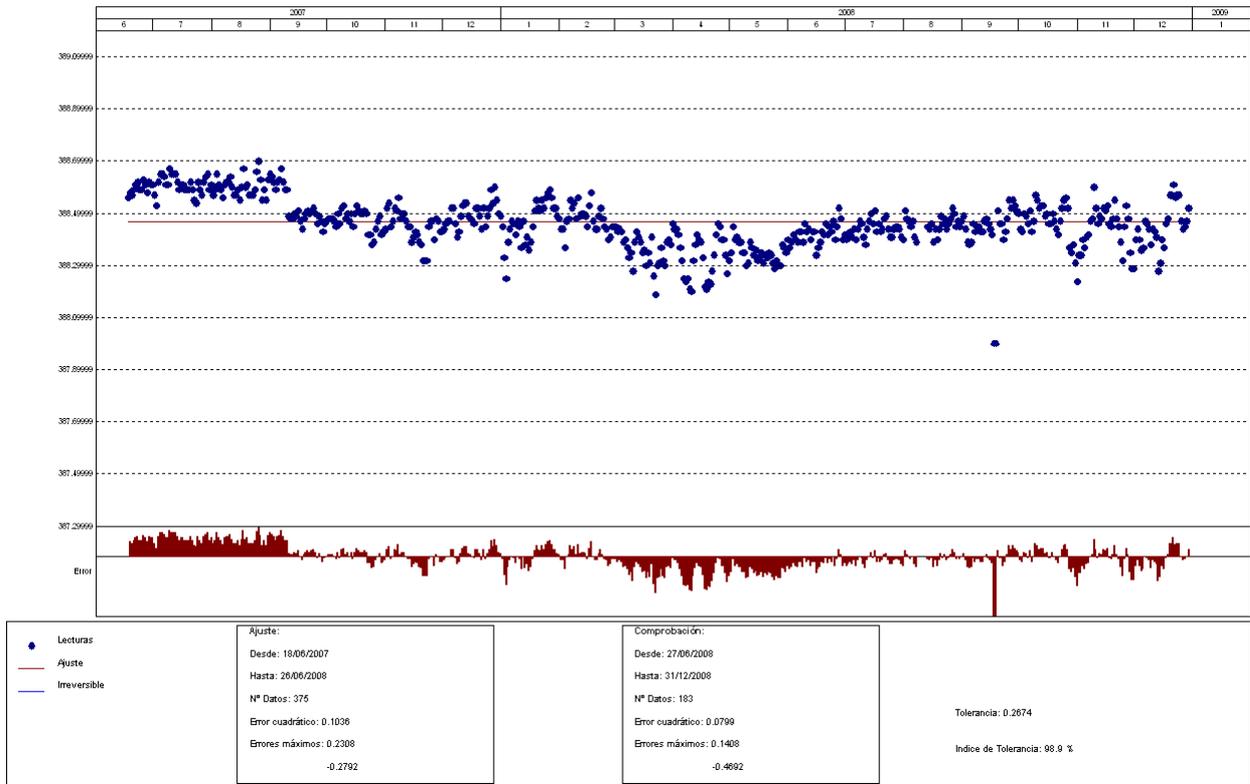


PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: PCV-D4		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	18/06/2007 al 26/10/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 490
1-e <sup>^</sup> (-tiempo/365)	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	1.85671	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.4526646
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 0.8678894
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -1.089508
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 1.167875
cos(2*PT)	0.000	
TD-TDC	0.000	Período de Comprobación
TMM-TMMC	0.000	27/10/2008 al 31/12/2008
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 66
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 7.730572E-02
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 0.181488
LL	0.000	Error Máximo negativo: -0.1083069
LLMM	0.000	Indice de Tolerancia: 100 %
T. independiente	404.9561	

## PCV-D5

PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-C5

Unidades

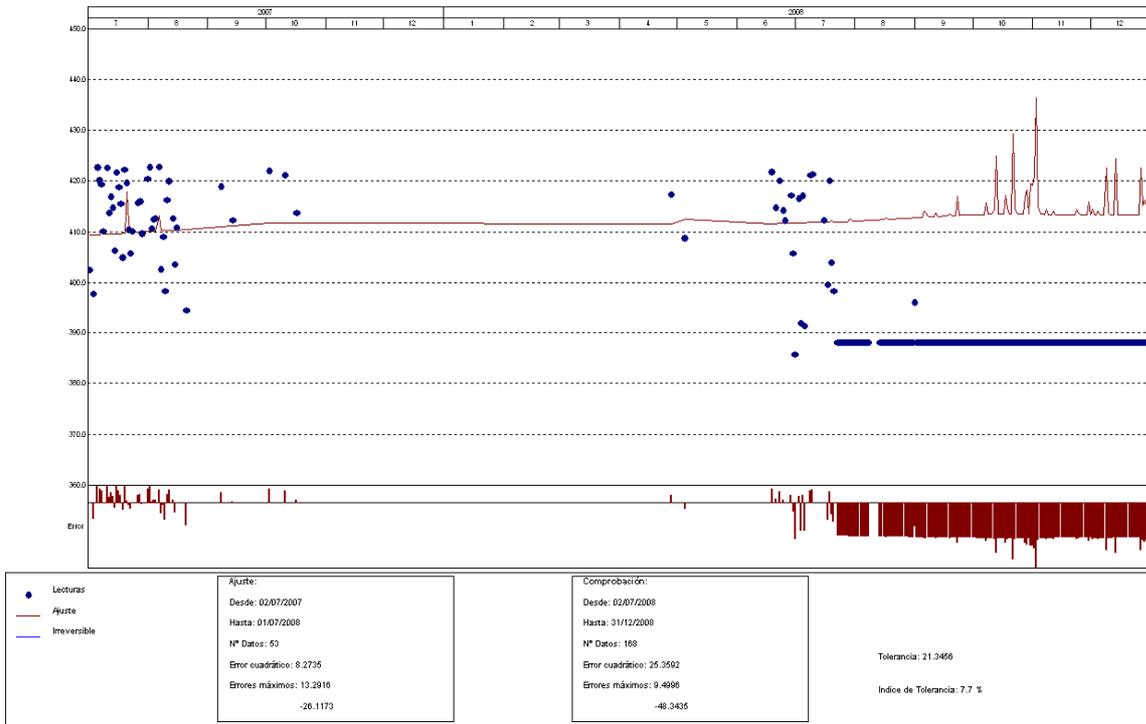


No es posible parametrizar de forma correcta el comportamiento de este piezómetro.

## PCV-D6

PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-D6

Unidades

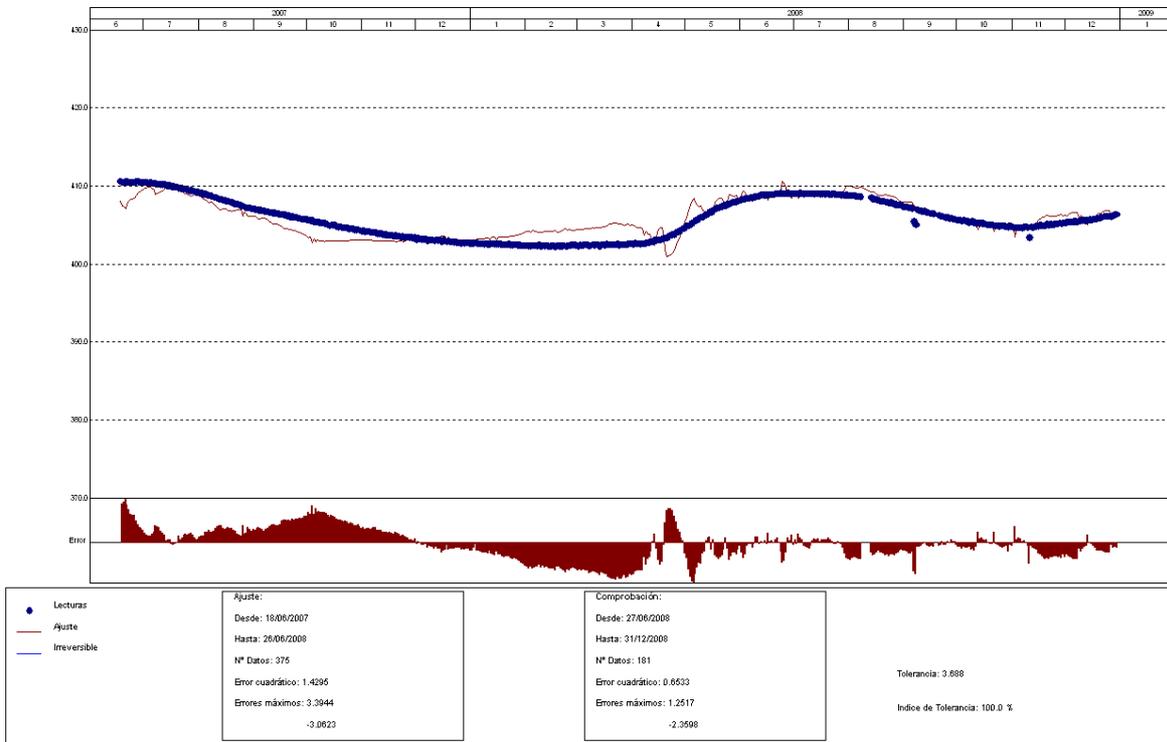


No es posible parametrizar de forma correcta el comportamiento de este piezómetro. .

### PCV-D7

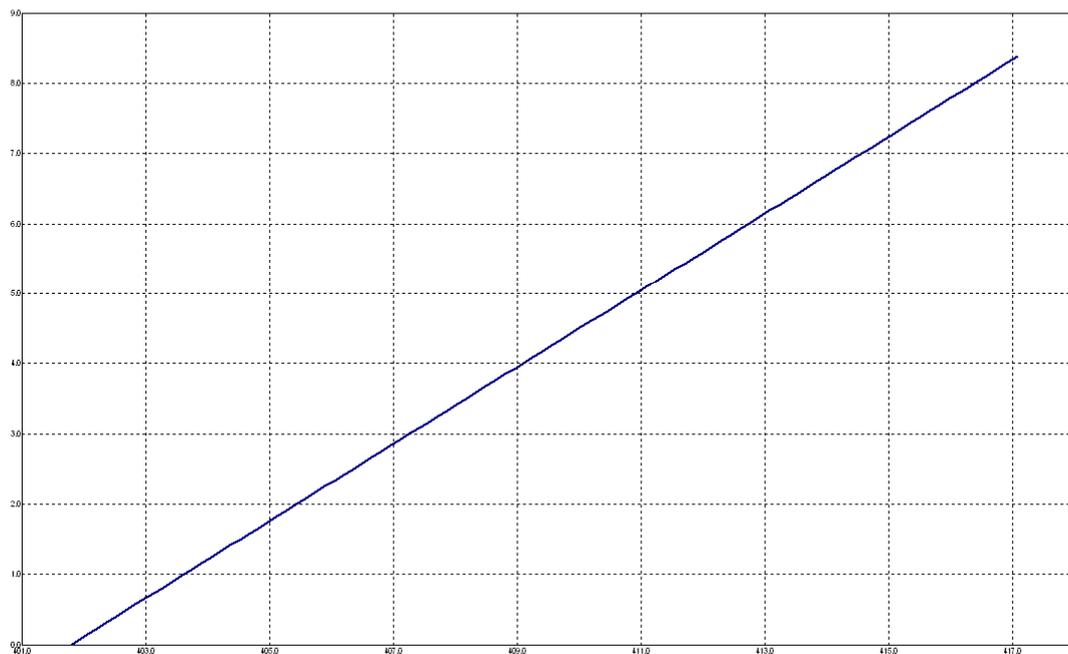
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-D7

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-D7

Unidades



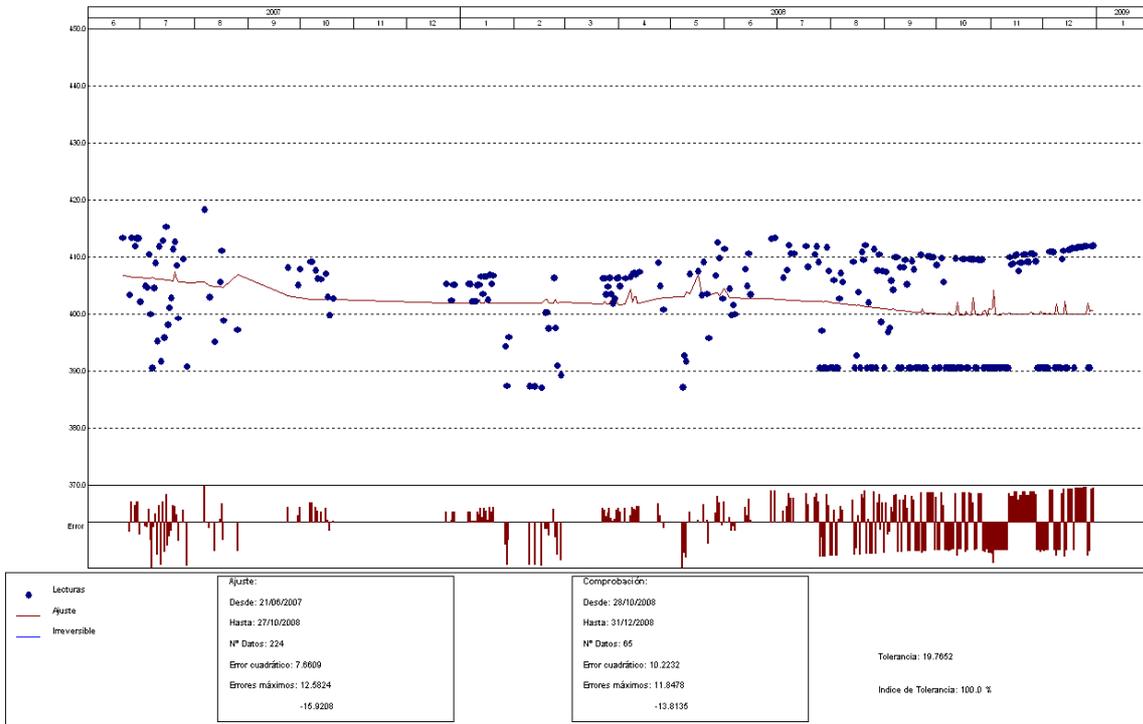
oct0 (m)

PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: PCV-D7		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coefficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	18/06/2007 al 26/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 375
1-e <sup>-tiempo/365</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	8.3828	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	-121.9086	Error cuadrático: 1.42945
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 3.394409
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -3.062286
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 3.68798
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	27/06/2008 al 31/12/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 181
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 0.6533426
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 1.251709
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: -2.359833
LL	-4.28871	Indice de Tolerancia: 100 %
LLMM	0.000	
T. independiente	400.5501	

## PCV-D8

PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-D8

Unidades



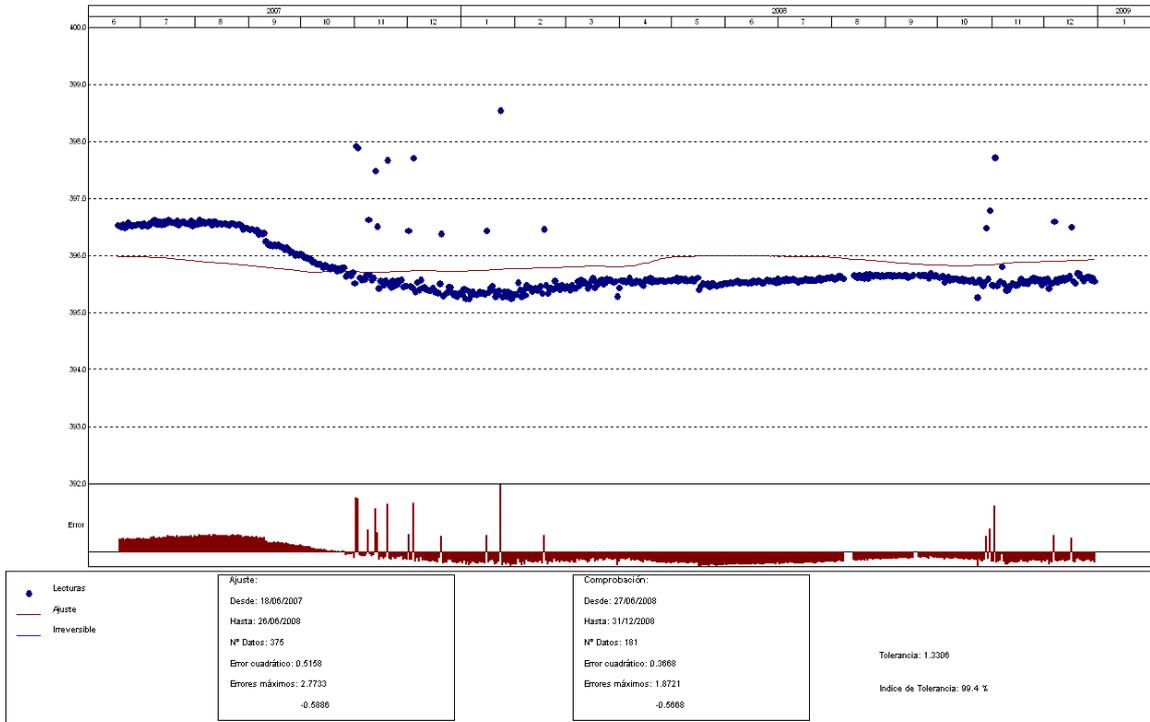
No es posible parametrizar de forma correcta el comportamiento de este piezómetro. .

### 3.1.1.5 PCV en la sección de control S-2N.

#### PCV-B1

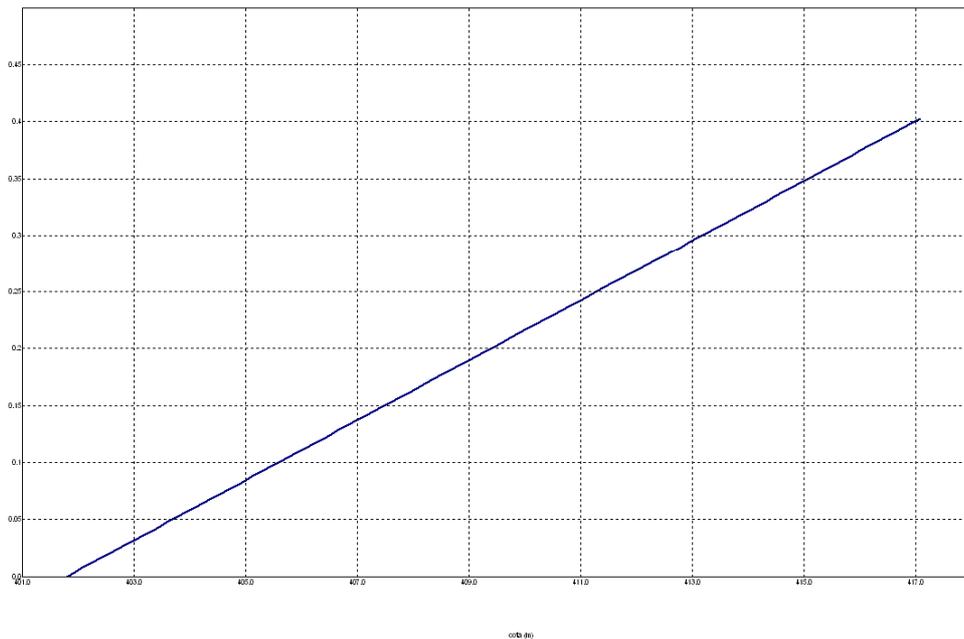
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-B1

Unidades:



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-B1

Unidades:

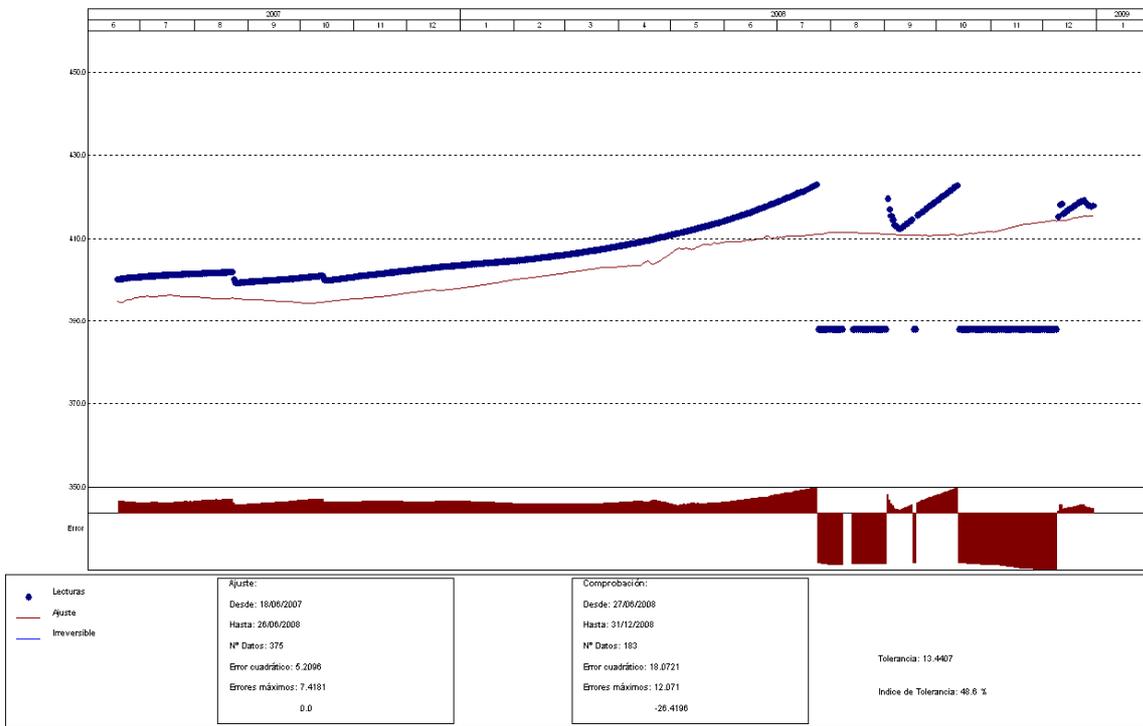


PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: PCV-B1		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	18/06/2007 al 26/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 375
1-e <sup>^</sup> (-tiempo/365)	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	0.40286	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.5157534
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 2.773285
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -0.588562
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 1.330644
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	27/06/2008 al 31/12/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 181
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 0.3668158
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 1.872131
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: -0.566803
LL	0.000	Indice de Tolerancia: 99.44752 %
LLMM	0.000	
T. independiente	395.6018	

## PCV-B2

PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV\_B2

Unidades

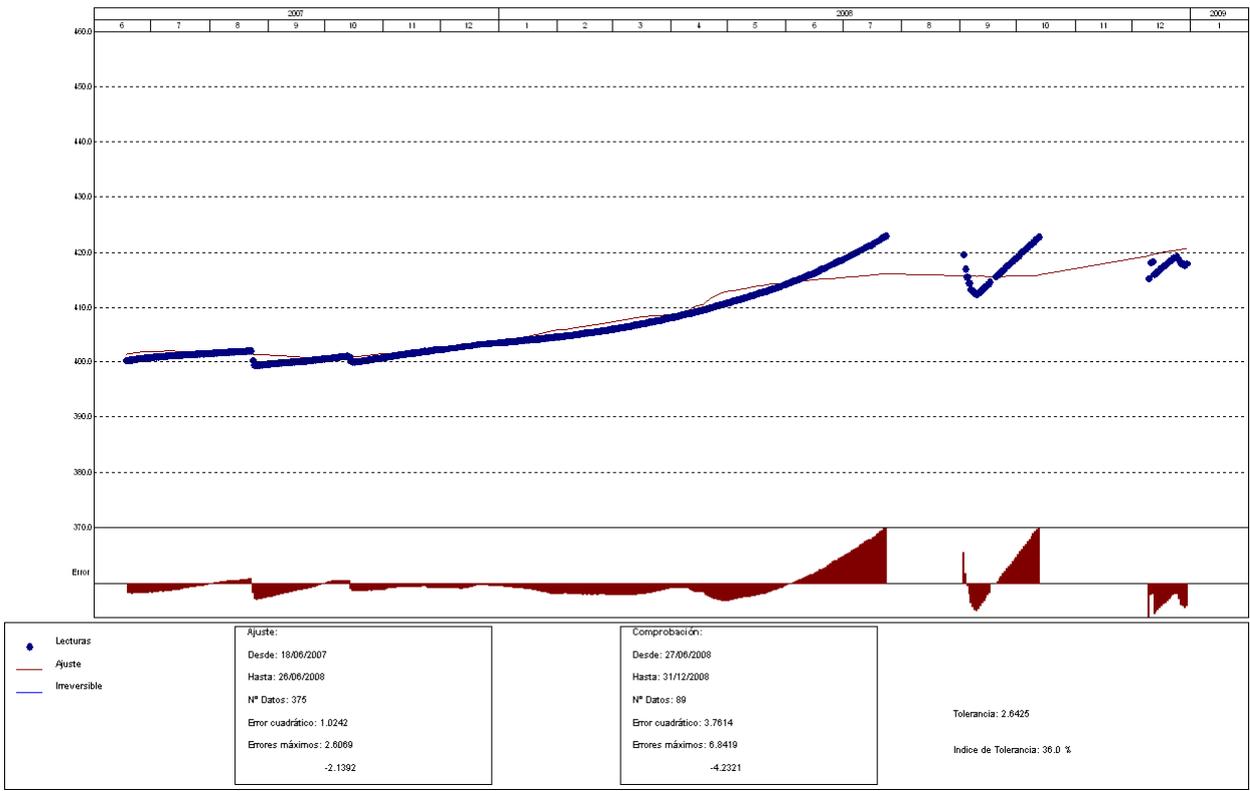


La serie de datos con valores iguales a 387.90 m.s.n.m. registrados durante los últimos meses del año 2008 no permite obtener un buen ajuste estadístico. Se plantea ahora, un modelo filtrado (2) para intentar mejorar los resultados obtenidos.

### PCV-B2 (2).

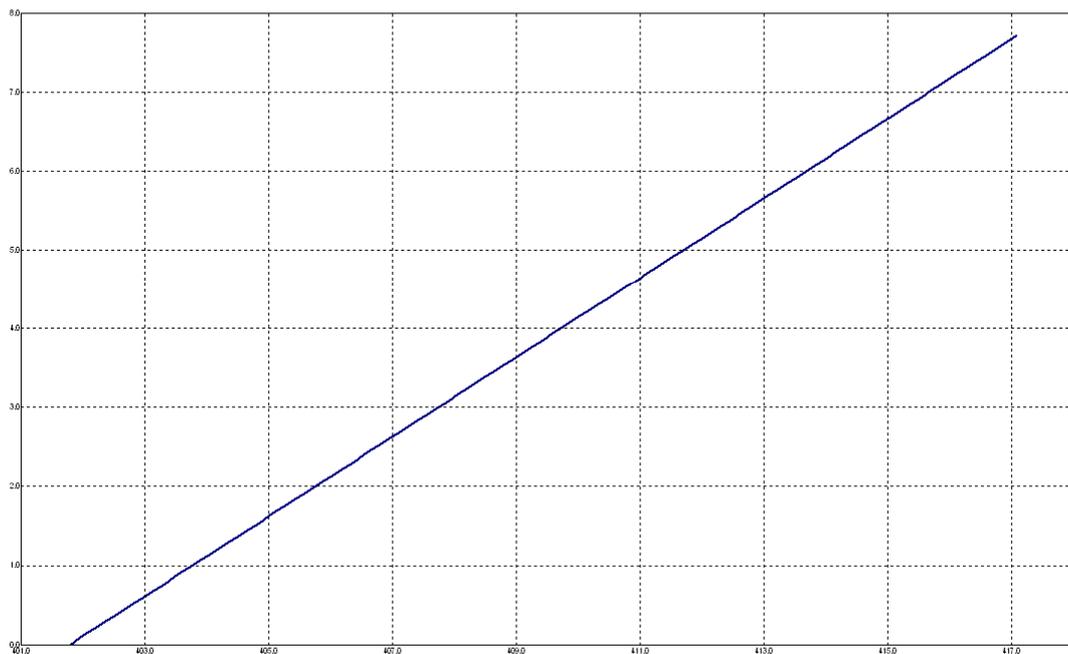
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV\_B2

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV\_B2

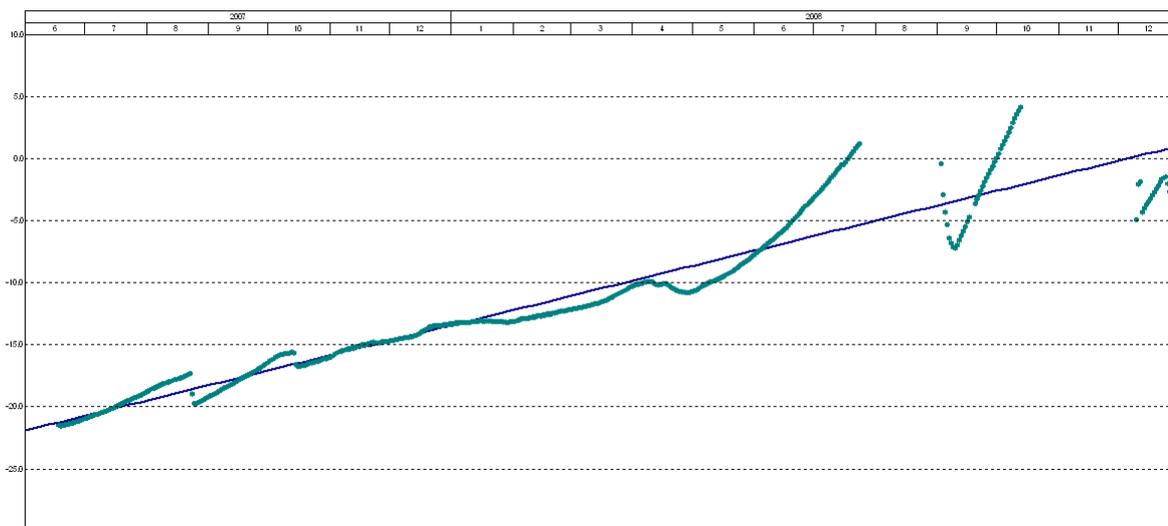
Unidades



cod (8)

PRESA: La Sotonera  
TENDENCIA DE ACUMULADOS EN EL TIEMPO DE: PCV\_B2

Unidades



Curva 1:  $y = a + bx$  //  $cor = 0.95$  //  $media = -11.773$  //  $n^{\circ} \text{ datos} = 493$  //  $y_{90} = 4.6807$  //  $pendiente \text{ media} = 14.4422$

PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: PCV\_B2

Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991

Función de Ajuste

Coefficiente

Período de Ajuste

Ln(tiempo)

218.328

18/06/2007 al 26/06/2008

1-1/Ln(tiempo)

0.000

Nº de datos: 375

1-e<sup>-tiempo/365</sup>

0.000

Nivel embalse mínimo: 401.79

HC

7.71342

Nivel embalse máximo: 417.08

HC<sup>2</sup>

0.000

Tiempo de media móvil (días): 30

HC<sup>3</sup>

0.000

Tiempo de efecto diferido (días): 3

(HC-HCA)\*HC<sup>2</sup>

0.000

Error cuadrático: 1.024213

sen(PT)

0.000

Error Máximo positivo: 2.606934

cos(PT)

0.000

Error Máximo negativo: -2.139221

sen(2\*PT)

0.000

Tolerancia: 2.64247

cos(2\*PT)

0.000

TD-TDC

0.000

Período de Comprobación

TMM-TMMC

0.000

27/06/2008 al 31/12/2008

TMM-TMMCA+TMM-TMMC

0.000

Nº de datos: 89

sen(PT)\*HC<sup>2</sup>

0.000

Error cuadrático: 3.761381

cos(PT)\*HC<sup>2</sup>

0.000

Error Máximo positivo: 6.841919

LL

0.000

Error Máximo negativo: -4.232117

LLMM

0.000

Índice de Tolerancia: 35.95506 %

T. independiente

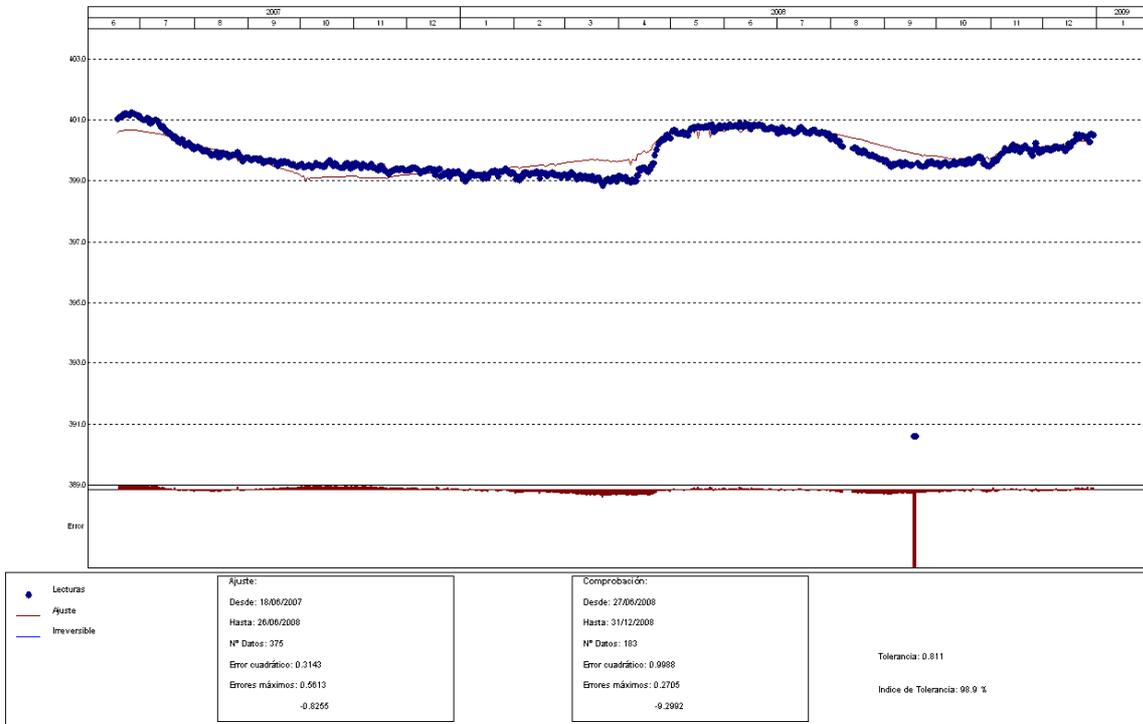
-1495.680

### 3.1.1.5 PCV en la sección de control S-3N.

#### PCV-A1

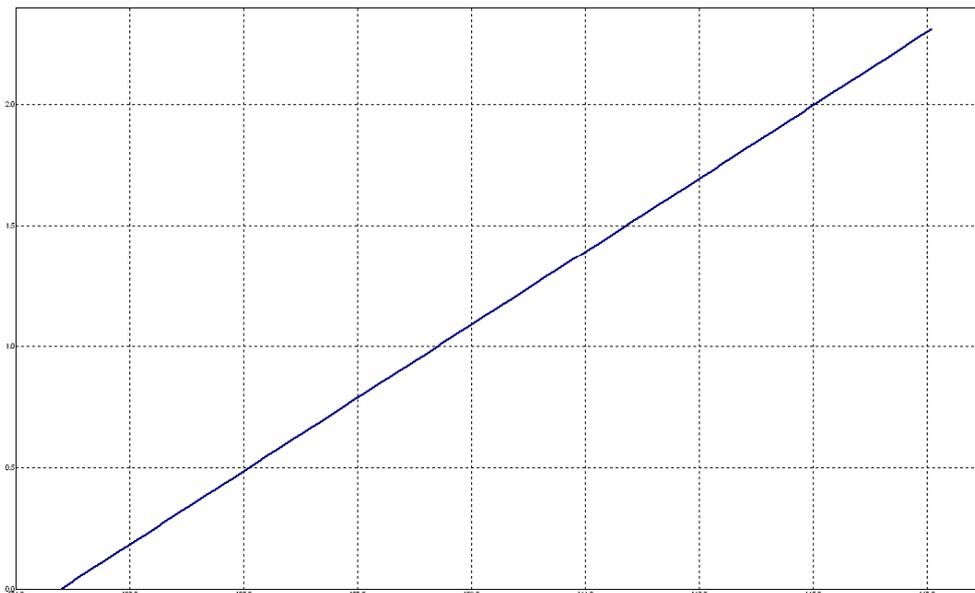
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-A1

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-A1

Unidades



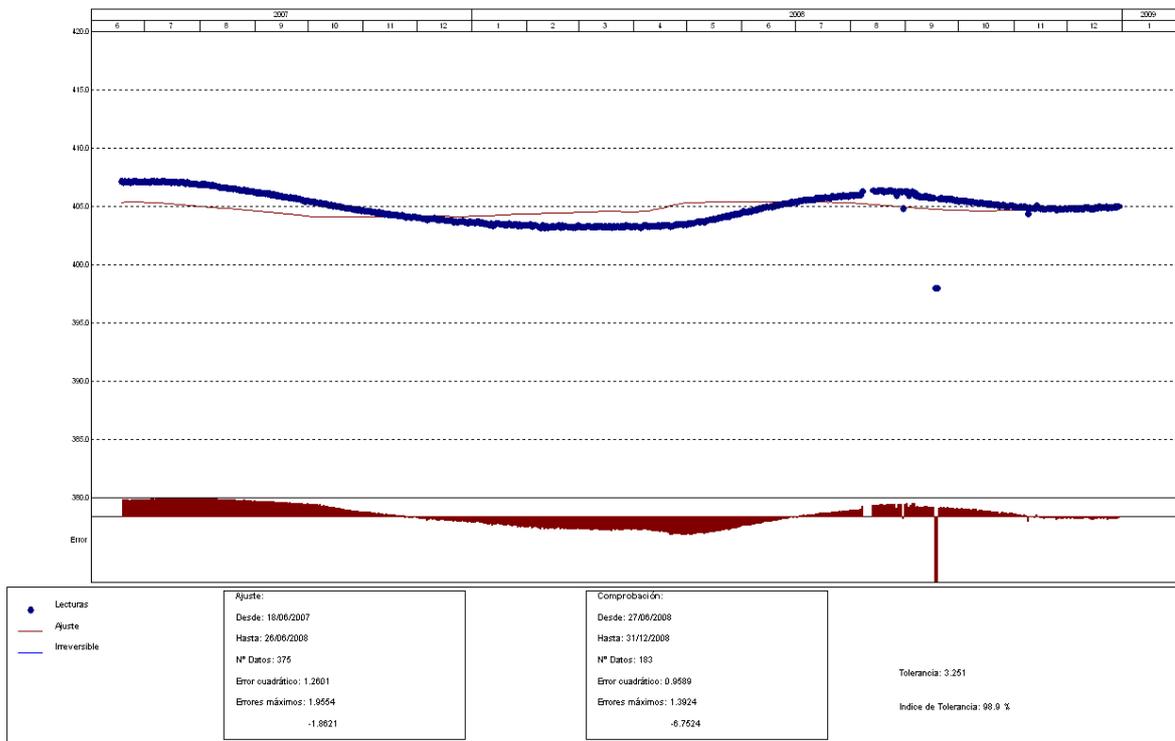
cont. (n)

PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: PCV-A1		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	18/06/2007 al 26/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 375
1-e <sup>-tiempo/365</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	2.31142	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.3143471
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 0.5613098
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -0.82547
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 0.8110157
cos(2*PT)	0.000	
TD-TDC	0.000	Período de Comprobación
TMM-TMMC	0.000	27/06/2008 al 31/12/2008
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 183
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.998802
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 0.2705078
LL	-1.10757	Error Máximo negativo: -9.299225
LLMM	0.000	Índice de Tolerancia: 98.9071 %
T. independiente	398.4283	

### PCV-A2

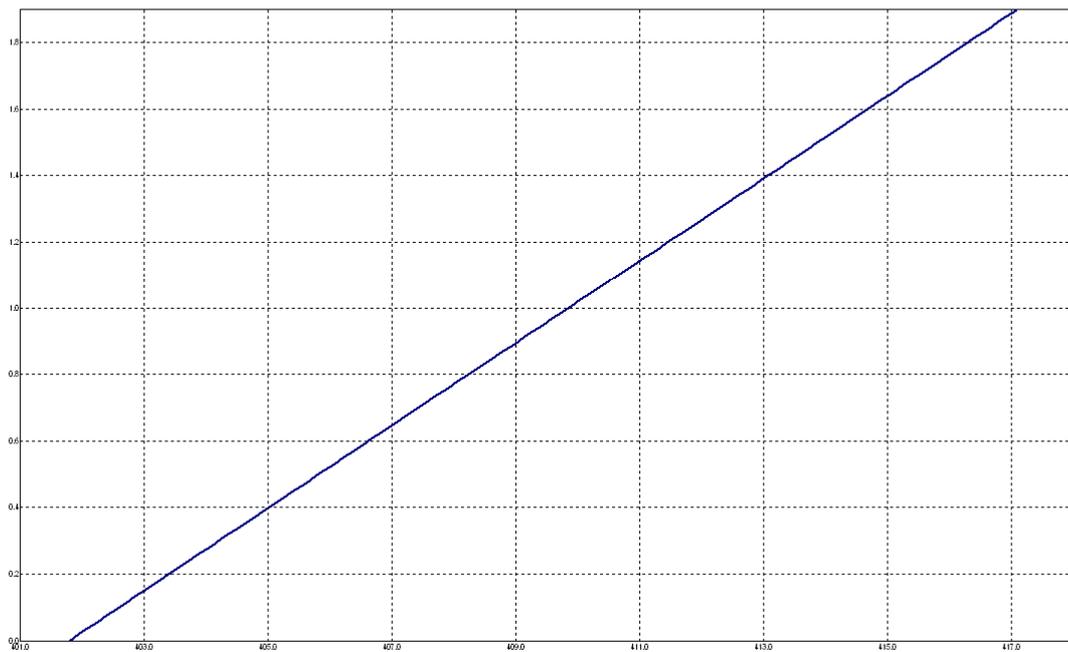
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-A2

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-A2

Unidades



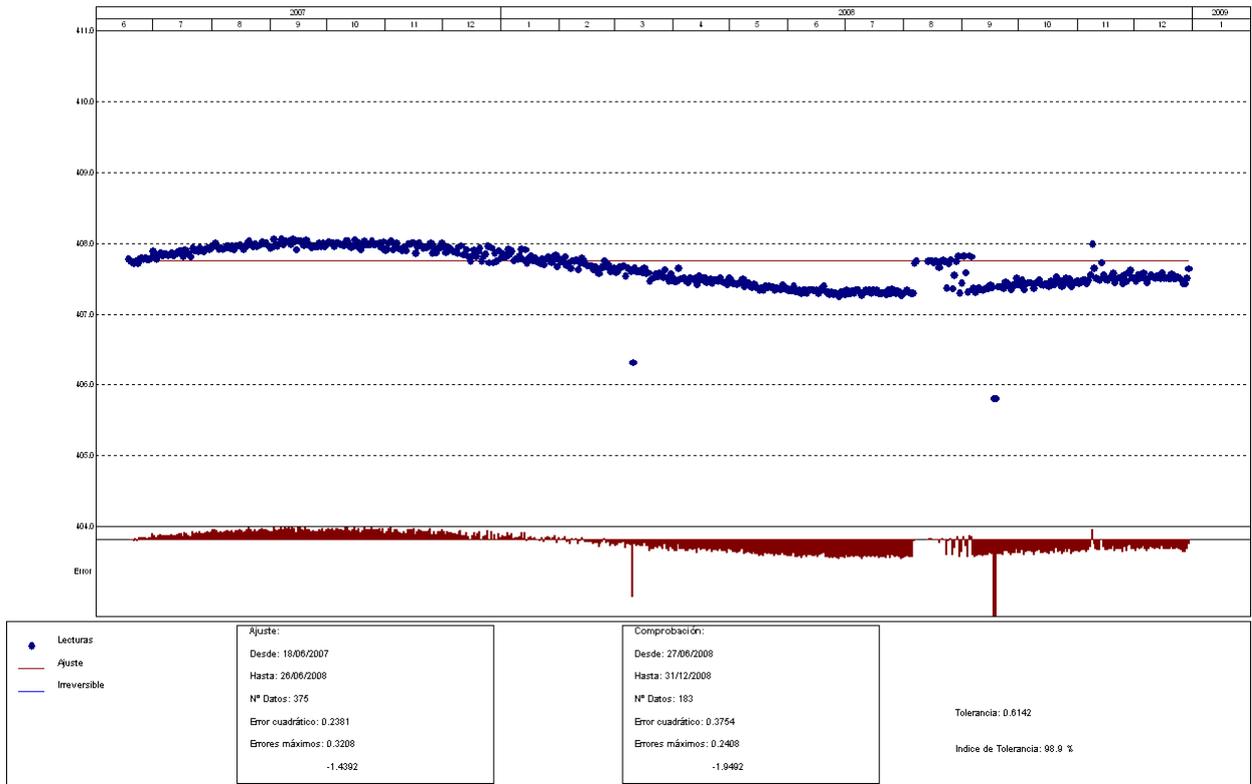
cost (m)

PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: PCV-A2		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	18/06/2007 al 26/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 375
1-e <sup>-tiempo/365</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	1.89757	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 1.260077
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 1.955444
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -1.862091
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 3.250998
cos(2*PT)	0.000	
TD-TDC	0.000	Período de Comprobación
TMM-TMMC	0.000	27/06/2008 al 31/12/2008
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 183
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.9588701
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 1.392365
LL	0.000	Error Máximo negativo: -6.75238
LLMM	0.000	Índice de Tolerancia: 98.9071 %
T. independiente	403.5448	

## PCV-A3

PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-A3

Unidades

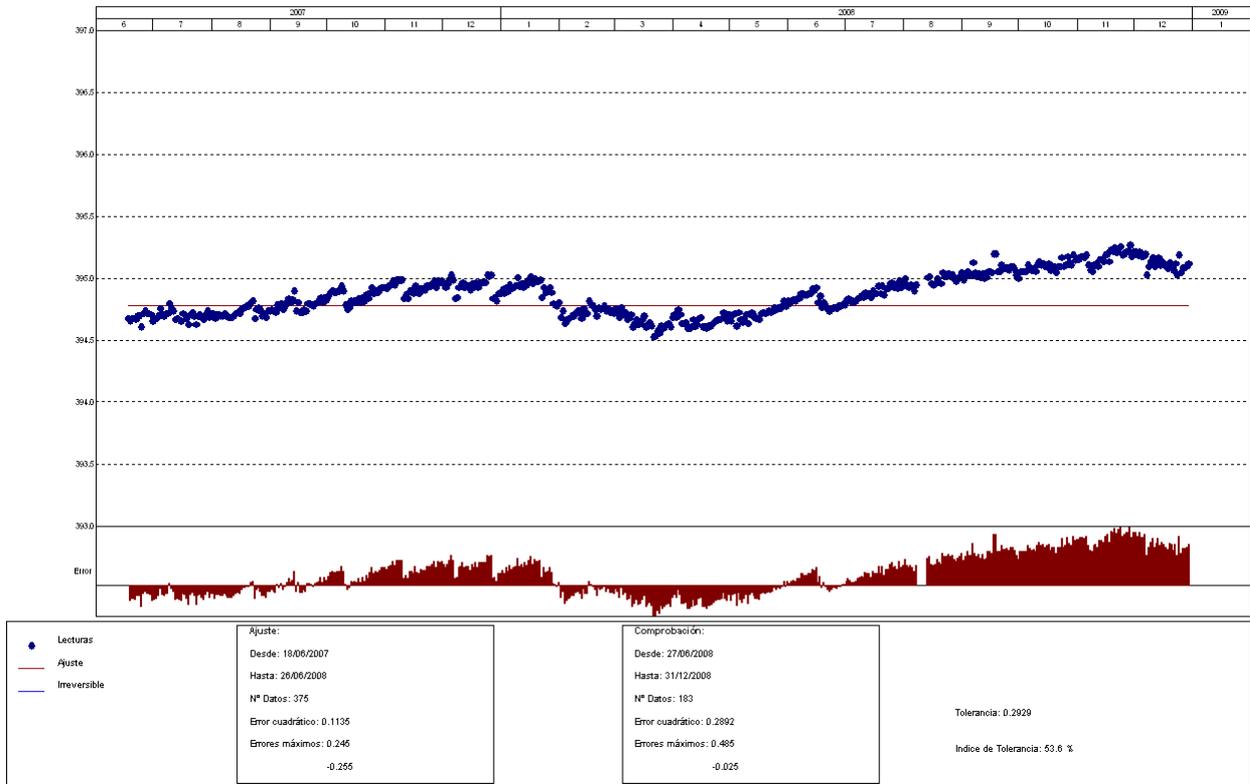


No es posible parametrizar de forma correcta el comportamiento de este piezómetro. .

## PCV-A4

PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-A4

Unidades

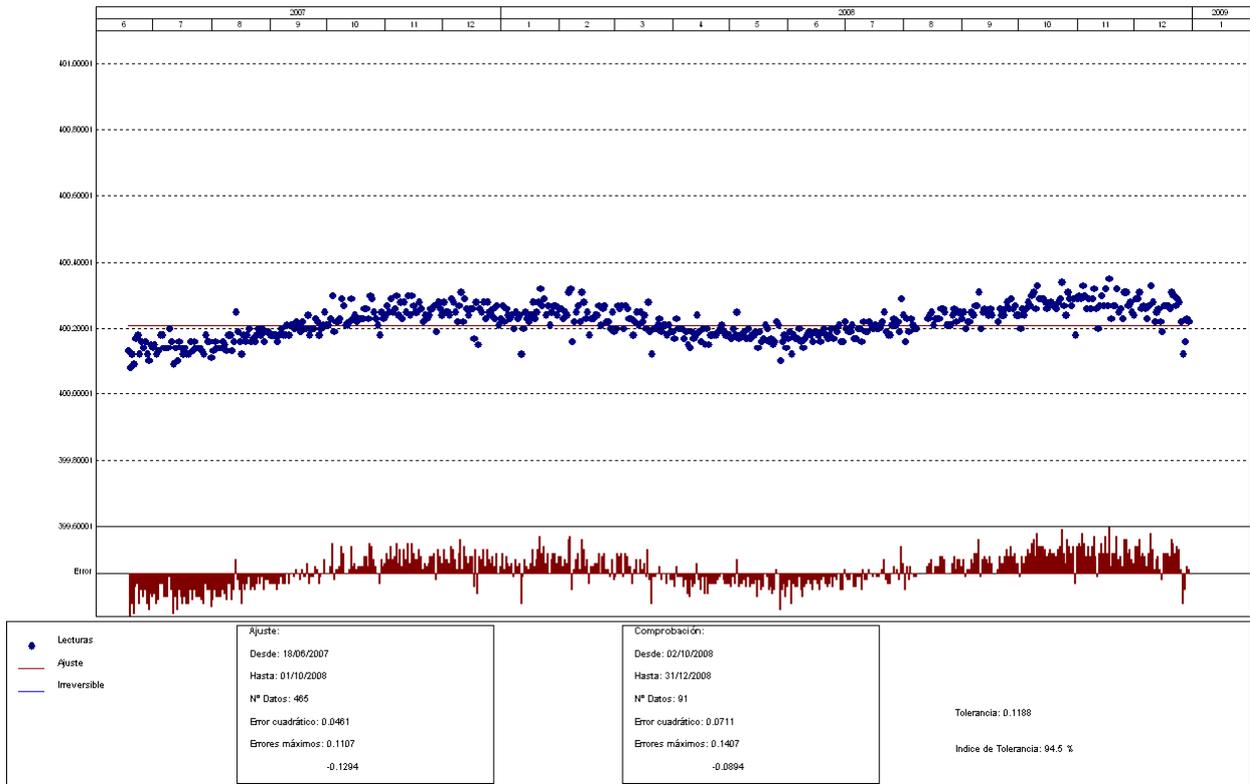


No es posible parametrizar de forma correcta el comportamiento de este piezómetro. .

## PCV-A5

PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-A6

Unidades



No es posible parametrizar de forma correcta el comportamiento de este piezómetro.

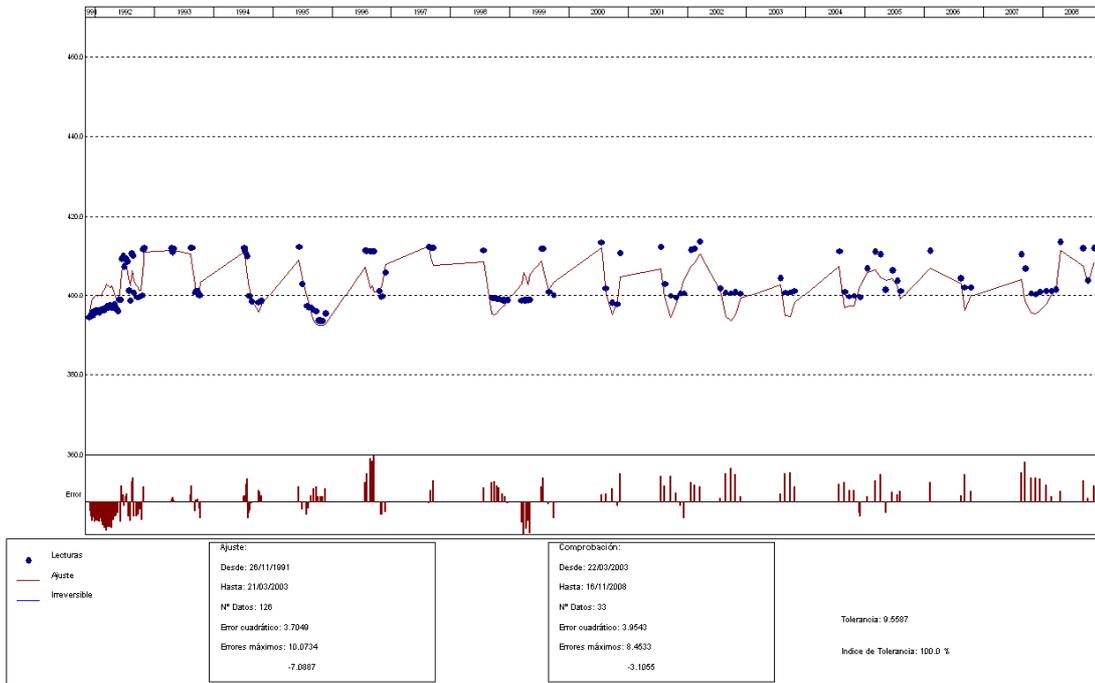
### 3.1.2 Piezómetros convencionales o abiertos.

#### 3.1.2.1 Piezómetros abiertos en la sección de control S-1 o Sotón.

##### P 1-1

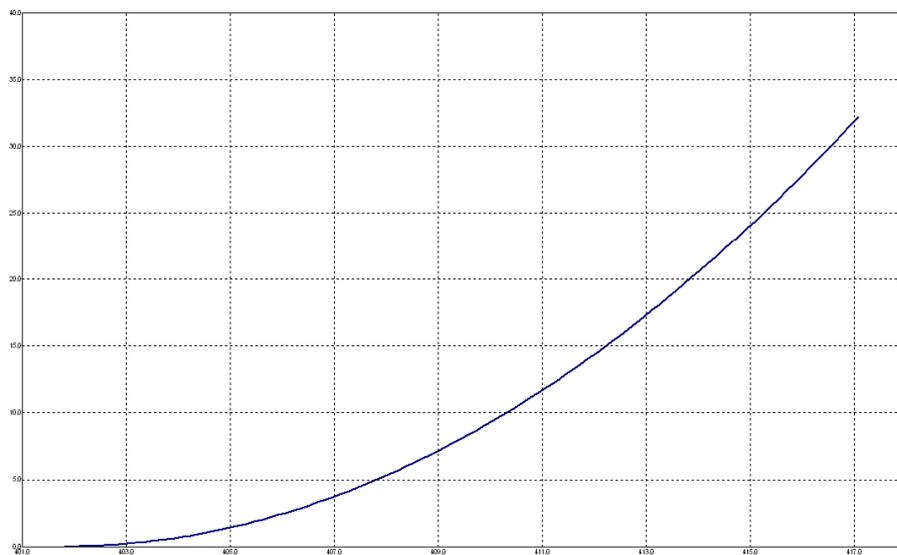
PRESA: La Sotonera  
MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: P1-1

Unidades:



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: P1-1

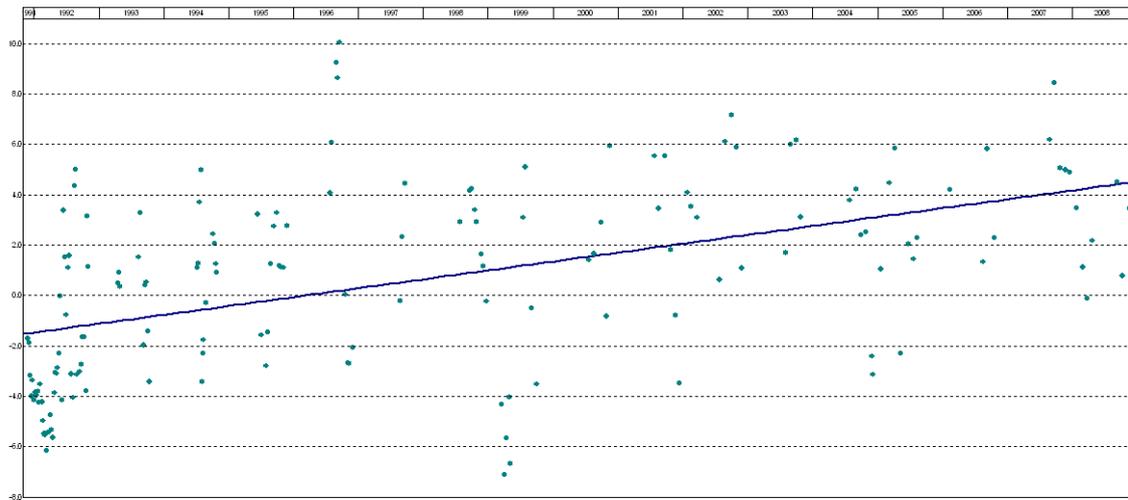
Unidades:



000 000

PRESA: La Sotonera  
TENDENCIA DE ACUMULADOS EN EL TIEMPO DE: P1-1

Unidades:



Curva 1:  $y = a + bx$  // cor = 0.61 // media = 0.6196 // n° datos = 159 // y99 = 8.2636 // pendiente media = 0.3526

PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: P1-1		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coefficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	26/11/1991 al 21/03/2003
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 126
1-e <sup>-(tiempo/365)</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	0.000	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	32.23397	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 3.704906
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 10.07336
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -7.088745
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 9.558657
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	22/03/2003 al 16/11/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 33
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 3.954255
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 8.453339
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: -3.105469
LL	0.000	Índice de Tolerancia: 100 %
LLMM	0.000	
T. independiente	392.4742	

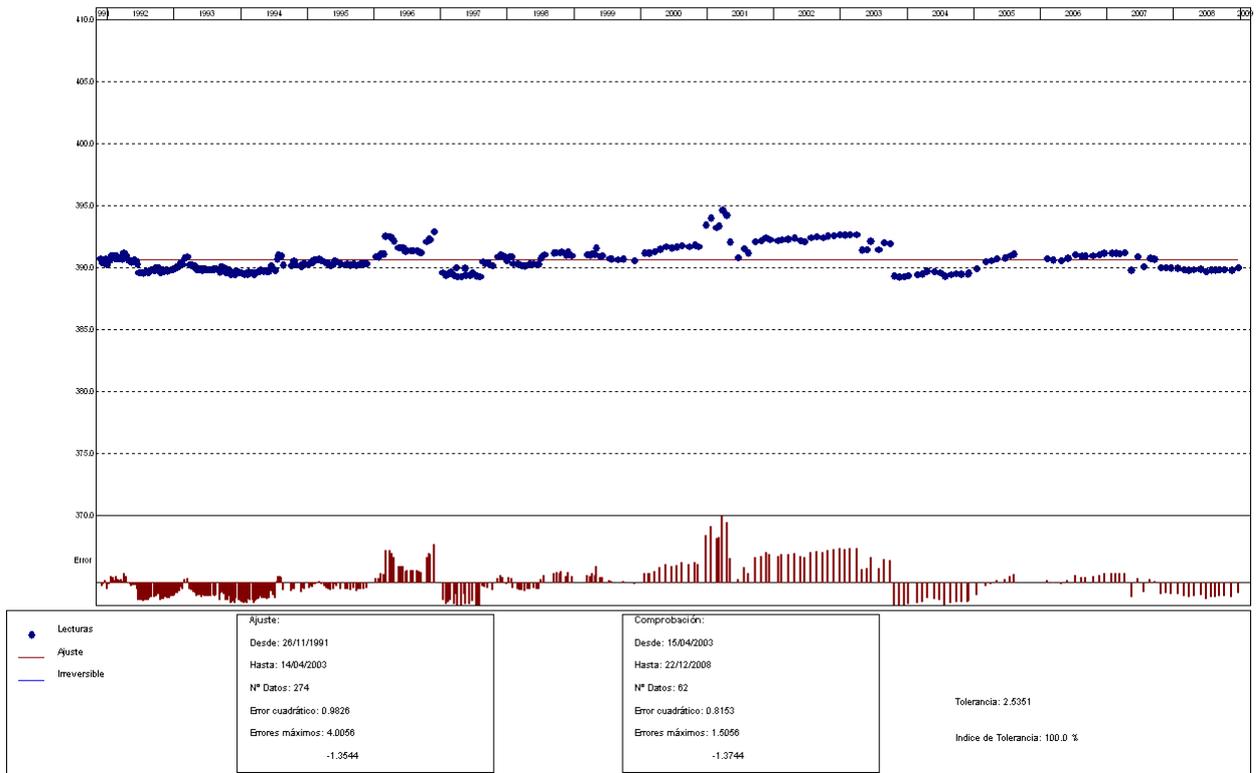
P1-2

Este piezómetro presenta lecturas superiores a las del embalse y están sobredimensionadas por la acumulación de fango. Con lo cual, no es posible llevar a cabo una modelación estadística consistente.

## P1-3

PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: P1-3

Unidades

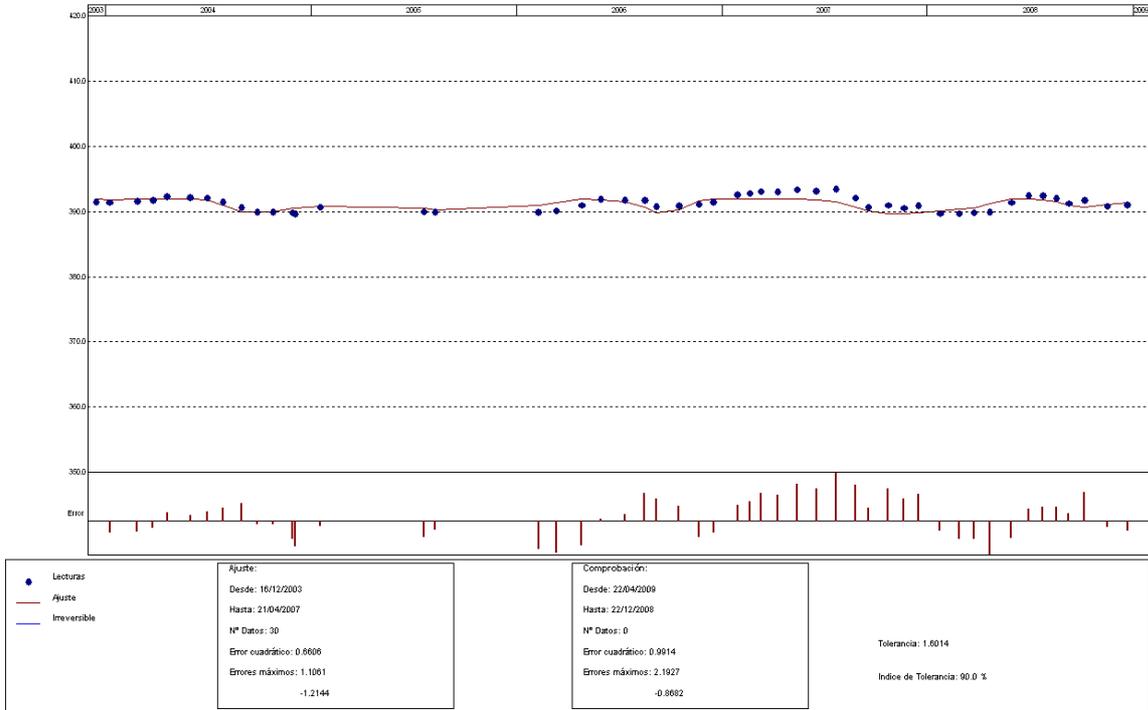


No es posible parametrizar de forma correcta el comportamiento de este piezómetro. .

### P1-4

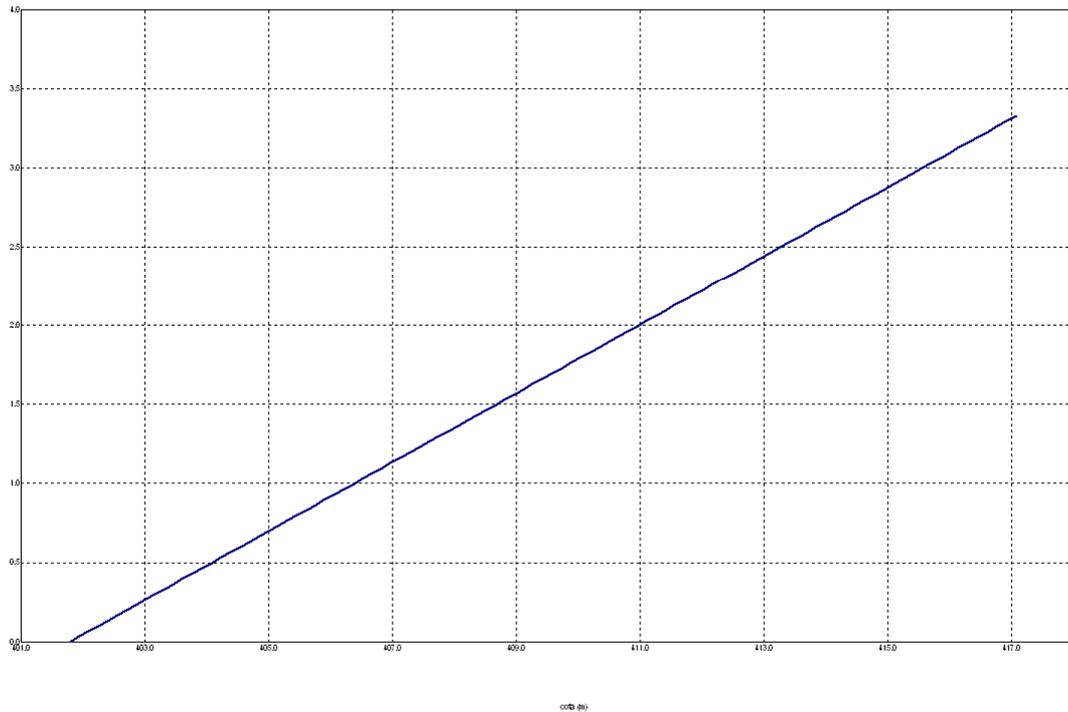
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: P1-4

Unidades:



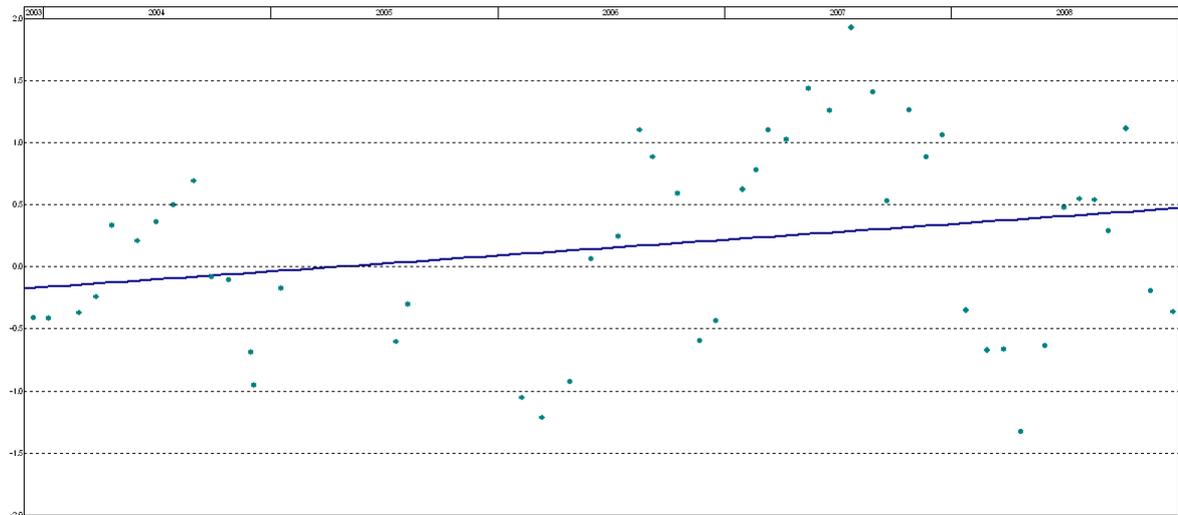
PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: P1-4

Unidades:



PRESA: La Sotonera  
TENDENCIA DE ACUMULADOS EN EL TIEMPO DE: P1-4

Unidades



Curva 1:  $y = a + bx$  //  $cor = 0.25$  //  $media = 0.1713$  //  $n^{\circ}$  datos = 50 //  $y_{99} = 1.9419$  //  $pendiente\ media = 0.1272$

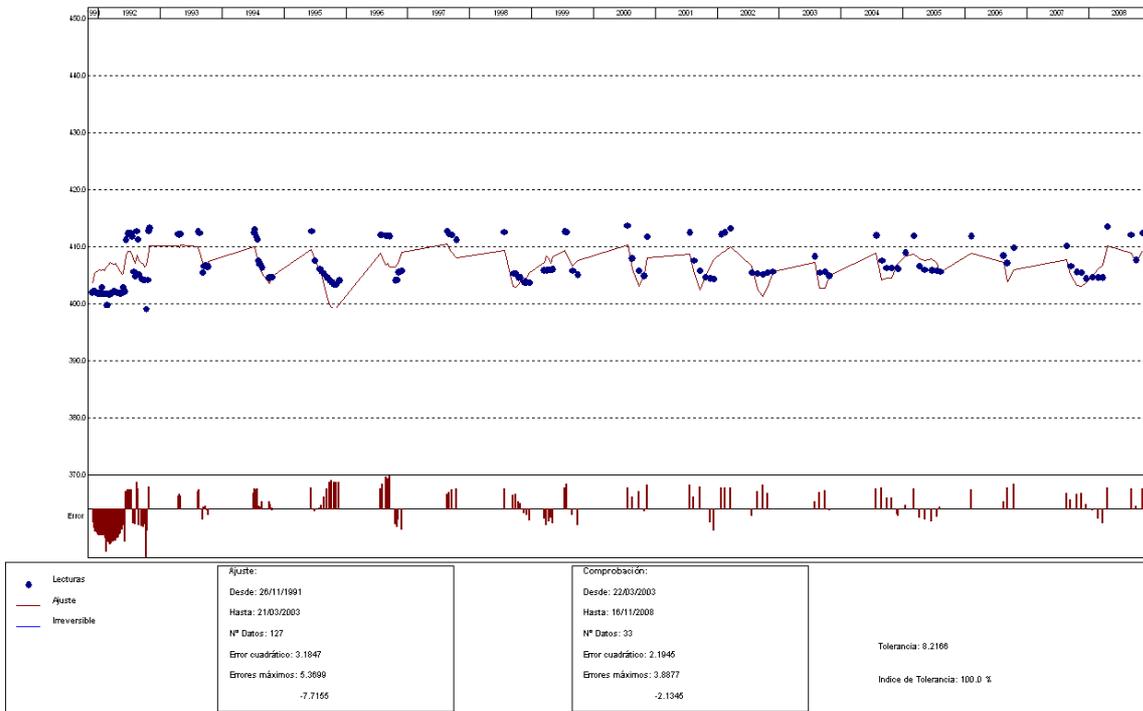
PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: P1-4		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coefficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	16/12/2003 al 21/04/2007
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 30
1-e <sup>-(tiempo/365)</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	3.33032	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.660575
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 1.10614
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -1.214417
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 1.60137
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	22/04/2009 al 22/12/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 0
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 0.9914339
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 2.192657
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: -0.8682251
LL	0.000	Índice de Tolerancia: 90 %
LLMM	0.000	
T. independiente	388.675	

### 3.1.2.2 Piezómetros abiertos en la sección de control S-2 o Astón-2.

#### P 2-1

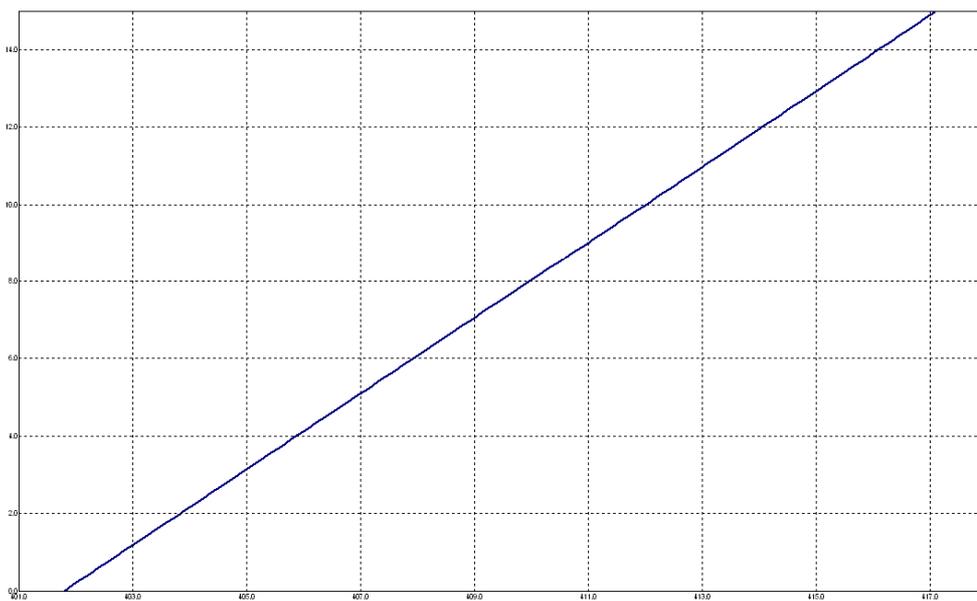
PRESA: La Sotonera  
MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: P2-1

Unidades:



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: P2-1

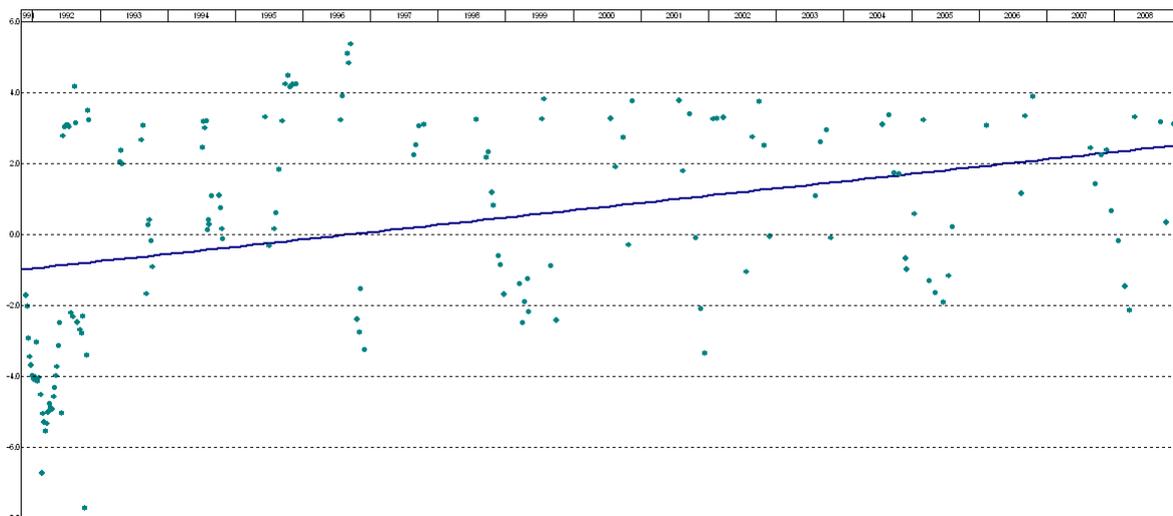
Unidades:



000 00

PRESA: La Sotonera  
TENDENCIA DE ACUMULADOS EN EL TIEMPO DE: P2-1

Unidades



Curva 1:  $y = a + bx$  //  $cor = 0.36$  //  $media = 0.2476$  //  $n^{\circ}$  datos = 160 //  $y_{90} = 7.2089$  //  $pendiente media = 0.2052$

PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: P2-1

Función de Ajuste	Coefficiente
Ln(tiempo)	0.000
1-1/Ln(tiempo)	0.000
1-e <sup>-(tiempo/365)</sup>	0.000
HC	14.9694
HC <sup>2</sup>	0.000
HC <sup>3</sup>	0.000
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000
sen(PT)	0.000
cos(PT)	0.000
sen(2*PT)	0.000
cos(2*PT)	0.000
TD-TDC	0.000
TMM-TMMC	0.000
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000
LL	0.000
LLMM	0.000
T. independiente	398.7466

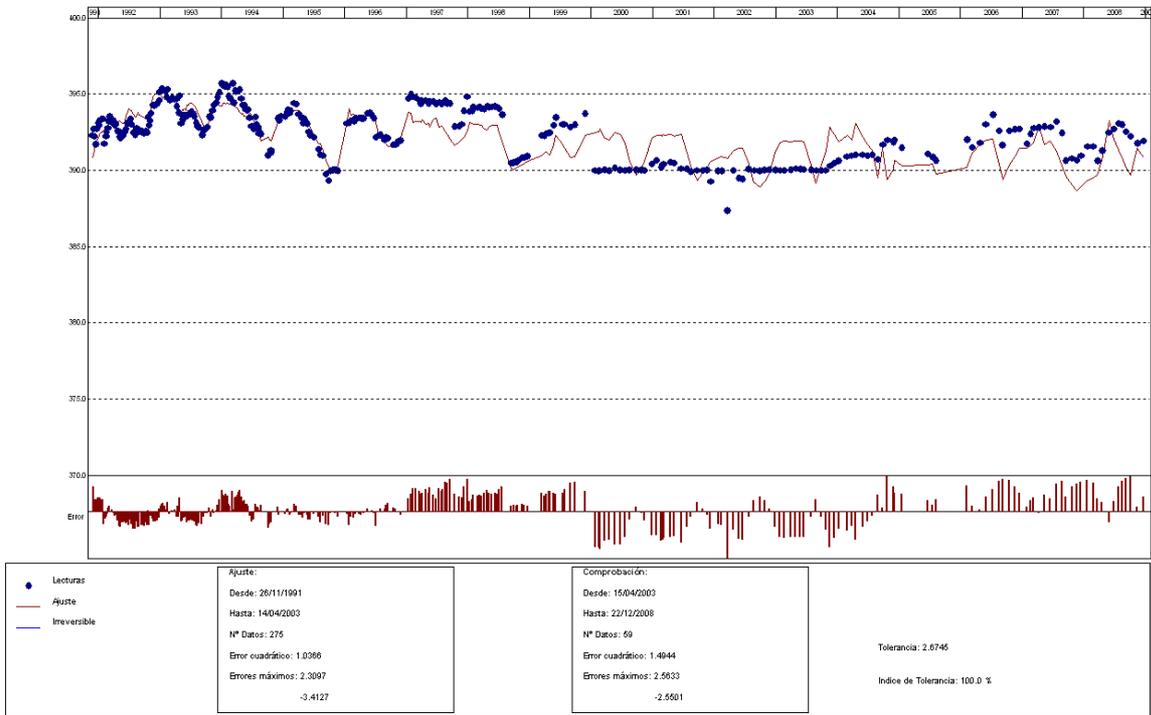
Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991

Período de Ajuste	26/11/1991 al 21/03/2003
Nº de datos:	127
Nivel embalse mínimo:	401.79
Nivel embalse máximo:	417.08
Tiempo de media móvil (días):	30
Tiempo de efecto diferido (días):	3
Error cuadrático:	3.184724
Error Máximo positivo:	5.369873
Error Máximo negativo:	-7.715546
Tolerancia:	8.216587
Período de Comprobación	22/03/2003 al 16/11/2008
Nº de datos:	33
Error cuadrático:	2.19451
Error Máximo positivo:	3.887726
Error Máximo negativo:	-2.13446
Índice de Tolerancia:	100 %

## P2-2

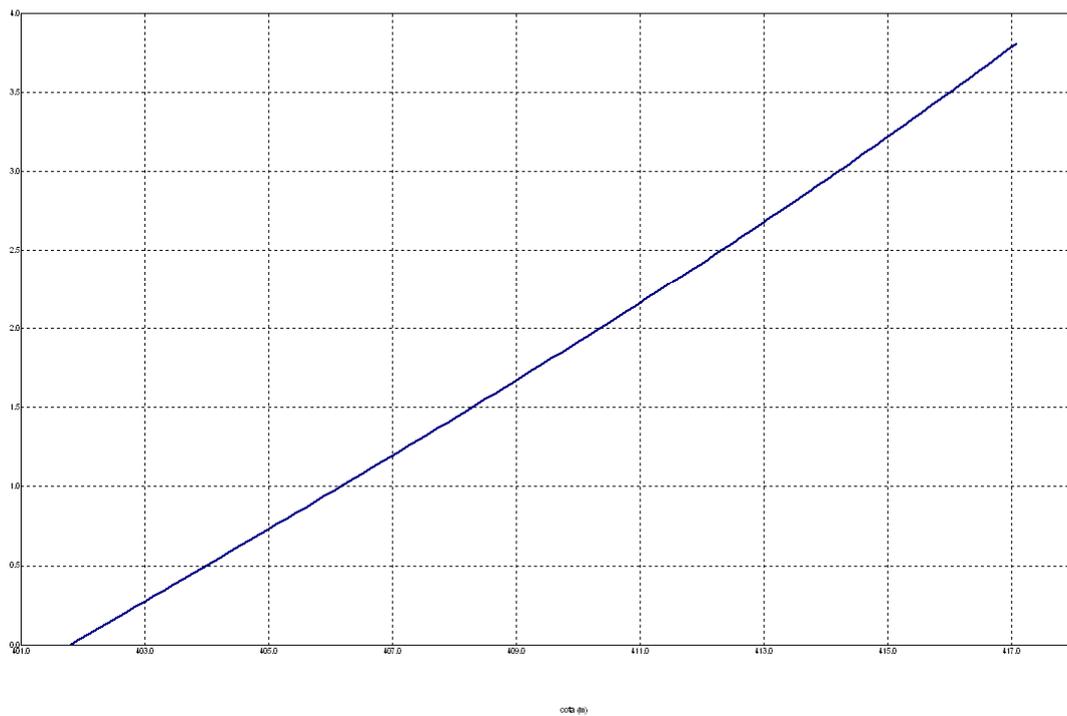
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: P2-2

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: P2-2

Unidades

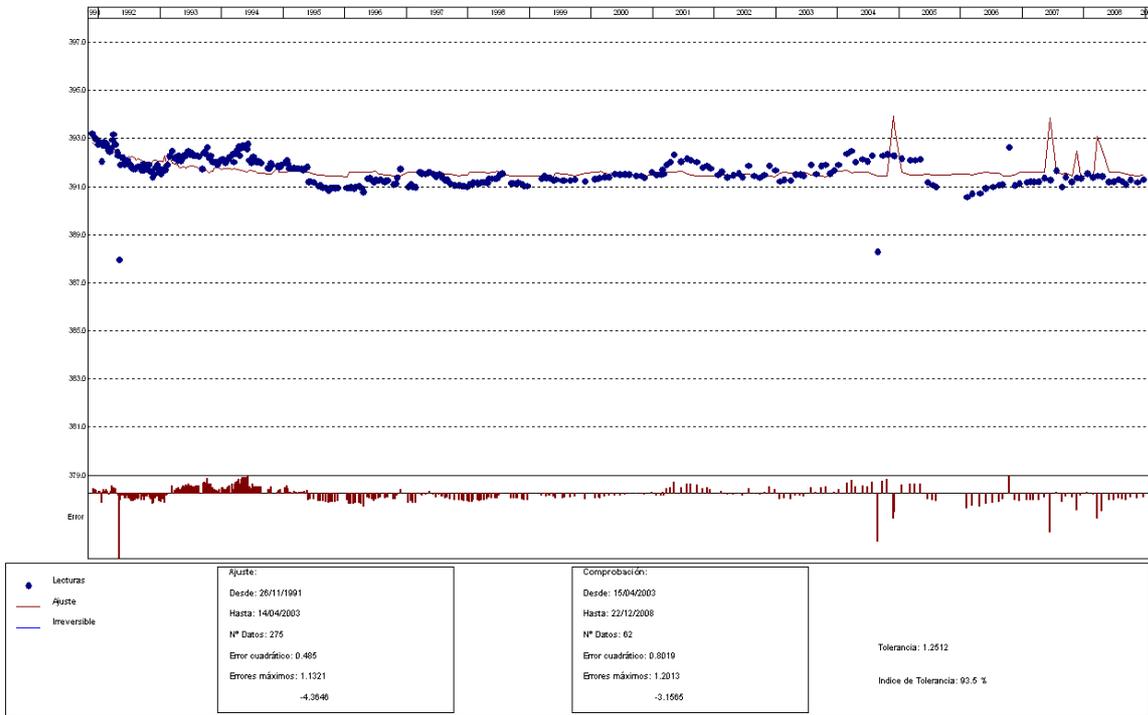


PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: P2-2		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coefficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	-3.26064	26/11/1991 al 14/04/2003
1-1/Ln(tiempo)	100.6963	Nº de datos: 275
1-e <sup>^</sup> (-tiempo/365)	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	3.47027	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.34209	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	-19.78445	Error cuadrático: 1.036623
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 2.309723
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -3.412689
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 2.674487
cos(2*PT)	0.000	
TD-TDC	0.000	Período de Comprobación
TMM-TMMC	0.000	15/04/2003 al 22/12/2008
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 59
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 1.494442
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 2.563324
LL	0.000	Error Máximo negativo: -2.55014
LLMM	45.25139	Indice de Tolerancia: 100 %
T. independiente	326.8147	

P2-3

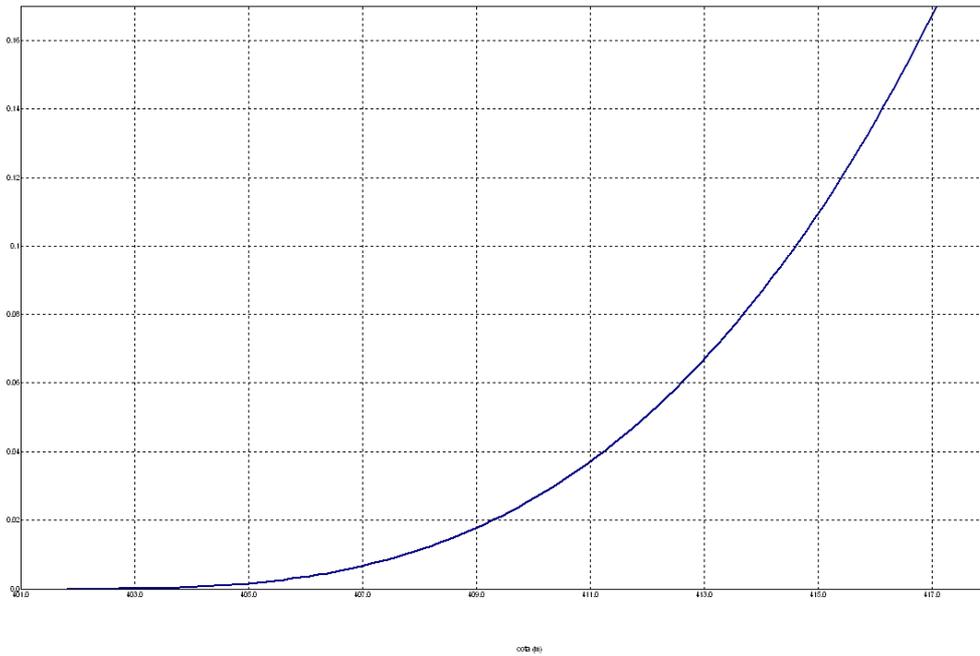
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: P2-3

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: P2-3

Unidades

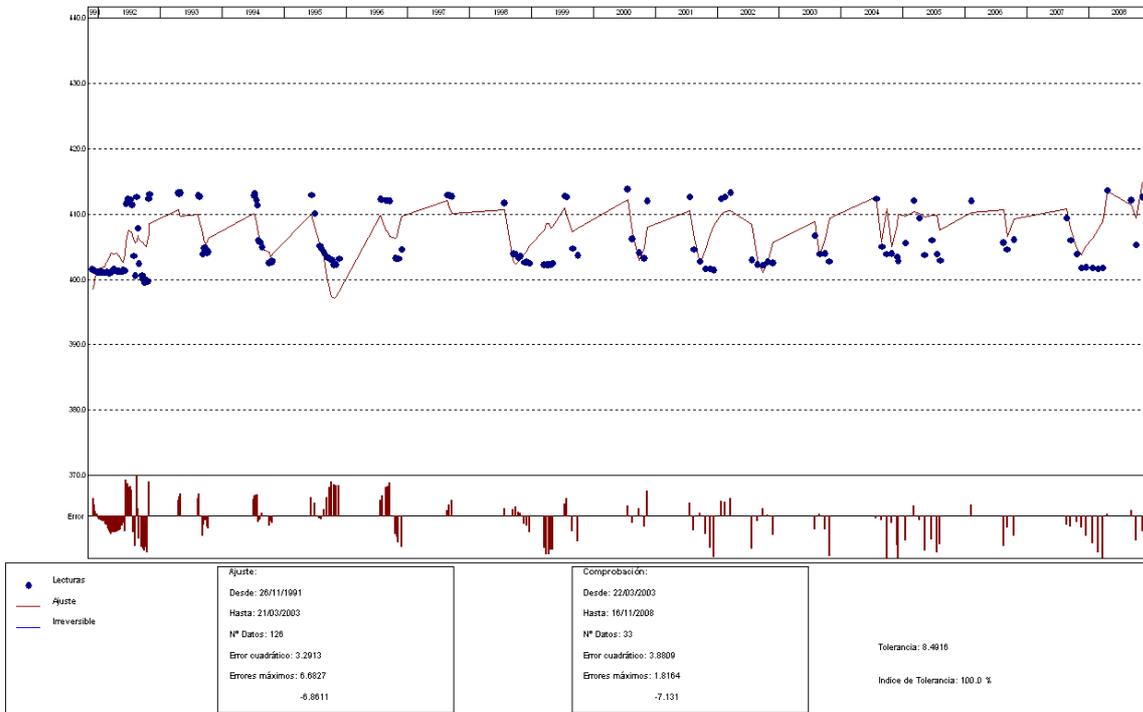


PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: P2-3		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coefficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	26/11/1991 al 14/04/2003
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 275
1-e <sup>^</sup> (-tiempo/365)	-1.60808	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	0.000	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.16996	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	-4.28273	Error cuadrático: 0.4849797
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 1.13205
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -4.364594
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 1.251248
cos(2*PT)	0.000	
TD-TDC	0.000	Período de Comprobación
TMM-TMMC	0.000	15/04/2003 al 22/12/2008
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 62
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.8018667
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 1.201324
LL	57.38535	Error Máximo negativo: -3.156525
LLMM	0.000	Indice de Tolerancia: 93.54839 %
T. independiente	393.0421	

### 3.1.2.3 Piezómetros abiertos en la sección de control S-3 o Astón-1. P3-1

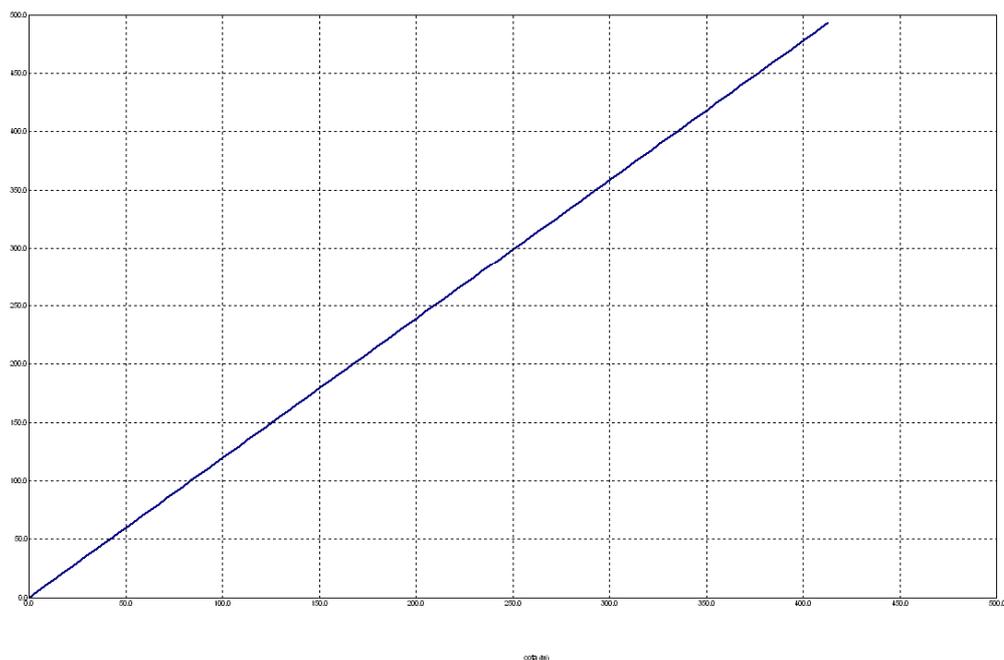
PRESA: La Sotonera  
MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: P3-1

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: P3-1

Unidades

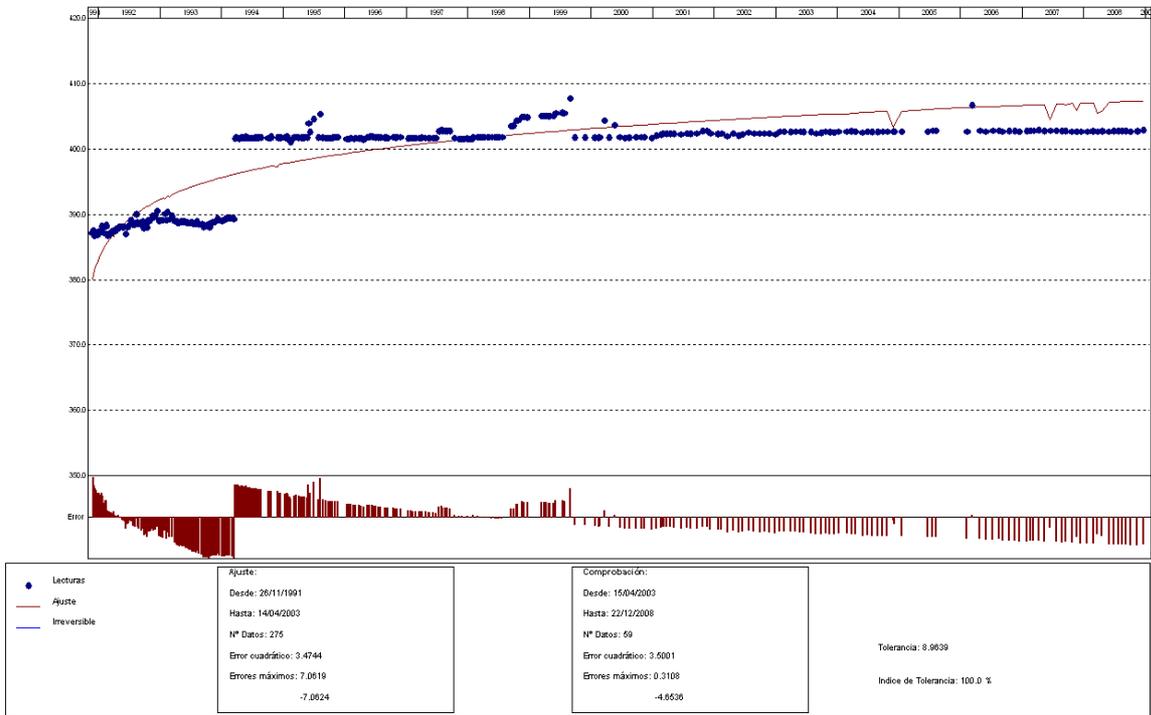


PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: P3-1		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coefficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	1.30962	26/11/1991 al 21/03/2003
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 126
1-e <sup>-tiempo/365</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 0.00
HC	498.5145	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	-778.2105	Error cuadrático: 3.291308
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 6.682678
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -6.861115
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 8.491574
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	22/03/2003 al 16/11/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 33
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 3.88093
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 1.816437
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: -7.130981
LL	0.000	Indice de Tolerancia: 100 %
LLMM	124.0212	
T. independiente	-93.40405	

## P3-2

PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: P3-2

Unidades

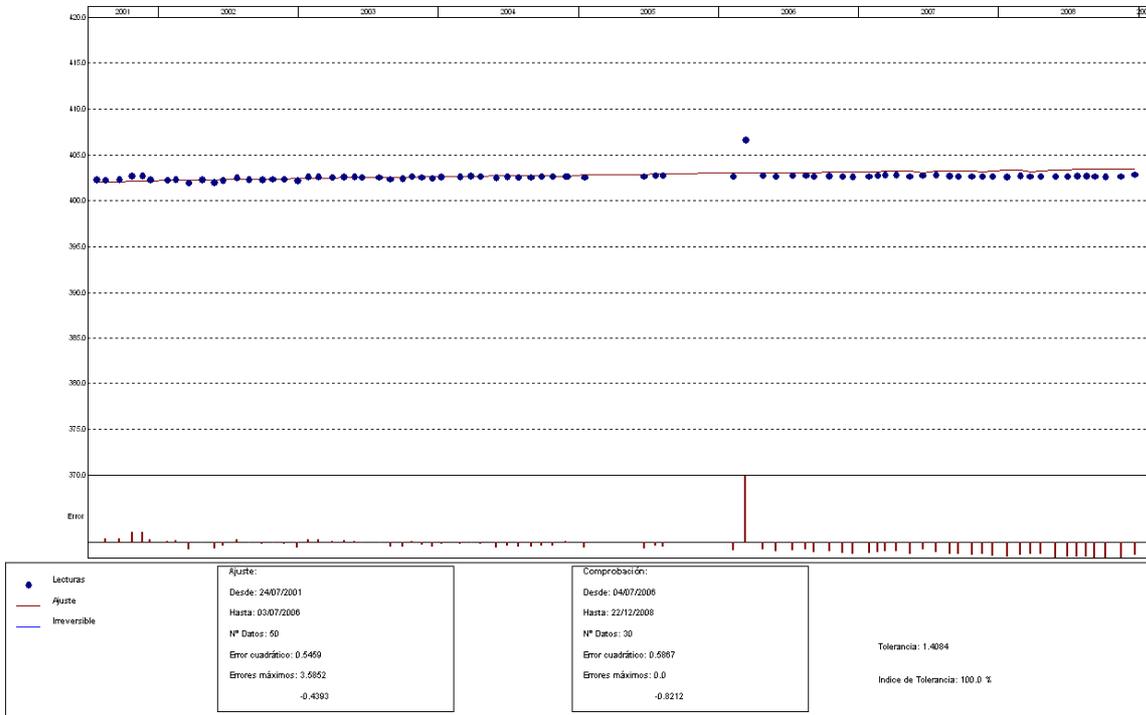


El piezómetro hidráulico o convencional P3-2 presenta una inconsistencia de datos en los primeros 2 años de registro. Con lo cual, se plantea un filtrado de la información con la intención de mejorar el modelo estadístico (2).

## P3-2

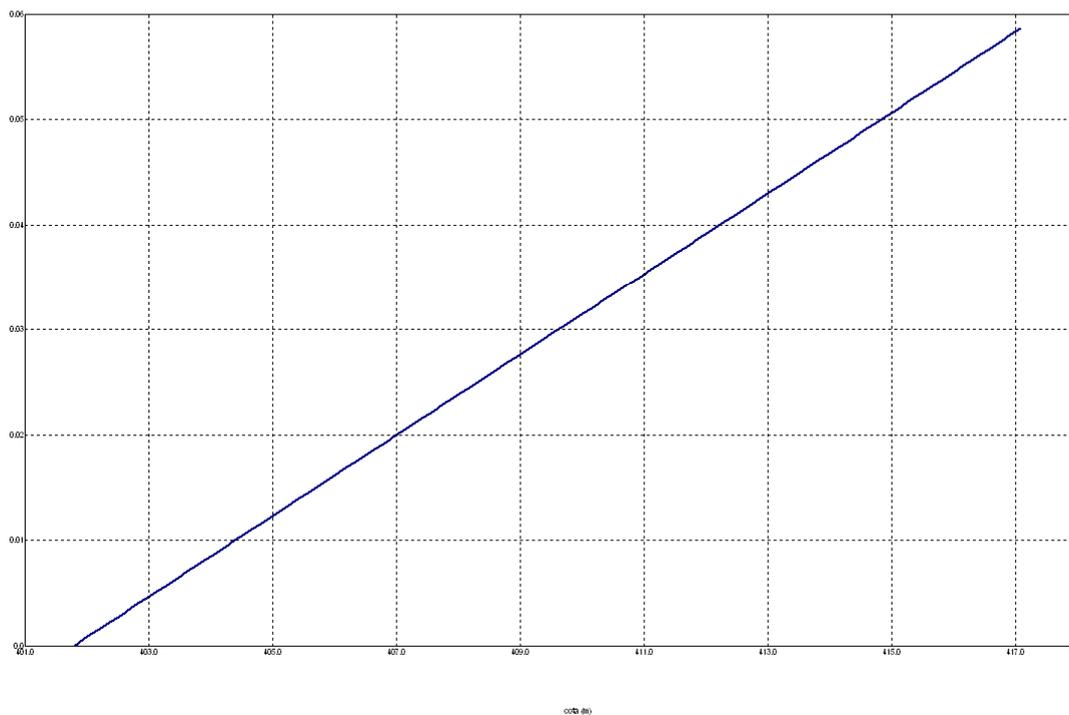
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: P3-2

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: P3-2

Unidades

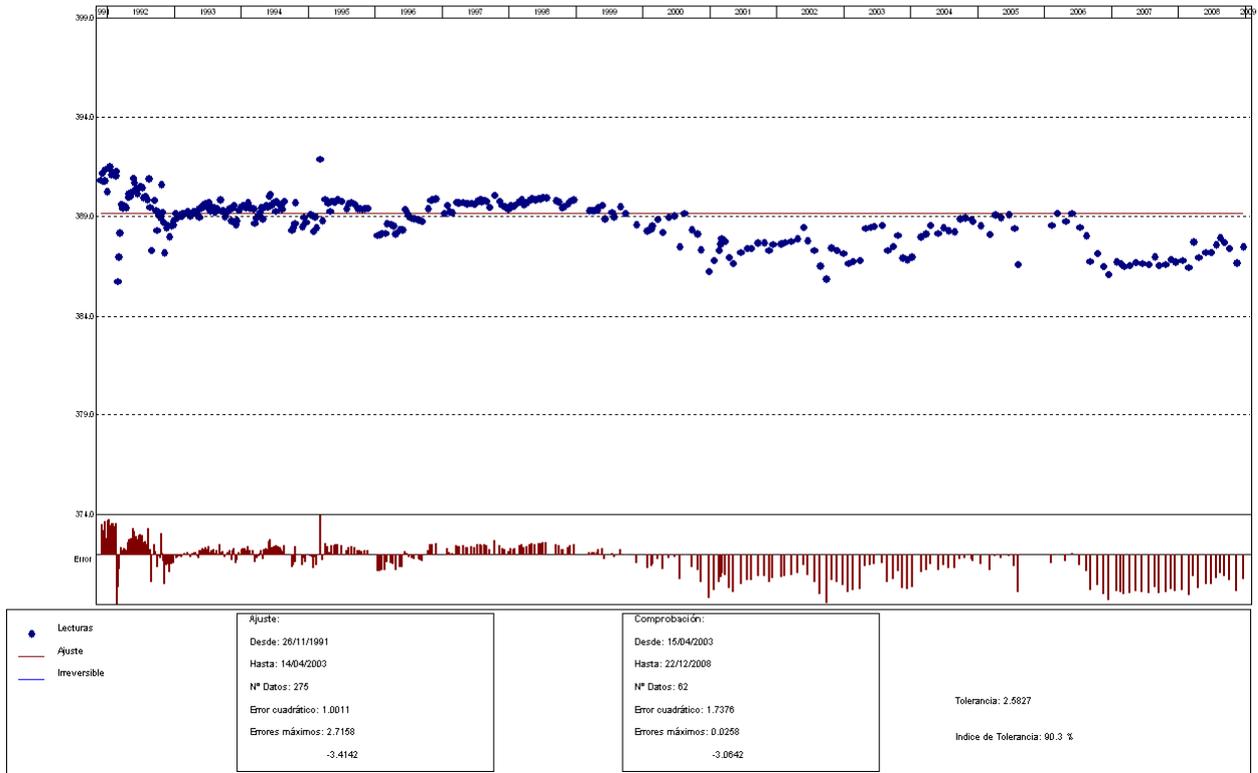


PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: P3-2		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coefficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	2.43908	24/07/2001 al 03/07/2006
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 50
1-e <sup>-tiempo/365</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	0.05863	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.5459058
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 3.585236
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -0.43927
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 1.408437
cos(2*PT)	0.000	
TD-TDC	0.000	Período de Comprobación
TMM-TMMC	0.000	04/07/2006 al 22/12/2008
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 30
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.5866536
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 0
LL	-5.18627	Error Máximo negativo: -0.8211975
LLMM	0.000	Indice de Tolerancia: 100 %
T. independiente	382.0923	

## P3-3

PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: P3-3

Unidades:



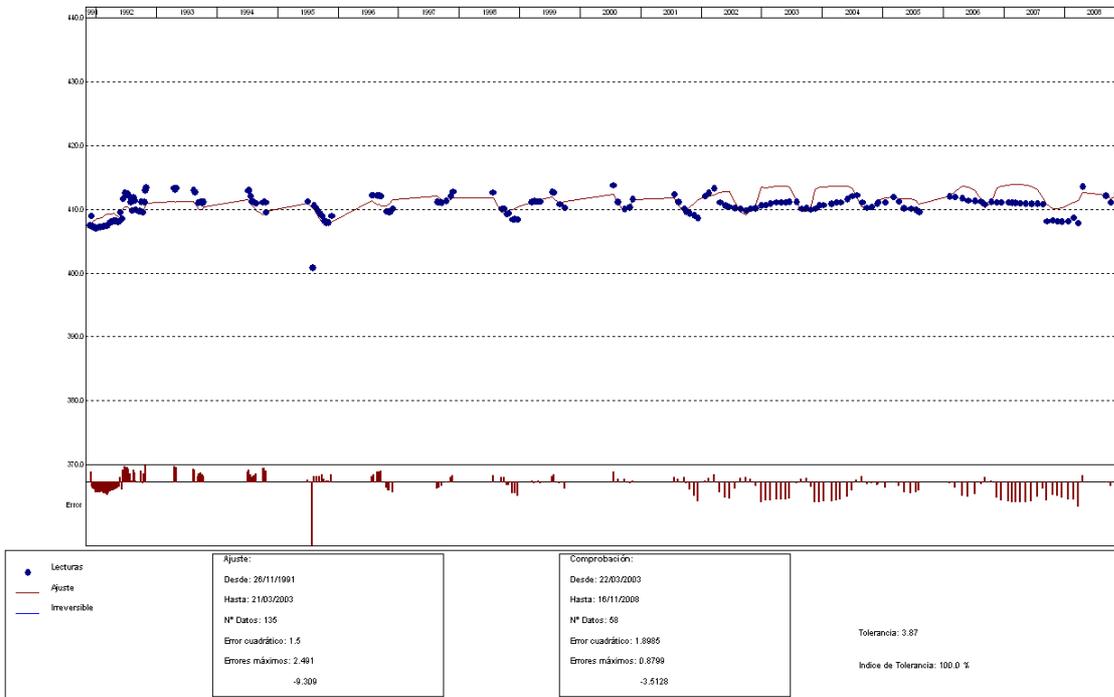
No es posible parametrizar de forma correcta el comportamiento de este piezómetro. .

### 3.1.2.4 Piezómetros abiertos en la sección de control S-4 o Alberca de Alcalá.

#### P4-1

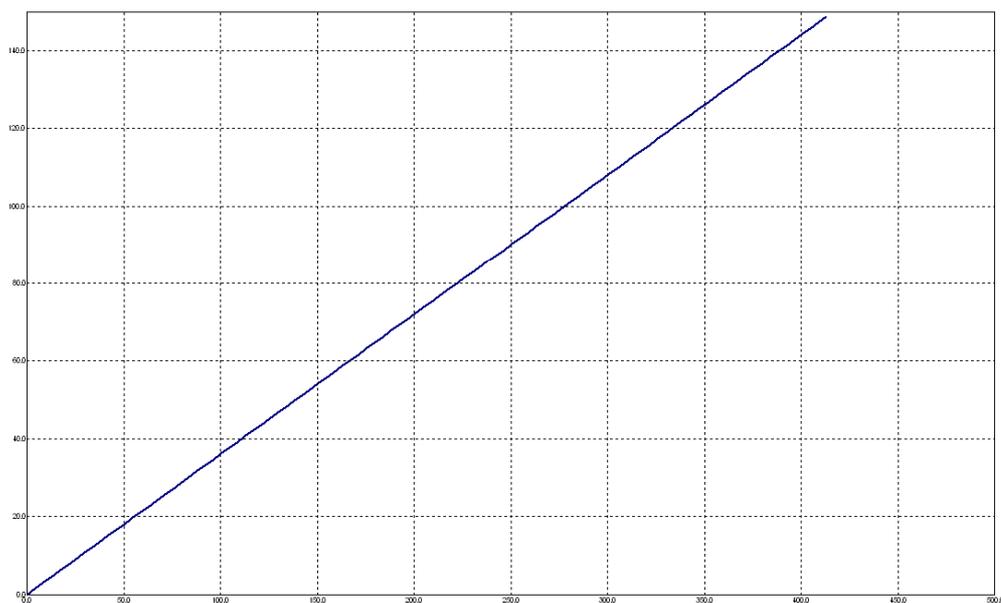
PRESA: La Sotonera  
MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: P4-1

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: P4-1

Unidades



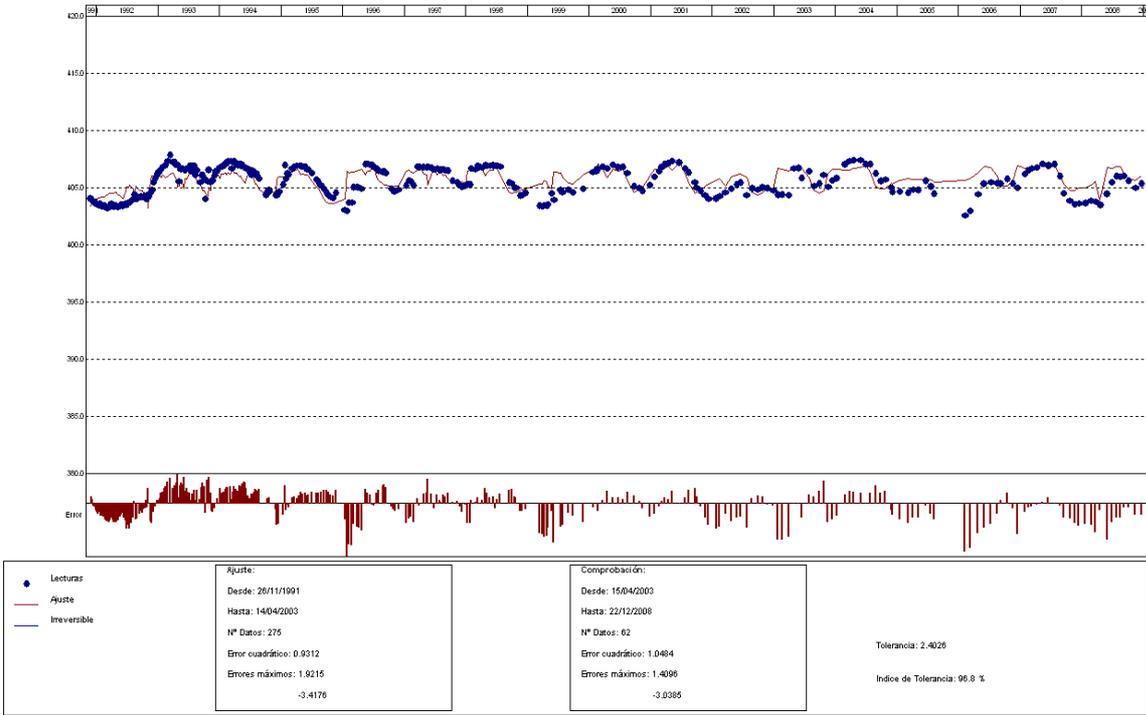
©(B) (B)

PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: P4-1		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.62305	26/11/1991 al 21/03/2003
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 135
1-e <sup>^</sup> (-tiempo/365)	0.000	Nivel embalse mínimo: 0.00
HC	150.2552	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 1.500006
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 2.490997
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -9.309021
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 3.870014
cos(2*PT)	0.000	
TD-TDC	0.000	Período de Comprobación
TMM-TMMC	0.000	22/03/2003 al 16/11/2008
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 58
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 1.898507
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 0.8798523
LL	0.000	Error Máximo negativo: -3.512756
LLMM	0.000	Indice de Tolerancia: 100 %
T. independiente	258.256	

P4-2

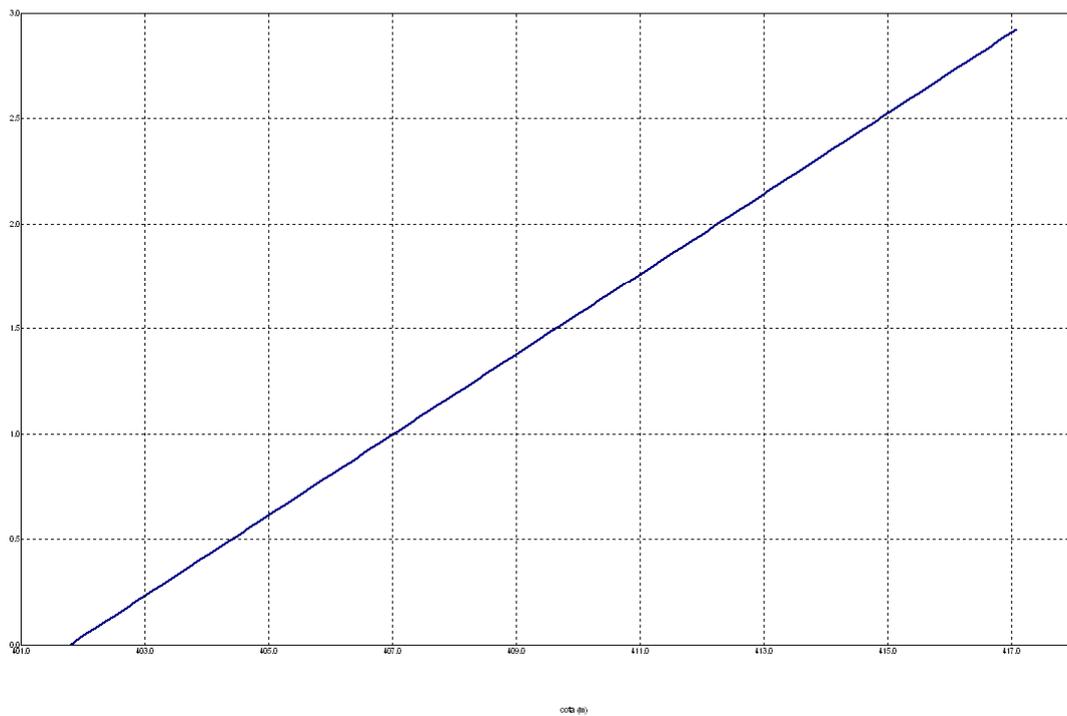
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: P4-2

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: P4-2

Unidades

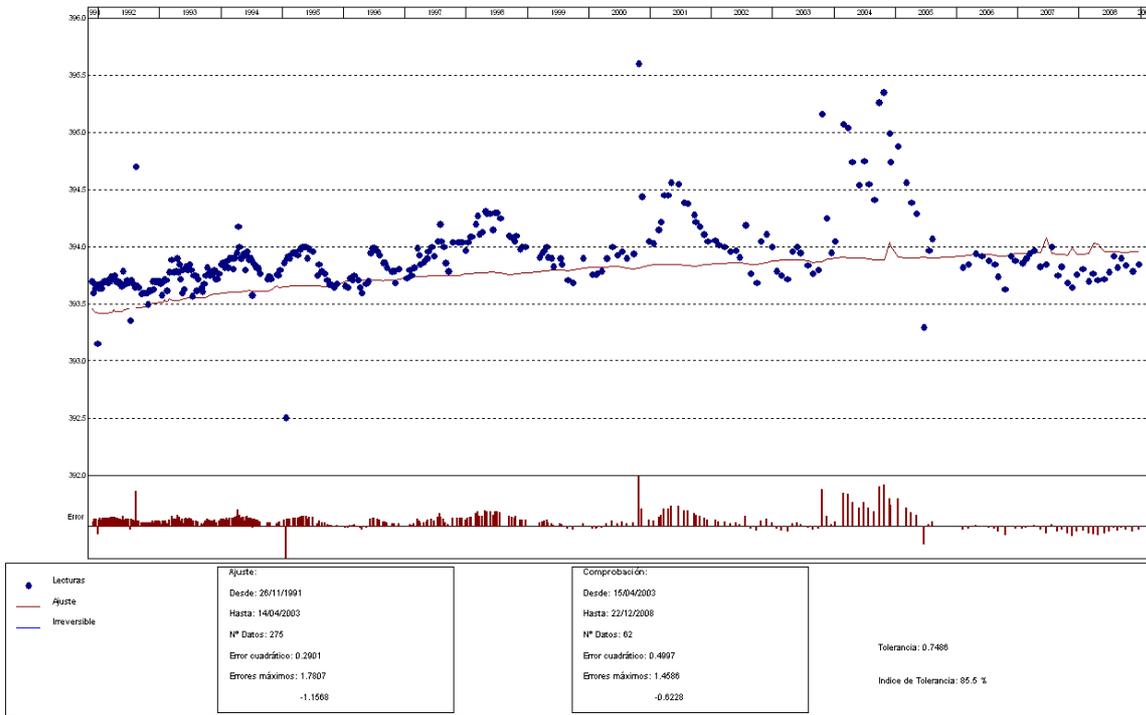


PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: P4-2		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coefficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.29937	26/11/1991 al 14/04/2003
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 275
1-e <sup>^</sup> (-tiempo/365)	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	2.92291	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	-45.67101	Error cuadrático: 0.9312284
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 1.921539
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -3.417603
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 2.402569
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	15/04/2003 al 22/12/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 62
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 1.048384
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 1.409607
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: -3.038513
LL	0.000	Indice de Tolerancia: 96.77419 %
LLMM	-1.22106	
T. independiente	401.322	

## P4-3

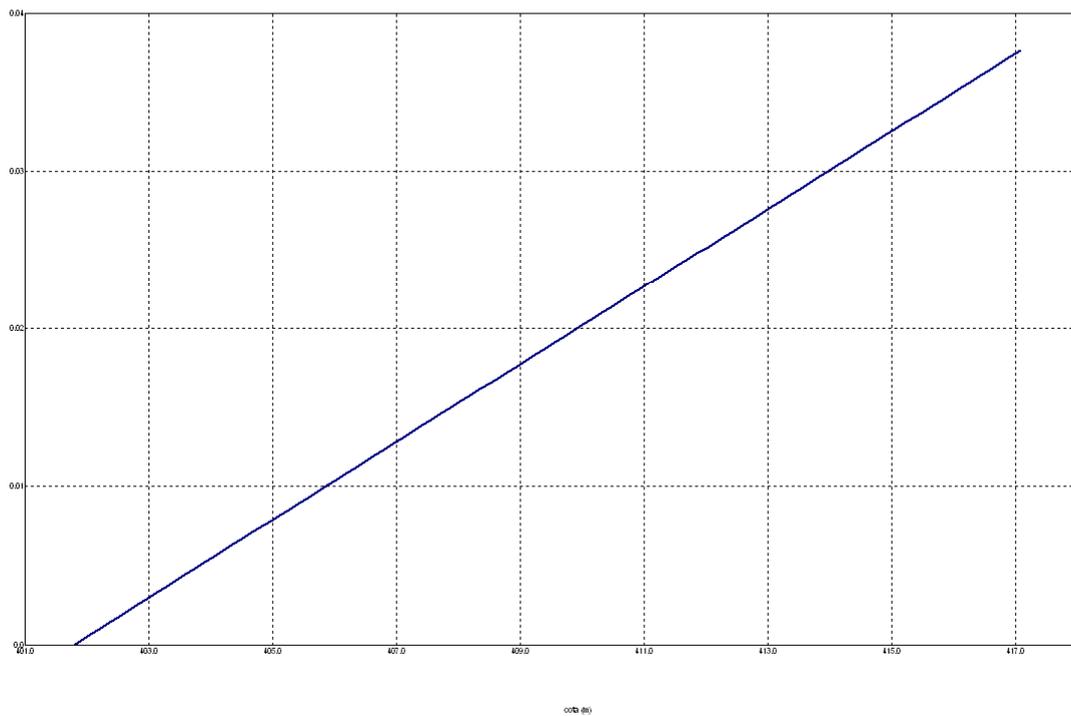
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: P4-3

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: P4-3

Unidades

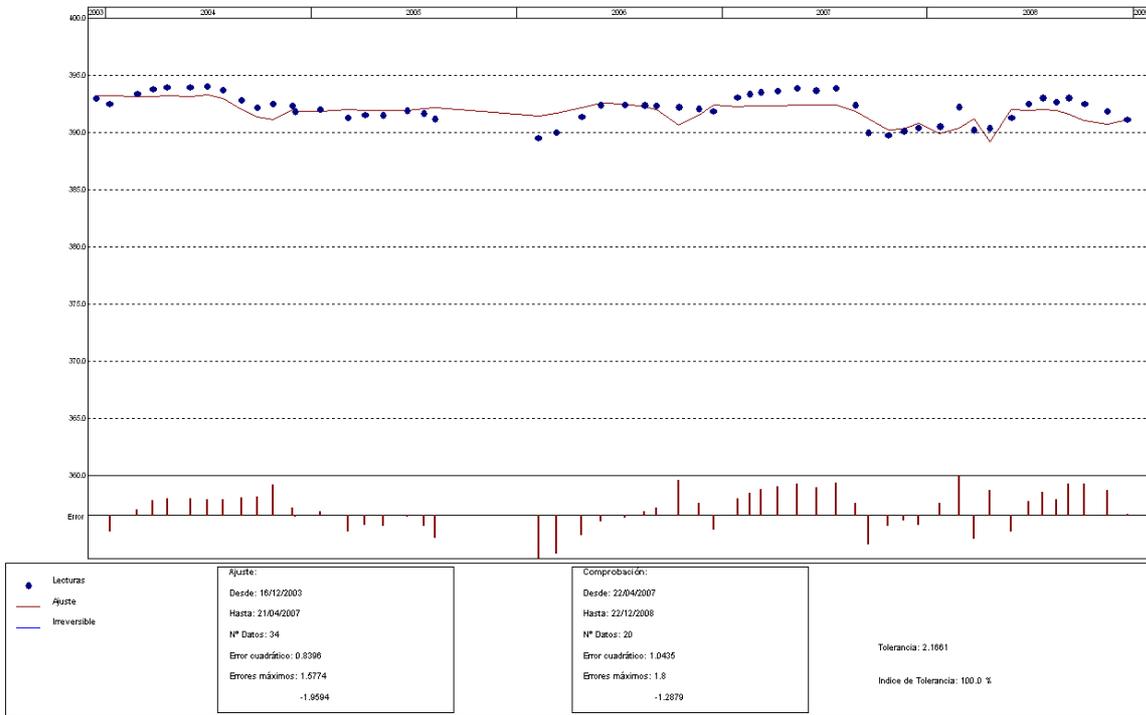


PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: P4-3		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.30348	26/11/1991 al 14/04/2003
1-1/Ln(tiempo)	-6.99637	Nº de datos: 275
1-e <sup>^</sup> (-tiempo/365)	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	0.03765	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.2901427
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 1.78067
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -1.15683
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 0.7485681
cos(2*PT)	0.000	
TD-TDC	0.000	Período de Comprobación
TMM-TMMC	0.000	15/04/2003 al 22/12/2008
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 62
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.4997462
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 1.458649
LL	3.25599	Error Máximo negativo: -0.6228333
LLMM	0.000	Indice de Tolerancia: 85.48387 %
T. independiente	397.4763	

## P4-4

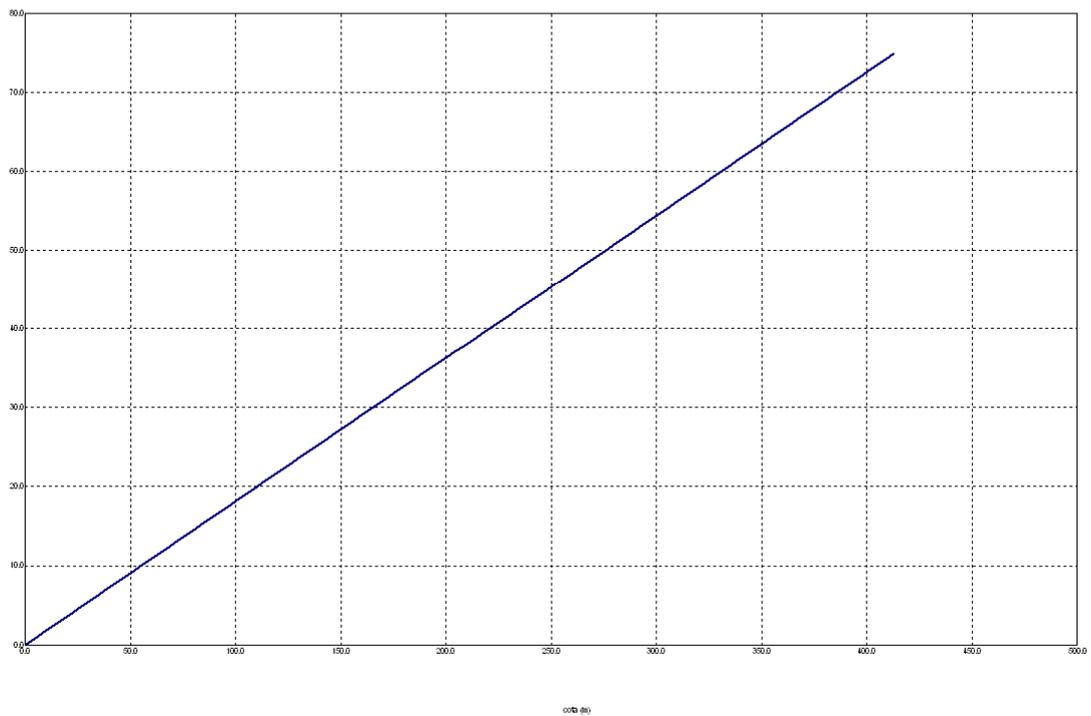
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: P4-4

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: P4-4

Unidades



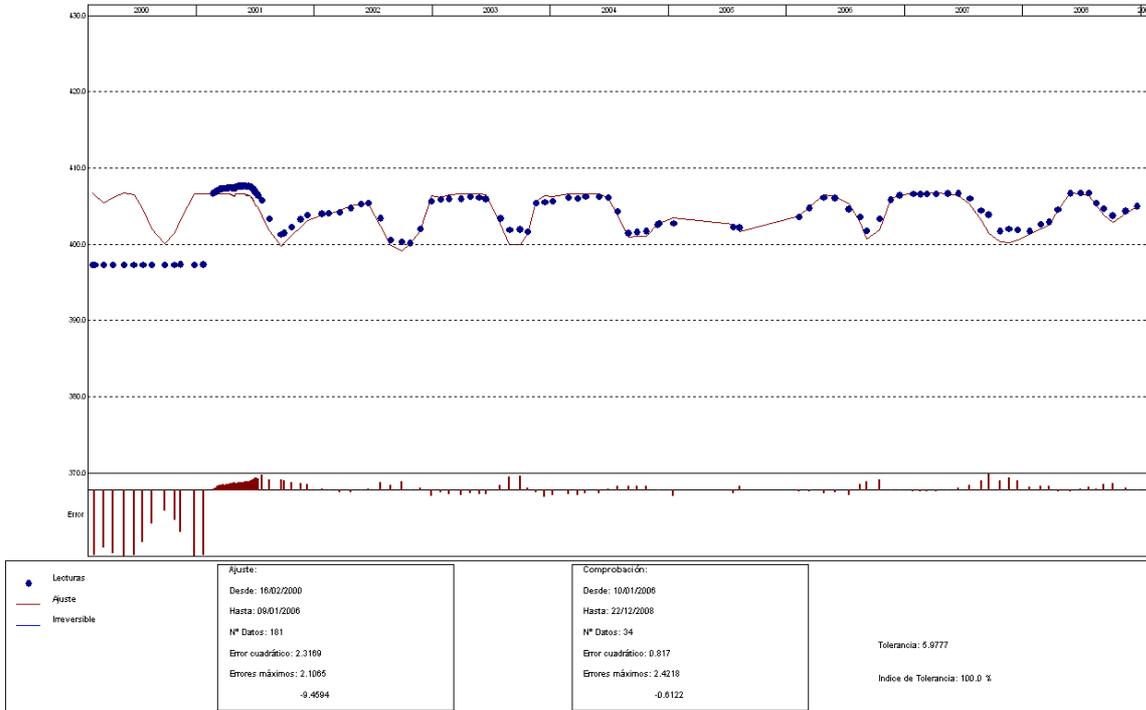
PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: P4-4		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coefficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	-4.23592	16/12/2003 al 21/04/2007
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 34
1-e <sup>-tiempo/365</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 0.00
HC	75.62523	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	-800.7093	Error cuadrático: 0.8395674
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 1.577393
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -1.959351
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 2.166084
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	22/04/2007 al 22/12/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 20
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 1.043468
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 1.800018
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: -1.287933
LL	8.03954	Indice de Tolerancia: 100 %
LLMM	0.000	
T. independiente	353.3098	

### 3.1.2.5 Piezómetros abiertos en la sección de control S-2N.

#### P2-4

PRESA: La Sotonera  
MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: P2-4

Unidades

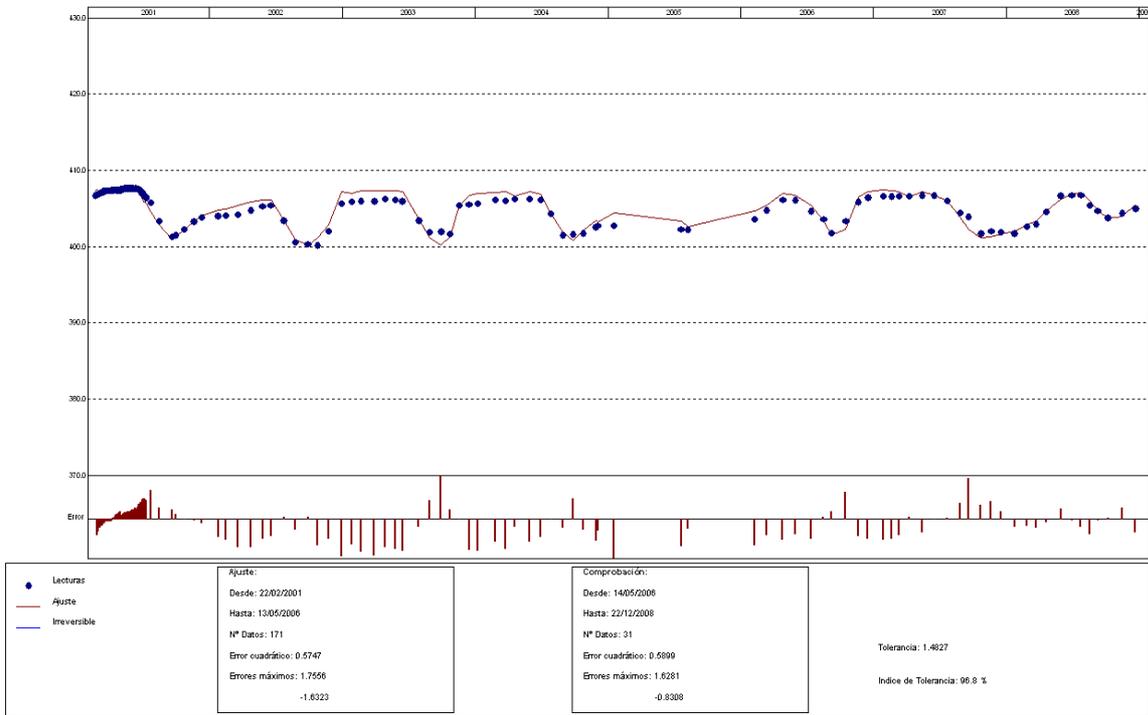


El piezómetro hidráulico o convencional P2-4 presenta una inconsistencia de datos en el primer año de registro. Con lo cual, se plantea un filtrado de la información con la intención de mejorar el modelo estadístico (2).

P2-4 (2)

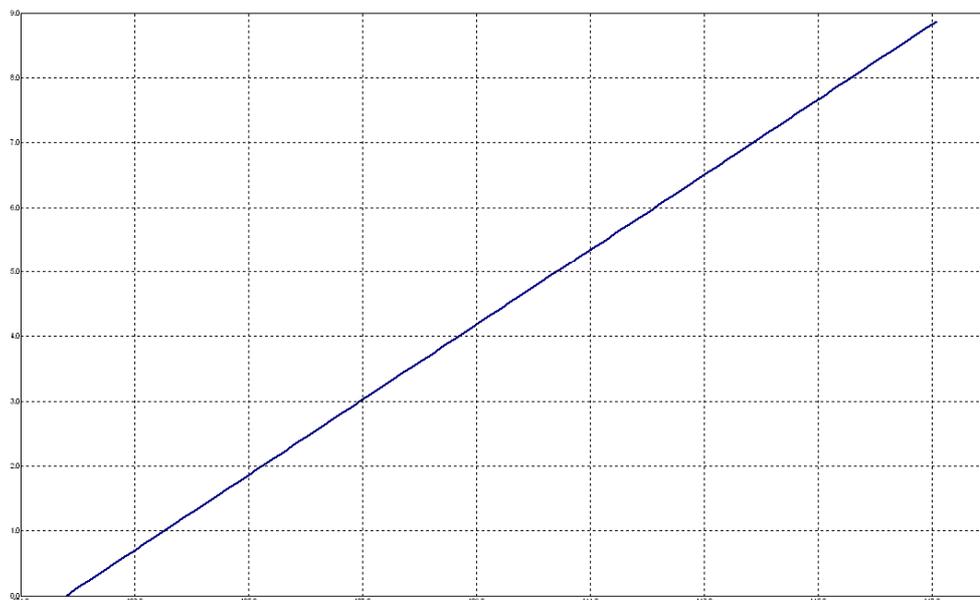
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: P2-4

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: P2-4

Unidades



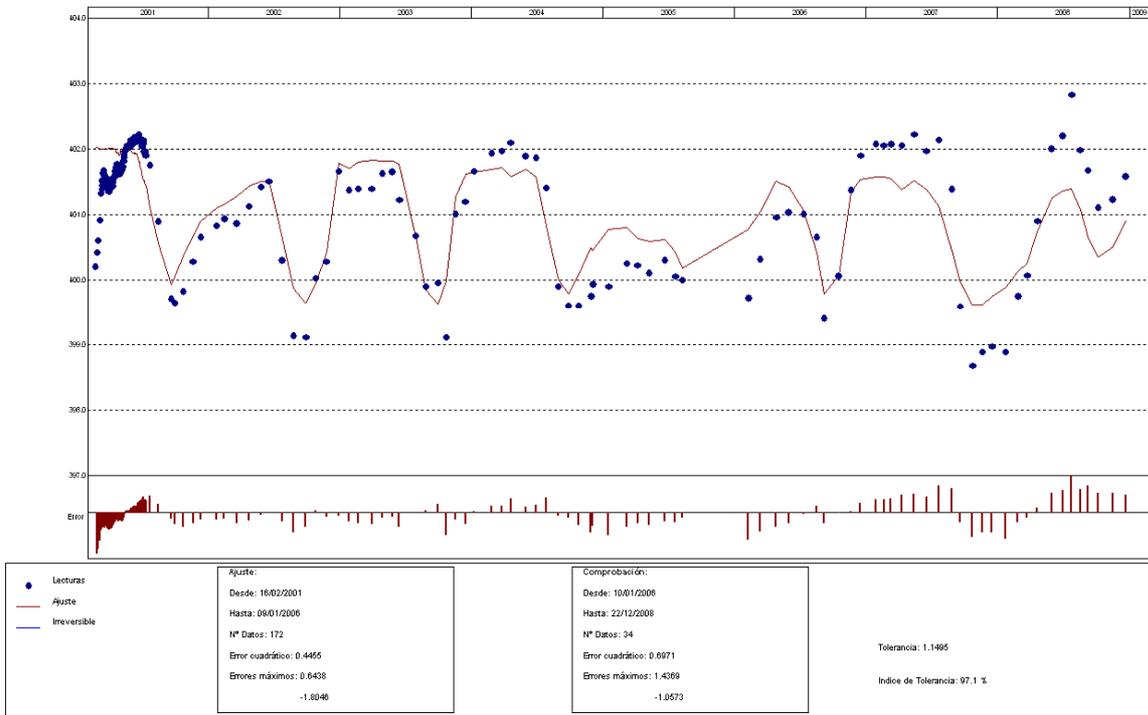
008 (4)

PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: P2-4		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coefficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	22/02/2001 al 13/05/2006
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 171
1-e <sup>^</sup> (-tiempo/365)	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	8.87565	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.5747051
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 1.755554
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -1.632294
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 1.482739
cos(2*PT)	0.000	
TD-TDC	0.000	Período de Comprobación
TMM-TMMC	0.000	14/05/2006 al 22/12/2008
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 31
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.5898755
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 1.628143
LL	0.000	Error Máximo negativo: -0.8308411
LLMM	-29.4694	Indice de Tolerancia: 96.77419 %
T. independiente	398.7423	

P2-5

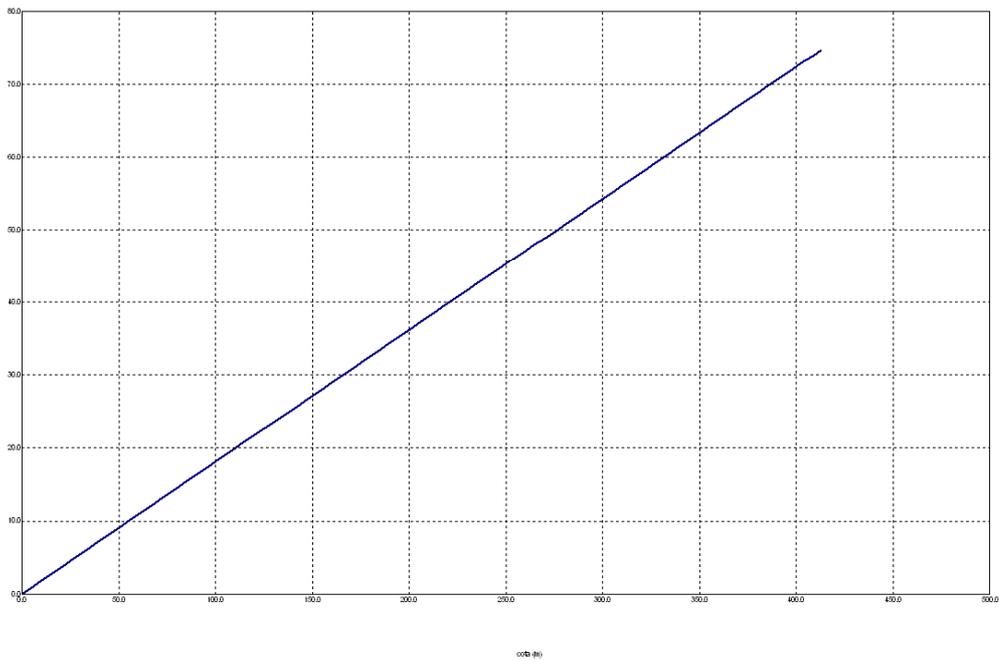
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: P2-5

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: P2-5

Unidades



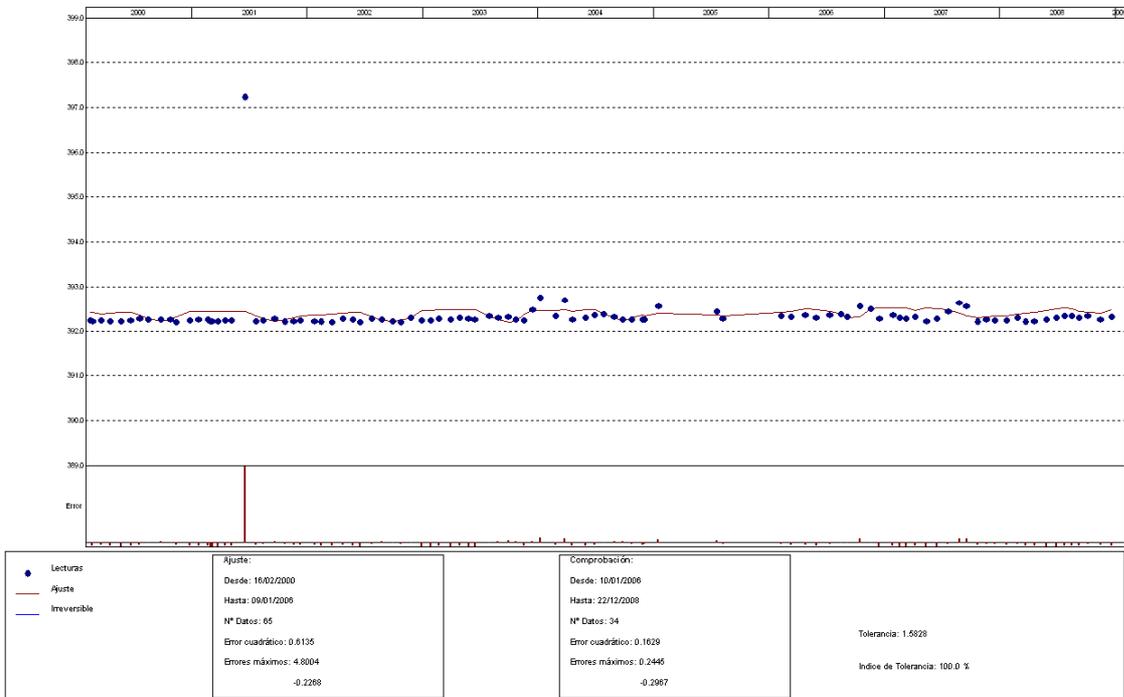
PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: P2-5		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coefficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	-0.89486	16/02/2001 al 09/01/2006
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 172
1-e <sup>-tiempo/365</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 0.00
HC	75.47832	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.4455284
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 0.6437988
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -1.804565
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 1.149463
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	10/01/2006 al 22/12/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 34
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 0.697063
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 1.436859
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: -1.057251
LL	0.000	Indice de Tolerancia: 97.05882 %
LLMM	-6.46274	
T. independiente	333.8709	

### 3.1.2.6 Piezómetros abiertos en la sección de control S-3N.

#### P3-4

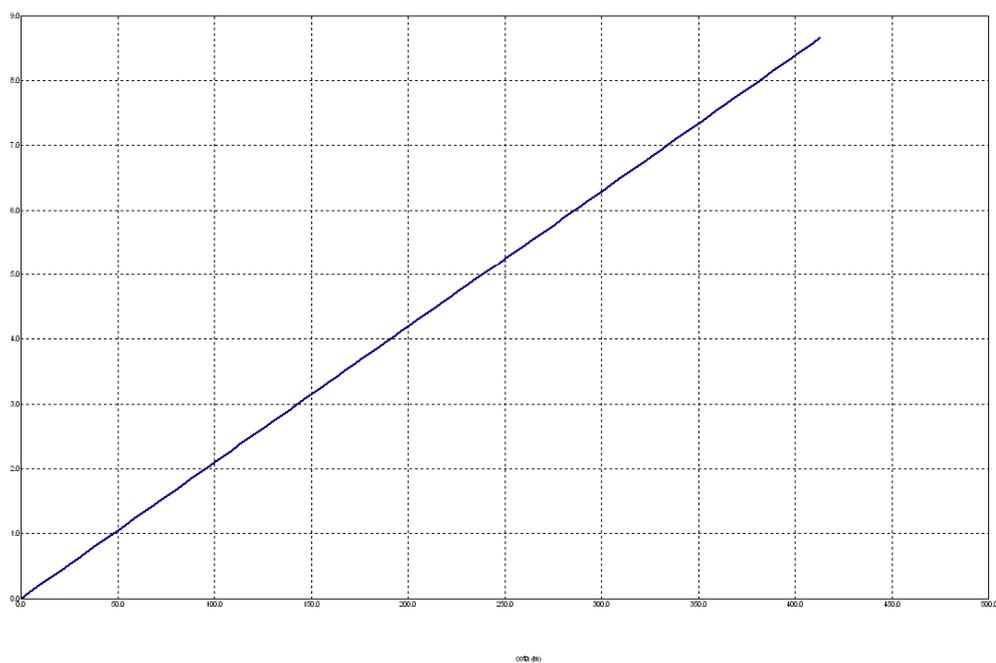
PRESA: La Sotonera  
MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: P3-4

Unidades:



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: P3-4

Unidades:

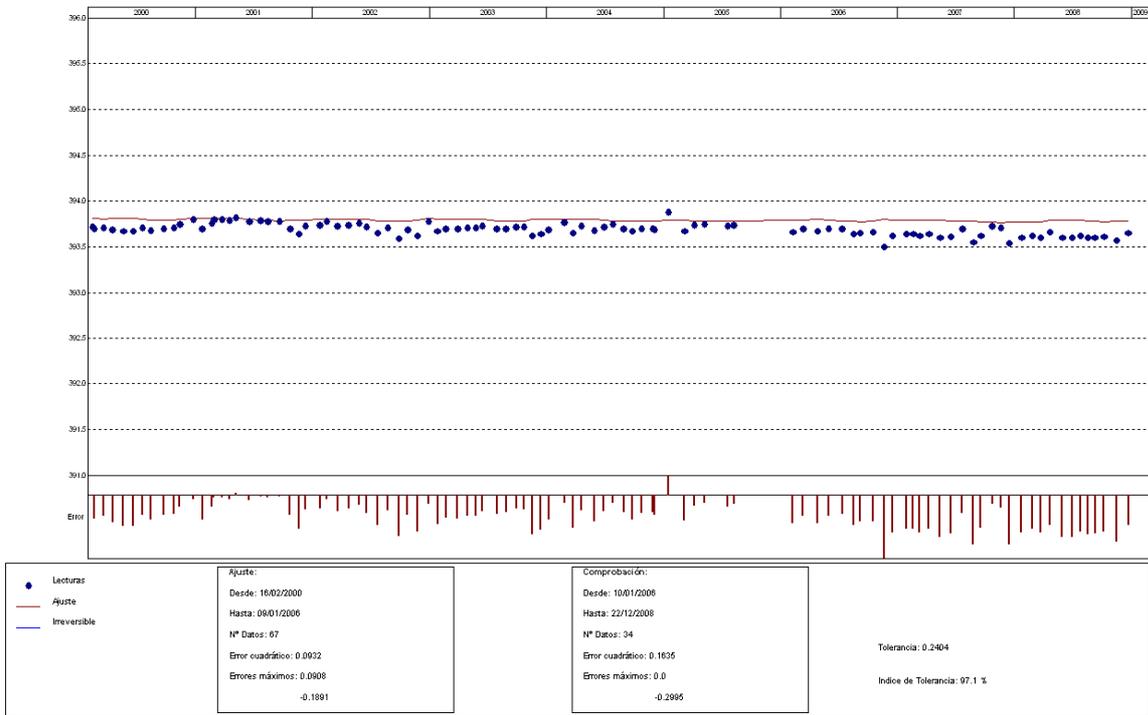


PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: P3-4		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coefficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.18136	16/02/2000 al 09/01/2006
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 65
1-e <sup>^</sup> (-tiempo/365)	0.000	Nivel embalse mínimo: 0.00
HC	8.75052	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.613492
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 4.800354
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -0.2268066
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 1.582809
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	10/01/2006 al 22/12/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 34
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 0.1629362
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 0.2444763
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: -0.2967224
LL	0.000	Indice de Tolerancia: 100 %
LLMM	-2.01626	
T. independiente	382.2151	

P3-5

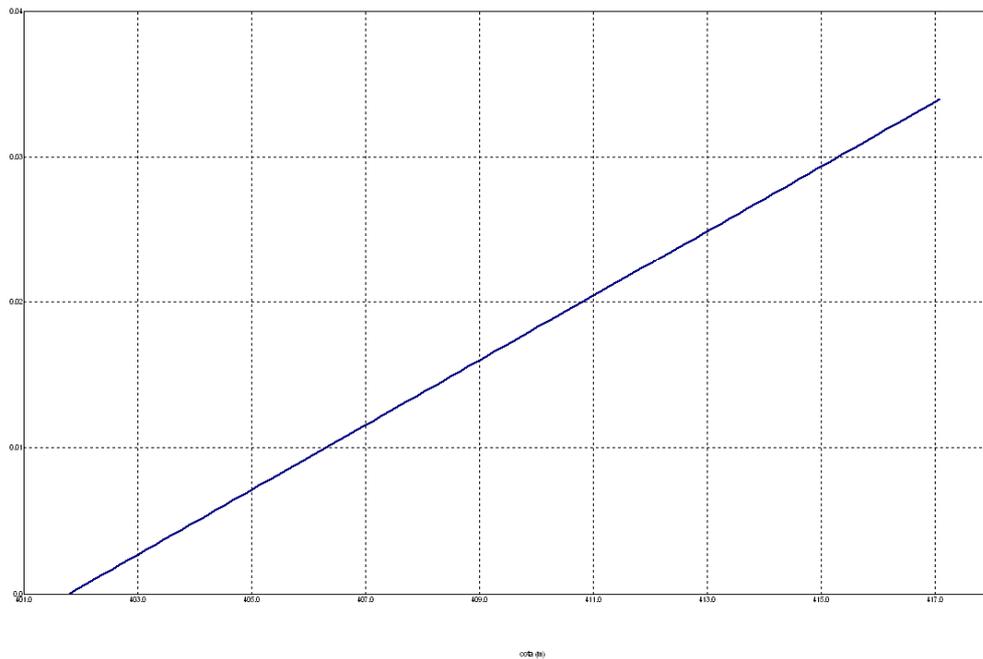
PRESA: La Sotonera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: P3-5

Unidades



PRESA: La Sotonera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: P3-5

Unidades



PRESA: La Sotonera. MODELIZACIÓN DE: P3-5		Fecha Origen de cálculo: 01/10/1991
Función de Ajuste	Coefficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	-0.0328	16/02/2000 al 09/01/2006
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 67
1-e <sup>^</sup> (-tiempo/365)	0.000	Nivel embalse mínimo: 401.79
HC	0.03397	Nivel embalse máximo: 417.08
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.33913	Error cuadrático: 9.317836E-02
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 9.078979E-02
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -0.1891479
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 0.2404002
cos(2*PT)	0.000	
TD-TDC	0.000	Período de Comprobación
TMM-TMMC	0.000	10/01/2006 al 22/12/2008
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 34
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.1634795
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 0
LL	-0.18168	Error Máximo negativo: -0.29953
LLMM	0.000	Indice de Tolerancia: 97.05882 %
T. independiente	394.0453	

#### 4. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Respecto de los resultados obtenidos cabe mencionar algunos factores de especial relevancia:

- El análisis estadístico del comportamiento auscultado ha permitido constatar la influencia del empuje hidrostático sobre las distintas variables explicativas así como caracterizar la robustez y consistencia de los datos de auscultación.
- Como en cualquier presa de materiales sueltos, no se ha tenido en cuenta la temperatura para los diferentes fenómenos a modelizar.
- Las series de datos de los piezómetros de cuerda vibrante resultan todavía cortas para poder extraer conclusiones de la modelación estadística.
- Las presiones medidas están básicamente influenciadas por el nivel del embalse y son en general de poca magnitud.
- En algunos casos se miden niveles piezométricos que están por encima de la carga hidrostática del embalse. Estas lecturas coinciden normalmente con un nivel bajo o un descenso rápido del nivel de embalse y está influenciada por la inercia hidráulica debida a la impermeabilidad del suelo.
- Los datos registrados por los piezómetros de cuerda vibrante PCV-C4, PCV-D6 y PCV-D8 resultan dispersos e inconsistentes, con lo cual, no es posible obtener un buen ajuste estadístico.
- Los valores suministrados por los piezómetros de cuerda vibrante PCV-C5, PCV-B5, PCV-D5, PCV-A3, PCV-A4 y PCV-A5 permanecen casi constantes con variaciones de muy poca entidad en todo el período de registro, dificultando de esta manera la modelación estadística.
- Los piezómetros de cuerda vibrante PCV-C7 y PCV-C8 no funcionan.
- En los piezómetros de cuerda vibrante PCV-B4, PCV-B8 y PCV-B2 se presentan series de datos inconsistentes, llevándose a cabo un proceso de filtrado de información y un posterior modelo estadístico.

- En los piezómetros abiertos o convencionales P2-4 y P3-2 se presentan series de datos inconsistentes, llevándose a cabo un proceso de filtrado de información y un posterior modelo estadístico.
- Los datos de lecturas de los piezómetros abiertos P3-3 y P1-3 no permiten establecer una modelación estadística consistente.
- Se aprecian comportamientos irreversibles por el paso del tiempo en los piezómetros abiertos P1-1, P1-4, P2-1, siendo las pendientes medias iguales a 0.353 m.c.a./año, 0.127 m.c.a./año y 0.205 m.c.a./año respectivamente.

## **APÉNDICE 1: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MODELIZACIÓN ESTADÍSTICA**

### **A1.1 INTRODUCCIÓN.**

AUSMODEL es un programa informático de modelización estadística de datos de auscultación enfocado fundamentalmente a presas desarrollado por OFITECO, y especialmente concebido para el tratamiento de los datos históricos, el control y la previsión de los fenómenos relacionados con las presas, donde la complejidad en el manejo de las variables que intervienen hace imprescindible el apoyo de las herramientas informáticas.

El modelo estadístico AUSMODEL permite obtener las ecuaciones empíricas que rigen el comportamiento de cada variable de control de la presa (movimientos, subpresiones, temperaturas del hormigón, deformaciones, filtraciones, etc.), en función del tiempo transcurrido desde una fecha origen, los niveles de embalse y las temperaturas de referencia medidas "in situ". Estas ecuaciones proporcionan un sistema de control de los distintos parámetros medidos en la presa, poniendo de manifiesto los fenómenos anómalos que produzcan desviaciones respecto de lo esperado.

Como apoyo a la modelización de las variables de control, AUSMODEL permite aislar los distintos efectos que intervienen en la modelización, esto es: efecto térmico, efecto del nivel de embalse y efecto temporal o irreversible.

AUSMODEL también permite aislar los fenómenos que dependen exclusivamente del tiempo y de los sucesos no contemplados en la modelización, realizando un tratamiento específico de los mismos, consistente en la obtención de las tendencias que siguen las variables de control por estos motivos.

Además, AUSMODEL permite visualizar e imprimir los gráficos generados por las ecuaciones deducidas, así como los resultados numéricos obtenidos en el cálculo.

### **A1.2 DATOS**

Para el funcionamiento del programa son necesarios dos tipos de datos:

De variables exteriores

De variables de control

El fichero de variables exteriores será común a todos los aparatos de una misma presa, cuyos datos se van a modelizar. Este fichero contendrá los siguientes datos:

Fecha de toma de datos

Cota del nivel del embalse (m) en la fecha correspondiente

Temperatura ambiente (°C)

Precipitación (mm)

En el caso de no disponer de alguna de las variables indicadas, se podrá prescindir de ella, sustituyéndola por una ficticia.

AUSMODEL toma estos datos mediante la importación de ficheros ASCII, ficheros DAMDATA, ficheros de versiones anteriores de Ausmodel, o por el procedimiento de cortar y pegar, desde cualquier aplicación Windows estándar, como puede ser Excel, Access, Word u otros editores de datos o texto.

Para modelizar los datos de la variable de control obtenidos mediante uno de los aparatos de auscultación de la presa, es preciso introducir un fichero que contenga la siguiente información:

- Fecha de toma de datos.
- Valor de la variable de control medida en la fecha correspondiente.

La estructura y el procedimiento para este tipo de ficheros son los mismos que los explicados para las variables exteriores.

### A1.3 JUSTIFICACIÓN Y METODOLOGÍA DE APLICACIÓN

El proceso de localización de comportamientos anormales en una presa exige conocer las leyes de respuesta de la misma frente a las acciones exteriores. Estas leyes se pueden obtener fundamentalmente por dos vías:

- Efectuando los cálculos teóricos para determinar la respuesta de la presa a las acciones exteriores, supuestas conocidas las características mecánicas y geológicas de los materiales. Es lo que se conoce como "modelo determinista".
- Basándose en las observaciones realizadas sobre los distintos parámetros características del comportamiento de la presa y obteniendo de ellas un "modelo estadístico".

Esta segunda opción puede resultar más razonable cuando se dispone de una amplia información sobre la historia de la presa, puesto que basa los resultados del modelo sobre datos reales, eliminando así la posibilidad de utilizar hipótesis erróneas, incluyendo además factores que podrían considerarse despreciables en un modelo determinista.

El objetivo del modelo estadístico será, en consecuencia, encontrar una relación suficientemente estable y precisa entre las variables exteriores y las variables de control registradas durante la historia pasada de la presa, permitiendo realizar una interpretación de la misma que, de otra forma podría tener un carácter especulativo, intuitivo o incluso erróneo.

La metodología seguida por AUSMODEL se fundamenta, como en otros modelos estadísticos, sobre la consideración de tres componentes básicas aditivas en la variable de control.

- La correspondiente a la parte irreversible derivada de las deformaciones y otros fenómenos progresivos debidos a la evolución de las propiedades del hormigón, cimentación, etc. o a fenómenos más o menos bruscos de acomodación, función todo ello del tiempo cronológico transcurrido desde una fecha origen.
- La correspondiente al efecto del nivel de embalse, que podría llamarse "componente elástica" en el caso de tratarse de los movimientos sufridos por la presa de obra de fábrica, aunque esta componente también afecta a otro tipo de fenómenos, tales como caudales drenados, temperaturas del hormigón, etc.
- La correspondiente al efecto del ciclo térmico anual

El proceso de obtención de un modelo estadístico es habitualmente el siguiente:

- Creación del modelo
- Identificación de los coeficientes
- Contraste del modelo
- Establecimiento de tolerancias y análisis del modelo

Además AUSMODEL añade un paso nuevo a este proceso:

- Obtención de tendencias en valores acumulados en el tiempo

### **A1.3.1 Creación del modelo**

La expresión general del modelo estadístico es la siguiente:

$$V(t, H, T) = a_1 + \sum a_i \cdot f_i(t) + \sum a_j \cdot f_j(H) + \sum a_k \cdot f_k(t, T) + \sum a_l \cdot f_l(t, H)$$

Donde:

\*  $a_1$  : Término independiente

\*  $f_i(t)$  : Funciones del tiempo cronológico (t). Dentro de éstas se incluyen:

$\ln(t)$   
 $1 - 1/\ln(t)$   
 $1 - 1/e^{(t/365)}$   
 $\text{sen}(PT)$   
 $\text{cos}(PT)$   
 $\text{sen}(2PT)$   
 $\text{cos}(2PT)$

Las 3 primeras tratan de representar el efecto irreversible sobre la variable de control, y las 4 siguientes el efecto del ciclo térmico anual. En estas últimas,  $PT (2\pi/365)$  es el ángulo equivalente al tiempo transcurrido del año para cada fecha.

\*  $f_j(H)$  : Funciones de la cota del nivel del embalse (H). En ellas quedan encuadradas las siguientes funciones:

HC

HC<sup>2</sup>

HC<sup>3</sup>

$(HC - HCA) \cdot HC^2$

Donde  $HC = (H - H_o) / (H_M - H_o)$

Siendo  $H_o$  la cota mínima establecida para el nivel de embalse y  $H_M$  la máxima, por lo tanto, siempre que H quede entre los límites  $H_o$  y  $H_M$ , HC podrá variar entre 0 y 1.

La suma de las 3 primeras funciones constituye un polinomio que representa el efecto del nivel de embalse sobre la variable de control, mientras que la última incluye también el valor que toma HC en una fecha anterior a la considerada (HCA), contemplando así la repercusión de las variaciones del nivel de embalse sobre la variable de control.

\*  $f_k(t, T)$ : Funciones del tiempo cronológico (t) y la temperatura ambiente (T). Estas funciones son:

TD - TDC

TMM - TMMC

TMMA - TMMCA + TMM - TMMC

Son el resultado de añadir a las funciones térmicas ya descritas, el efecto de las temperaturas reales medidas en la zona presa. Su importancia reside en que la onda térmica real y con mayor motivo los datos puntuales (diarios) difieren de los valores de la onda térmica calculada.

Existen dos ondas térmicas teóricas que se calculan con los datos aportados correspondientes a las temperaturas ambientales medidas:

$TDC = C_1 \text{ Sen}(PT) + C_2 \text{ Cos}(PT) + C_3 \text{ Sen}(2PT) + C_4 \text{ Cos}(2PT)$

$TMMC = C_5 \text{ Sen}(PT) + C_6 \text{ Cos}(PT) + C_7 \text{ Sen}(2PT) + C_8 \text{ Cos}(2PT)$

Donde los valores de  $C_i$  son los de los coeficientes obtenidos para las ondas térmicas y  $PT$  tiene el mismo significado explicado anteriormente.

$TDC$  representa la onda térmica media anual y  $TMMC$  la onda térmica media anual calculada con las medias móviles de  $n$  días, siendo  $n$  el número de días especificado para el cálculo de dichas medias móviles.

$TD$  es la temperatura media ambiental en cada fecha.

$TMM$  es la temperatura media móvil de  $n$  días en cada fecha.

$TMMA$  es la temperatura media móvil de  $n$  días en una fecha anterior a la considerada, distante de ésta  $n$  días y  $TMMCA$  es el valor de  $TMMC$  en la misma fecha anterior.

\*  $f_i(t, H)$  son las funciones que dependen del tiempo cronológico ( $t$ ) y la cota de la lámina del embalse ( $H$ ). Están incluidas:

$$\text{Sen}(PT) * HC^2$$

$$\text{Cos}(PT) * HC^2$$

En ellas,  $PT$  y  $HC$  tienen el mismo significado que ya se ha expuesto.

Son las funciones denominadas de "corrección embalse-térmico", resultantes de condicionar el efecto del ciclo térmico sobre la variable de control a través del nivel del embalse. Tratan de reflejar la influencia del efecto de variación térmica del agua del embalse, que hace variar la acción de la temperatura ambiente sobre la presa.

\*  $a_i, a_j, a_k, a_l$  son los coeficientes que multiplican a las funciones descritas.

### **A1.3.2 Identificación de los coeficientes**

Esta parte de la modelización se lleva a cabo por medio de un ajuste por el método de los mínimos cuadrados, de los coeficientes de las funciones. Si llamamos ahora  $f_{ij}$  a los valores de las funciones definidas para la modelización y para la fecha  $j$ ,  $VC_j$  al valor real obtenido mediante la medida de la variable de control en la fecha  $j$  y  $a_i$  a los coeficientes de las funciones  $f_i$ , tenemos que el error cometido en la fecha  $j$ , será:

$$E_j = \sum a_i f_{ij} - VC_j$$

Por lo tanto, habrá que minimizar el valor:

$$\sum E_j^2 = \sum (\sum a_i f_{ij} - VC_j)^2$$

Así pues, para obtener los coeficientes "ai" buscados es necesario resolver el sistema de ecuaciones:

$$\sum (\sum a_i f_{ij} - VC_j) \cdot f_{ij} = 0$$

### A1.3.3 Contraste del modelo y obtención del índice de tolerancia

Una vez obtenidos los coeficientes de las funciones de ajuste según la secuencia descrita, se debe proceder a la comprobación del funcionamiento del modelo adoptado utilizando tanto los datos considerados como pertenecientes al período de ajuste como los que se incluyen en el período de contraste.

Para llevar a cabo el contraste se procede de la siguiente manera:

- Aplicación del modelo para los períodos de ajuste y de contraste.
- Obtención de las desviaciones cuadráticas medias producidas en cada uno de los 2 períodos.
- Contraste de las desviaciones cuadráticas obtenidas para ambos casos mediante la relación R:

$$R = S_c / S_a$$

Siendo:

$S_c$  = Desviación cuadrática media del período de contrastación.

$S_a$  = Desviación cuadrática media del período de ajuste.

- Obtención de la banda definida por:

$d = \pm 2,58 SA$  (banda de tolerancia)

Este valor resulta de adoptar la hipótesis de que los errores cometidos (diferencia entre las previsiones del modelo y las medidas reales) se distribuyen aleatoriamente según una función normal con desviación típica igual a la del período de ajuste (SA) y media cero. El valor  $\pm 2,58$  es el que corresponde al intervalo que contiene con probabilidad del 99% los valores del error, según esta función de distribución.

- Obtención del índice de tolerancia. Este índice es el porcentaje de valores del error comprendidos dentro de la banda anterior, para el período de contraste.

En resumen, cuando las desviaciones cuadráticas sean lo suficientemente pequeñas en ambos períodos (del orden del 10% o menores de la diferencia entre los valores máximos y mínimos de la variable de control) y la relación R definida sea cercana o inferior a 1, normalmente se podrá decir que el modelo conseguido es óptimo.

Como complemento, el índice de tolerancia aporta otra forma de medir la bondad del ajuste. Siempre que se cumplan las relaciones anteriores, un índice de tolerancia alto confirma la bondad del ajuste.

Al analizar este índice debe tenerse en cuenta la posibilidad de que existan situaciones excepcionales o infrecuentes que, sin ser alarmantes, responden a circunstancias que no han sido consideradas durante el período de ajuste por no haberse producido con la suficiente frecuencia durante éste o incluso a errores en la toma de datos.

Un índice de tolerancia cercano al 100% pone de manifiesto una respuesta de la variable de control durante el período de comprobación muy similar a la que tenía durante el período de ajuste y por tanto se puede decir que durante este período de comprobación el modelo es igualmente válido.

#### **A1.3.4 Estudio de tendencias**

Como complemento a la modelización, o cuando no es posible llegar a conseguir a un modelo adecuado, es conveniente el estudio de la tendencia en los valores acumulados en el tiempo.

Llamamos valores acumulados en el tiempo al resultado de restar a cada valor de la variable de control, el resultado de aplicar el modelo obtenido, exceptuando las funciones correspondientes al efecto irreversible.

Para el estudio de la tendencia se realiza un análisis de regresión lineal de la nube de puntos tomando varios intervalos de tiempo en los que se aprecia una tendencia estable o un único intervalo si dicha tendencia es uniforme en todo el período de tiempo.

Si llamamos  $t$  al tiempo cronológico transcurrido, correspondiente al valor acumulado en el tiempo en la fecha  $i$  desde la fecha origen, y  $P$  a dicho valor, la recta de regresión correspondiente al intervalo considerado será:

$$P = LRA + LRB \cdot t$$

Donde:

$$LRB = (n \cdot \sum P_i T_i - \sum P_i \sum T_i) / (n \cdot \sum T_i^2 - (\sum T_i)^2)$$

$$LRA = (\sum P - LRB \cdot \sum T_i) / n$$

$$n = N^{\circ} \text{ de datos del intervalo}$$

De aquí se obtiene también el coeficiente de correlación (CC) que oscila entre 0 y 1 y nos indica la mayor o menor influencia del paso del tiempo sobre los valores acumulados en el tiempo, según este sea mayor o menor. Su expresión es:

$$CC = (n \cdot \sum P_i T_i - \sum P_i \cdot \sum T_i) / (n \cdot \sum T_i^2 - (\sum T_i)^2 \cdot n \cdot \sum P_i^2 - (\sum P_i)^2)$$

Y el valor de  $X_{99}$ , definido como la semiamplitud del intervalo que contiene con una probabilidad del 99% los puntos de la nube, el cual permite detectar fácilmente desviaciones importantes en el comportamiento de la variable de control.

$$X_{99} = 2,58 \cdot DT + M$$

Donde  $M$  es el valor medio de las diferencias entre los valores de las ordenadas de los puntos de la nube ( $P_i$ ) y el valor de la recta en la abscisa correspondiente ( $T_i$ ). Es decir, este valor de  $X_{99}$  es el que resulta de considerar la diferencia entre la recta y los puntos como una variable aleatoria que sigue una distribución normal de media  $M$  y desviación típica  $DT$ .

Por último, la deriva o tendencia buscada es la pendiente de la recta, es decir, el valor  $LRB$ , que expresado en unidades/año resulta:

$$\text{Deriva} = \text{LRB} \cdot n / 365 \text{ (uds/año)}$$

## **REFERENCIAS**

OFITECO, S.A. Ausmodel 2.0. Manual del Usuario, 1.996.

## **A.7. Anejo 7: VISITA A LA PRESA**

## VISITA A LA PRESA DE LA SOTONERA (11.09.2008)

### ASISTENTES

Sr. Ignacio Escuder Bueno

Sr. Luis García Kabbabe

Sr. Carlos Riera Planells

Sr. José Daniel Rosales Maniglia

Sr. Encargado de la presa: Eulogio Atarés

### DATOS DE INTERÉS

Tipo: presa de gravedad de materiales sueltos, homogénea, con espaldones permeables de zahorra.

Finalización de la presa: 1962-1963.

Altura máxima de la presa: 34 m.

Longitud de coronación: 3858.80 m.

Volumen de embalse (N.M.N.): 189.22 Hm<sup>3</sup>.

### SISTEMA DE AUSCULTACIÓN EXISTENTE

*Variables exteriores:*

- Estación Meteorológica instalada cerca de la Casa de Administración.
- Instalaciones de la red del Sistema Automático de Información Hidrológica.

*Variables de control:*

- Control de los niveles piezométricos. Para realizar este control hay instalados 31 piezómetros de cuerda vibrante y 18 piezómetros abiertos.

## **OBSERVACIONES**

La presa se encuentra muy seca en el paramento de aguas abajo. Aunque también cabe resaltar que el nivel de embalse el día de la visita era bajo. Además la vegetación es extensa y puede enmascarar pequeñas filtraciones. Pero por el reconocimiento general que se hizo, se puede decir que no existen filtraciones. No hay ningún charco que llame la atención.

Se vieron algunos de los drenes abiertos de la berma y se pudo constatar que se encontraban secos. Este es otro indicador de que en principio hay muy pocas filtraciones aguas abajo de la presa.

Aguas abajo de la presa, la resistencia del talud a los agentes atmosféricos está confiada a la vegetación. Lleva además un “emparrillado” de enlosado que facilita el recorrido por el talud.

La tipología de la presa es del tipo de materiales sueltos homogénea con espaldones permeables de zahorra. La capa inferior a la arcilla es de hormigón de arcilla. No está muy claro de que está compuesto este hormigón de arcilla. En principio es una mezcla de tierra-gravas, cemento y arcilla, que no logra ser del todo un hormigón.

En coronación hay mínimos asientos. Esto puede ser así porque la presa tiene una altura pequeña. La altura máxima de la presa sobre cimientos es de 34 m., pero hay tramos que la altura es de 3 ó 4 m. Además al haber una capa de hormigón de arcilla, los asientos en coronación son menores.

La principal incidencia respecto del punto de vista de la seguridad es sin duda el pésimo estado de la galería de drenaje. En la visita efectuada para el reconocimiento de la presa, se intentó su inspección desde diferentes entradas o bocas de acceso

pero fue imposible por el estado de la galería y por el aviso previo del personal de la explotación sobre la falta de seguridad en la visita y la inconveniencia de esta. Sin embargo, desde las bocas de acceso, se puede intuir la gravedad del estado en que se encuentran las galerías, observándose acumulaciones de arcilla que impiden la circulación o recogida del agua filtrada.

El encargado de la presa hace muchos años que no entra en la galería. Se apreció que una de las bocas de la galería estaba seca. Incluso había un dren por debajo de la loseta que se veía sin filtraciones. La galería tiene pinta que se hizo aparte y se recubrió con material por encima.

Desde el exterior de la galería, se observan acumulaciones de material en la galería y, aunque a simple vista parecen grandes volúmenes, son insignificantes comparados con el espaldón del que provienen. Sin embargo, representan un problema ya que taponan la galería.

En los últimos años se han realizado muchas modificaciones en la presa. Se ha hecho un desagüe de fondo, se han instalado compuertas Taintor en el desagüe intermedio y se ha construido un aliviadero en el estribo izquierdo de la presa. Antes todas estas funciones las realizaban las tomas de agua. Según el encargado de la presa estas obras son del año 2005 y 2006. Resultaría muy conveniente obtener los proyectos de dichas obras para que se vean reflejados en este informe de auscultación.

Se trata de una presa en derivación por eso en un principio no tenía aliviadero. Como se ha mencionado anteriormente, hace poco se construyó un aliviadero lateral.

## **A.8. Anejo 8: DOCUMENTACIÓN RELATIVA A LA AUSCULTACIÓN**

## DOCUMENTACIÓN DISPONIBLE

1. Documento XYZT de la Presa de La Sotonera (1ª Edición; 1981).
2. Auscultación de presas. Presa de La Sotonera (1991).
3. Proyecto de Gran Reparación de la presa de La Sotonera (1992).
4. Instrumentación Parcial de la presa de La Sotonera. 1ª Fase. Documento Técnico del Sistema. (Geocisa; marzo de 2000).
5. Instrumentación Parcial de la presa de La Sotonera. 2ª Fase. Documento Técnico del Sistema. (Geocisa; marzo de 2001).
6. 1ª Actualización del Documento XYZT de la presa de La Sotonera. (Euroestudios; noviembre de 2002).
7. Instrumentación Parcial de la presa de La Sotonera. 3ª fase. Documento Técnico. (Geocisa; noviembre de 2003).
8. Normas de explotación de la Presa de La Sotonera (Euroestudios; diciembre de 2003).
9. Plan de emergencia de la Presa de La Sotonera (Euroestudios; diciembre de 2003).



## **Apéndice B**

### **Anejos del Informe Anual de Comportamiento de la Presa de Maidevera**

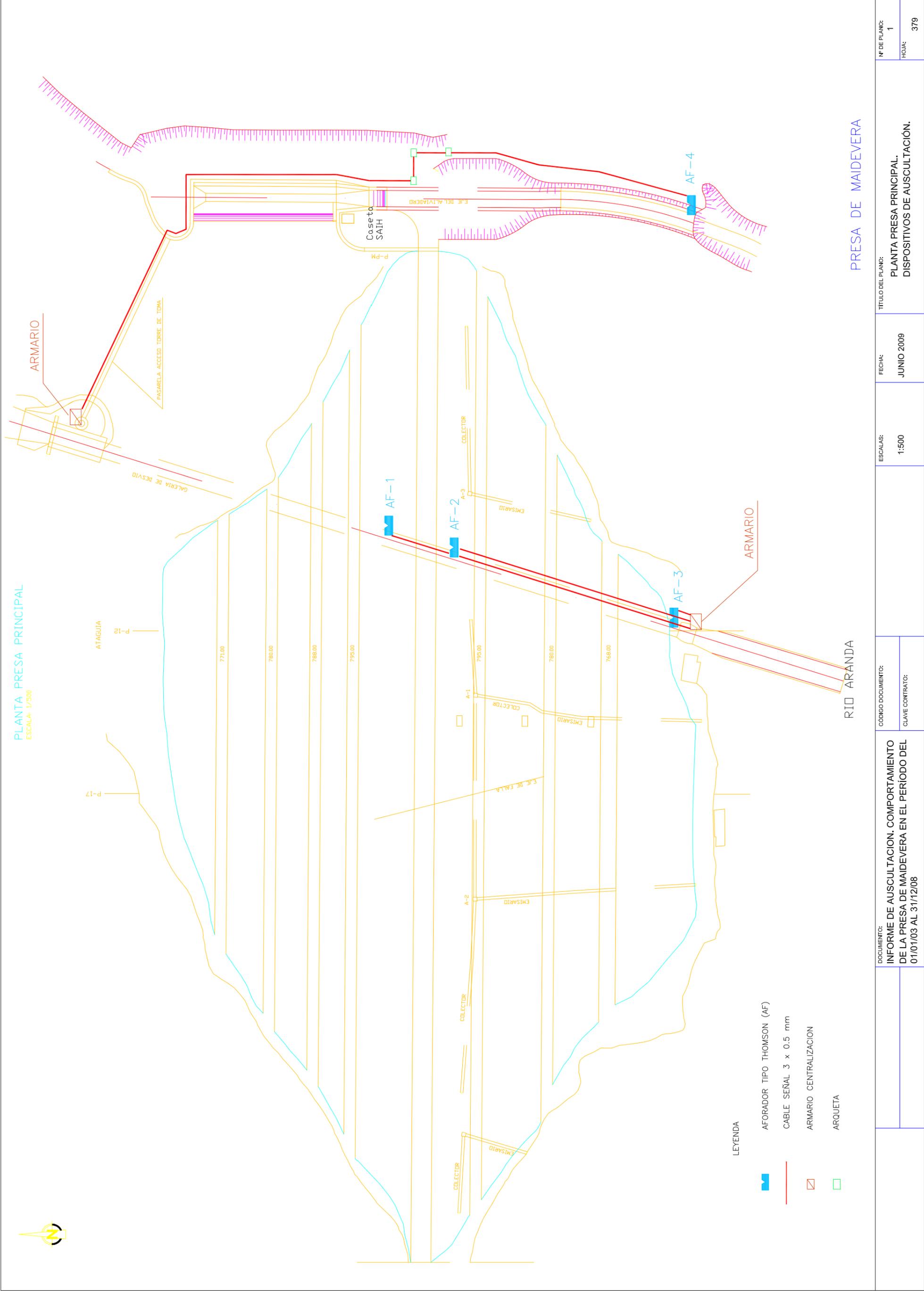


## **B.1. ANEJO Nº 1. PLANOS**

## ÍNDICE DE PLANOS

- Plano 1.- Planta general de la presa principal de Maidevera. Dispositivos de auscultación.
- Plano 2.- Planta general de la presa del collado N° 1. Dispositivos de auscultación.
- Plano 3.- Situación de los dispositivos de auscultación. Perfil 12-A.
- Plano 4.- Situación de los dispositivos de auscultación. Perfil 17-B.
- Plano 5.- Situación de los dispositivos de auscultación. Perfiles 13-C y 19-D. Presa del collado nº1.
- Plano 6.- Auscultación topográfica. Planta.
- Plano 7.- Línea de saturación de la presa principal de Maidevera en los días 19/11/07, 07/04/08 y 08/07/08. Perfil 12-A.
- Plano 8.- Línea de saturación de la presa principal de Maidevera en los días 19/11/07, 07/04/08 y 08/07/08. Perfil 17-B.
- Plano 9.- Línea de saturación de la presa del collado N° 1 en los días 19/11/07, 07/04/08 y 08/07/08. Perfiles 13-C y 19-D.

PLANTA PRESA PRINCIPAL  
ESCALA: 1/500



LEYENDA

-  AFORADOR TIPO THOMSON (AF)
-  CABLE SEÑAL 3 x 0.5 mm
-  ARMARIO CENTRALIZACION
-  ARQUETA

PRESA DE MAIDEVERA

DOCUMENTO:  
INFORME DE AUSCULTACION. COMPORTAMIENTO  
DE LA PRESA DE MAIDEVERA EN EL PERIODO DEL  
01/01/03 AL 31/12/08

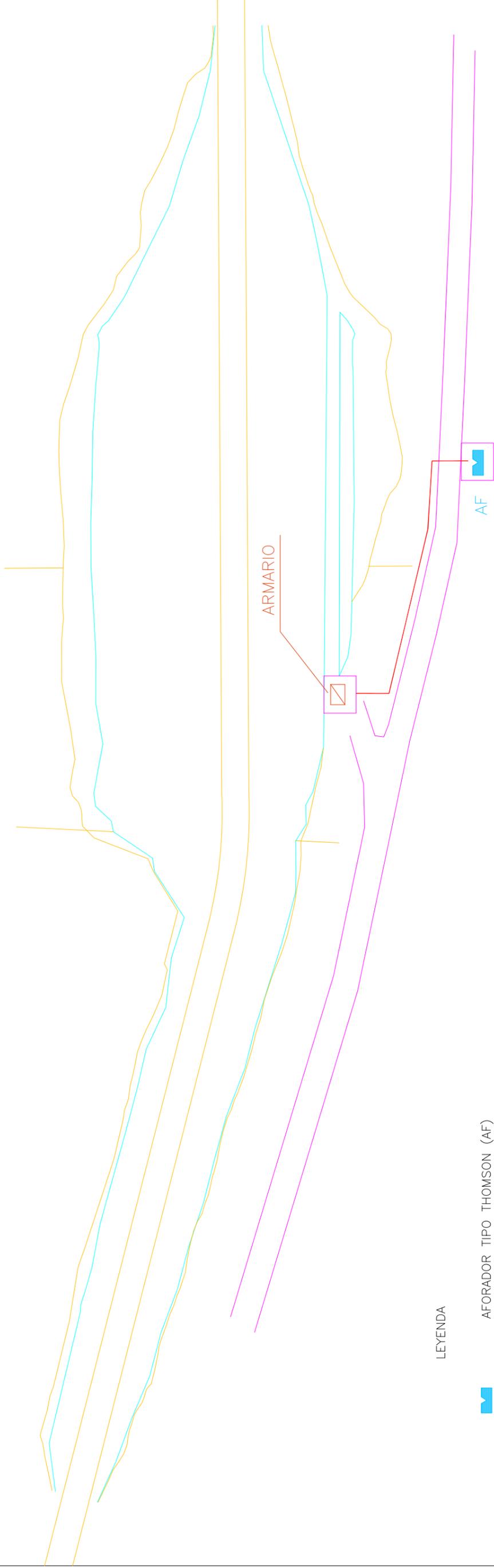
CODIGO DOCUMENTO:  
CLAVE CONTRATO:

ESCALAS:  
1:500

FECHA:  
JUNIO 2009

TITULO DEL PLANO:  
PLANTA PRESA PRINCIPAL.  
DISPOSITIVOS DE AUSCULTACION.

Nº DE PLANO:  
1  
HOJA:  
379

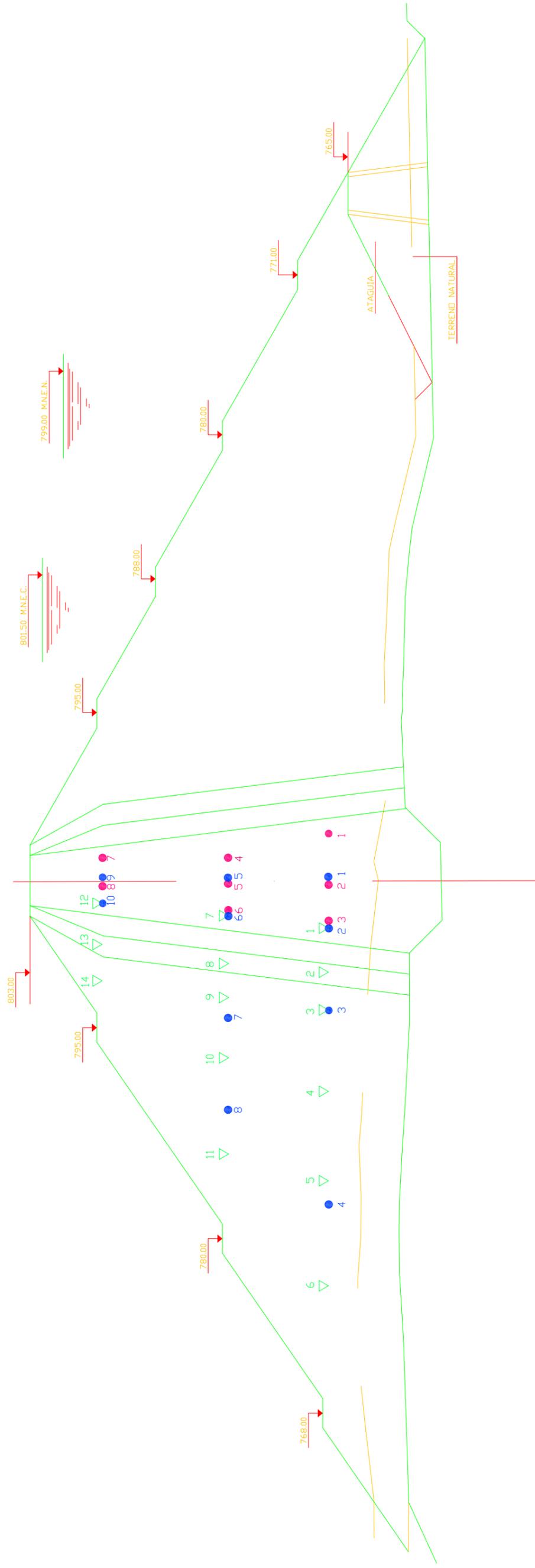


LEYENDA

-  AFORADOR TIPO THOMSON (AF)
-  CABLE SEÑAL 3 x 0.5 mm
-  ARMARIO CENTRALIZACION

DOCUMENTO: INFORME DE AUSCULTACION. COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE MAIDEVERA EN EL PERIODO DEL 01/01/03 AL 31/12/08	CÓDIGO DOCUMENTO: CLAVE CONTRATO:	ESCALAS:	FECHA:	TÍTULO DEL PLANO:	Nº DE PLANO:
		SIN ESCALA	JUNIO 2009	PLANTA PRESA DEL COLLADO Nº 1. DISPOSITIVOS DE AUSCULTACIÓN.	2
					HOJA:
					380

PERFIL P-12 A



LEYENDA

- PIEZOMETRO DE CUERDA VIBRANTE (PCV)
- CELULA DE PRESION TOTAL (CPT)
- ▽ CELULA HIDRAULICA DE ASIENTOS (CHA)

DOCUMENTO:  
**INFORME DE AUSCULTACION. COMPORTAMIENTO  
 DE LA PRESA DE MAIDEVERA EN EL PERIODO DEL  
 01/01/03 AL 31/12/08**

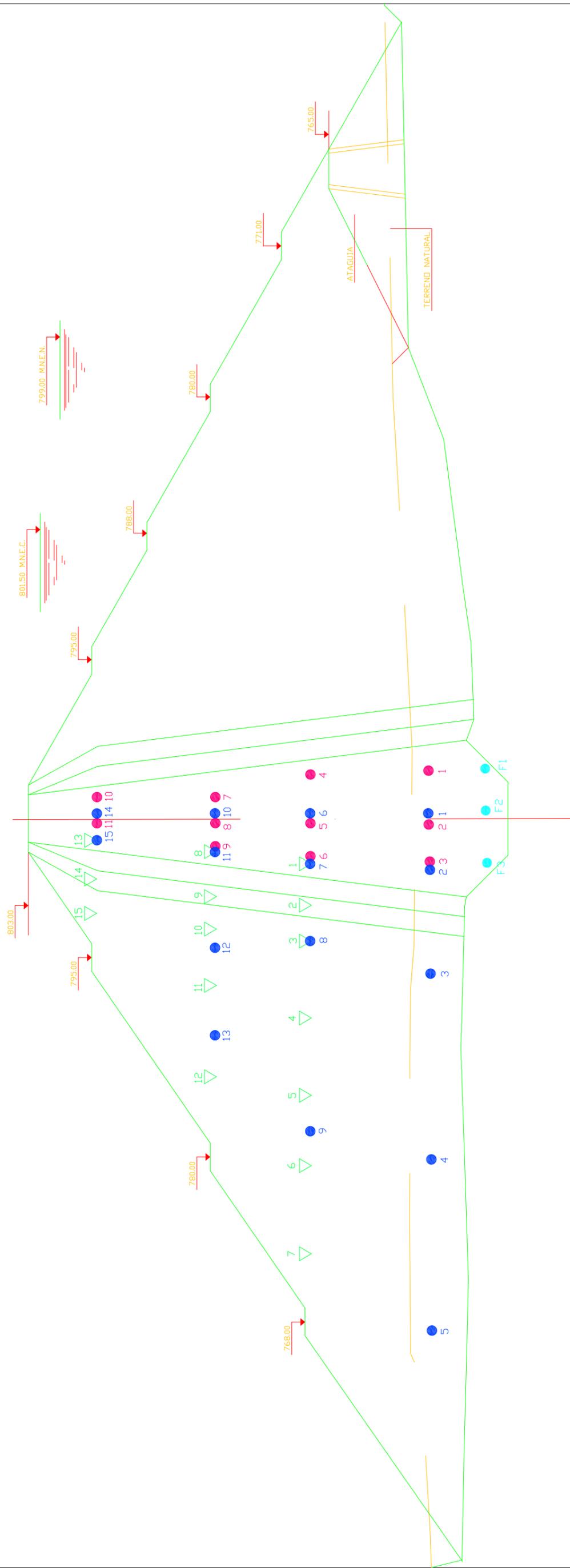
CODIGO DOCUMENTO:  
 CLAVE CONTRATO:

ESCALAS:  
 SIN ESCALA

FECHA:  
 JUNIO 2009

TITULO DEL PLANO:  
**SITUACION DE LOS DISPOSITIVOS DE  
 AUSCULTACION. PERFIL 12-A**

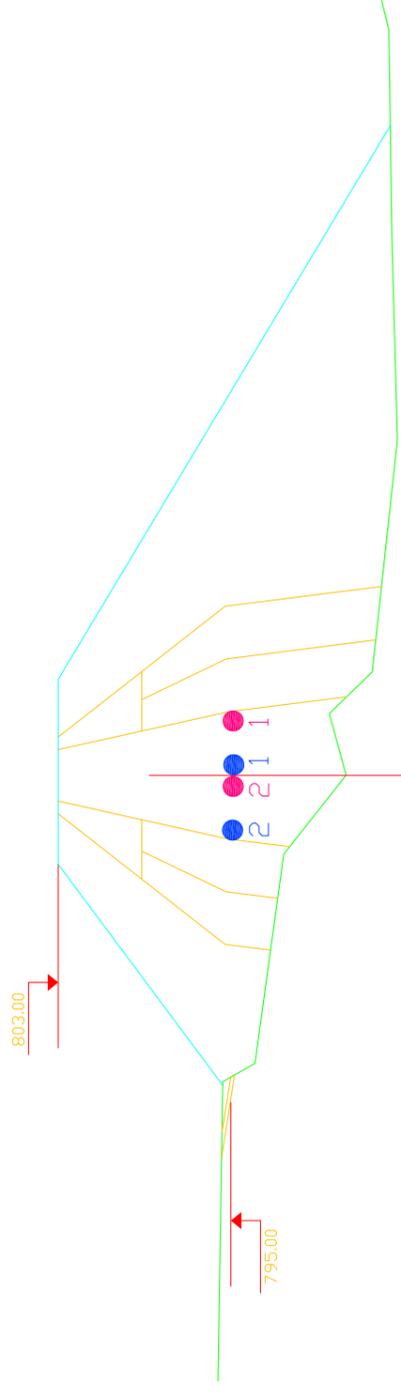
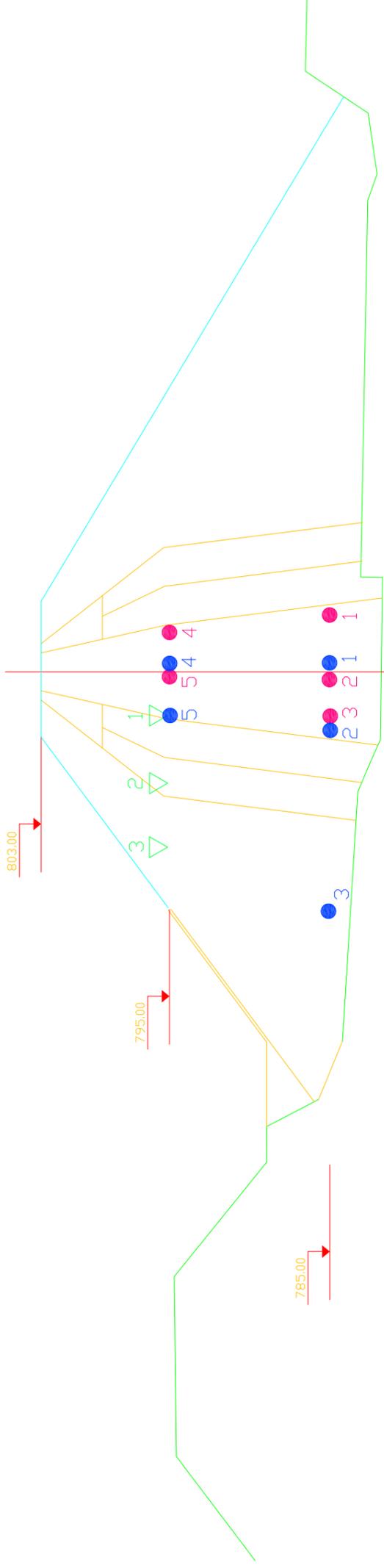
Nº DE PLANO:  
 3  
 HOJA:  
 381



LEYENDA

- PIEZOMETRO DE CUERDA VIBRANTE (PCV)
- CELULA DE PRESION TOTAL (CPT)
- ▽ CELULA HIDRAULICA DE ASIENTOS (CHA)
- PIEZOMETRO NEUMÁTICO

DOCUMENTO: INFORME DE AUSCULTACION. COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE MAIDEVERA EN EL PERIODO DEL 01/09/03 AL 31/12/08	CÓDIGO DOCUMENTO: CLAVE CONTRATO:	ESCALAS: SIN ESCALA	FECHA: JUNIO 2009	TÍTULO DEL PLANO: SITUACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE AUSCULTACIÓN. PERFIL 17-B	Nº DE PLANO: 4
					HOJA: 382



LEYENDA

- PIEZOMETRO DE CUERDA VIBRANTE (PCV)
- CELULA DE PRESION TOTAL (CPT)
- ▽ CELULA HIDRAULICA DE ASIENTOS (CHA)

DOCUMENTO:  
 INFORME DE AUSCULTACION. COMPORTAMIENTO  
 DE LA PRESA DE MAIDEVERA EN EL PERIODO DEL  
 01/09/03 AL 31/12/08

CODIGO DOCUMENTO:  
 CLAVE CONTRATO:

ESCALAS:  
 SIN ESCALA

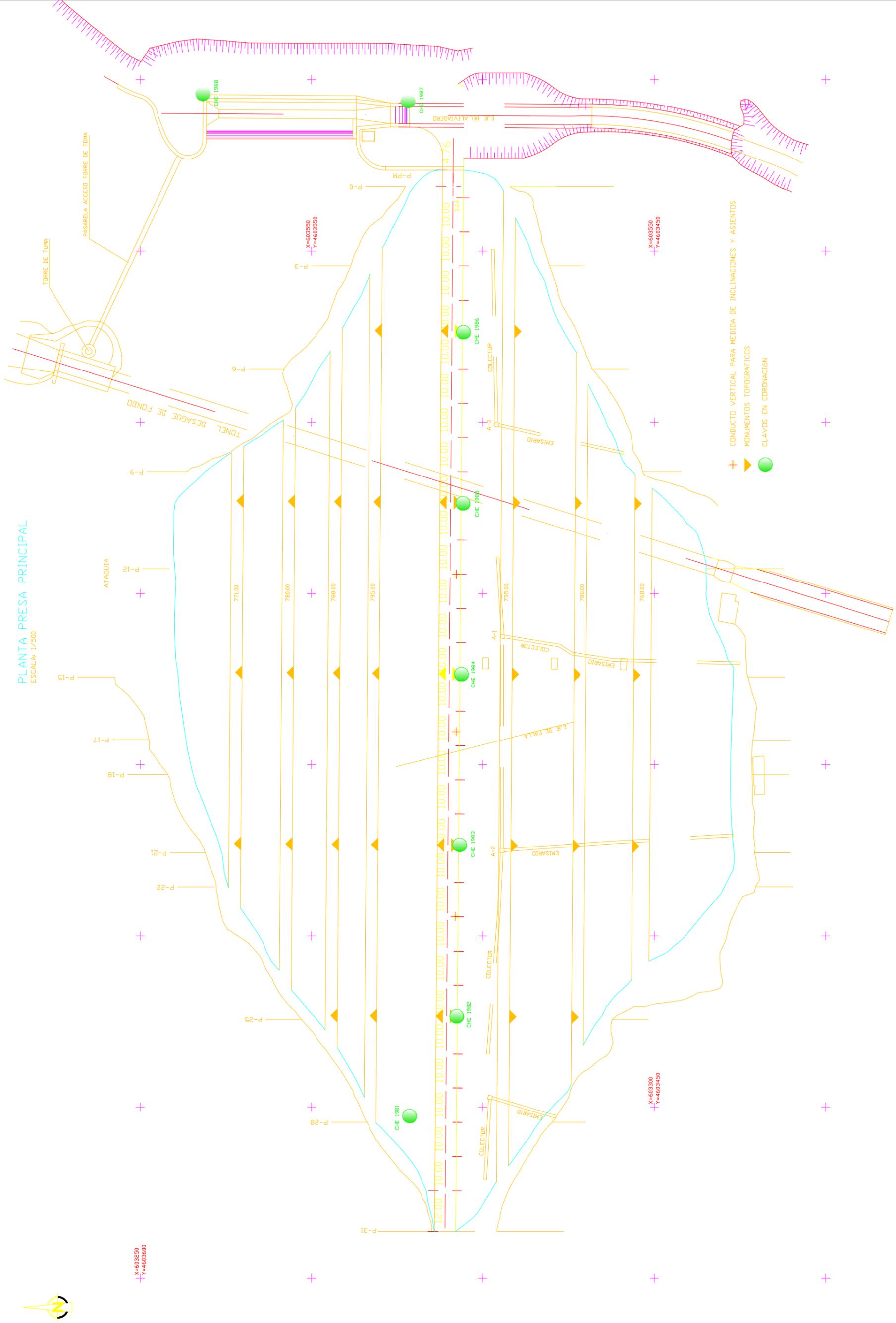
FECHA:  
 JUNIO 2009

TITULO DEL PLANO:  
 SITUACION DE LOS DISPOSITIVOS DE  
 AUSCULTACION. PERFIL 13-C Y 19-D. PRESA DEL  
 COLLADO N° 1.

N° DE PLANO:  
 5  
 HOJA:  
 383

PLANTA PRESA PRINCIPAL

ESCALA: 1/500

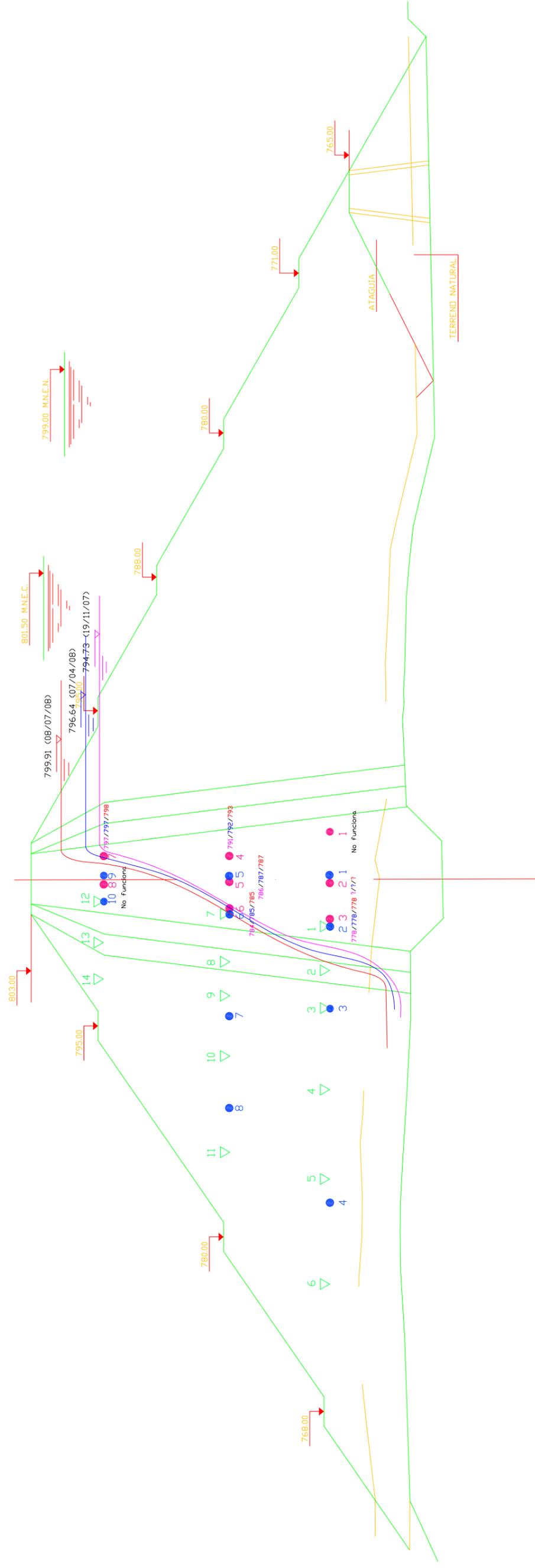


+ CONDUITO VERTICAL PARA MEDIDA DE INCLINACIONES Y ASIENTOS  
 ▲ MONUMENTOS TOPOGRAFICOS  
 ● CLAVOS EN CORDONACION

DOCUMENTO: INFORME DE AUSCULTACION. COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE MAIDEVERA EN EL PERIODO DEL 01/01/03 AL 31/12/08	CÓDIGO DOCUMENTO: CLAVE CONTRATO:	ESCALAS: SIN ESCALA	FECHA: JUNIO 2009	TÍTULO DEL PLANO: AUSCULTACIÓN TOPOGRÁFICA. PLANTA	Nº DE PLANO: 6
					HOJA: 384

NIVELES PIEZOMETRICOS ASOCIADOS A TRES NIVELES DE EMBALSE:  
 794.73 m.s.n.m. <19/11/07>, 796.64 m.s.n.m. <07/04/08> y 799.91 m.s.n.m. <08/07/08>

PERFIL P-12 A



LEYENDA

- PIEZOMETRO DE CUERDA VIBRANTE <PCV>
- CELULA DE PRESION TOTAL <CPT>
- ▽ CELULA HIDRAULICA DE ASIENTOS <CHA>

DOCUMENTO:  
 INFORME DE AUSCULTACION. COMPORTAMIENTO  
 DE LA PRESA DE MAIDEVERA EN EL PERIODO DEL  
 01/09/03 AL 31/12/08

CODIGO DOCUMENTO:  
 CLAVE CONTRATO:

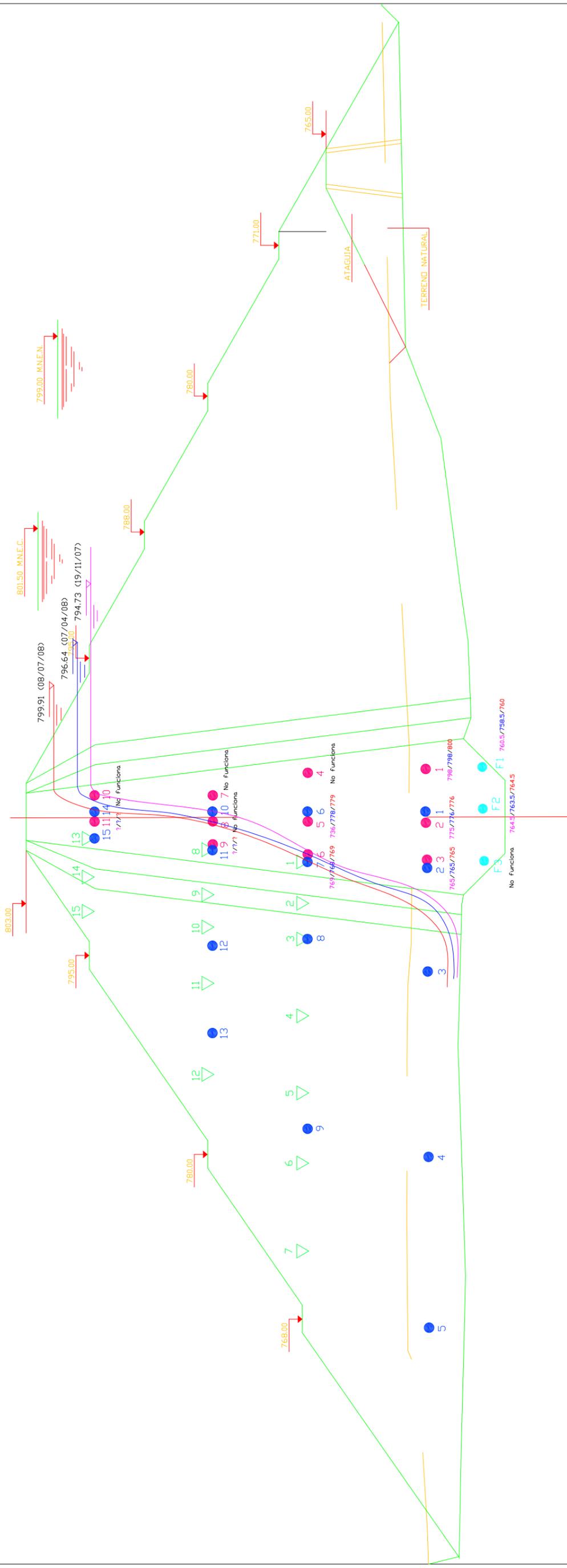
ESCALAS:  
 SIN ESCALA

FECHA:  
 JUNIO 2009

TITULO DEL PLANO:  
 LÍNEA DE SATURACIÓN DE LA PRESA PRINCIPAL  
 DE MAIDEVERA. PERFIL 12-A

Nº DE PLANO:  
 7  
 HOJA:  
 385

NIVELES PIEZOMETRICOS ASOCIADOS A TRES NIVELES DE EMBALSE:  
 794.73 m.s.n.m. <19/11/07>, 796.64 m.s.n.m. <07/04/08> y 799.91 m.s.n.m. <08/07/08>



LEYENDA

- PIEZOMETRO DE CUERDA VIBRANTE (PCV)
- CELULA DE PRESION TOTAL (CPT)
- ▽ CELULA HIDRAULICA DE ASIENTOS (CHA)
- PIEZOMETRO NEUMÁTICO

DOCUMENTO:  
 INFORME DE AUSCULTACION. COMPORTAMIENTO  
 DE LA PRESA DE MAIDEVERA EN EL PERIODO DEL  
 01/09/03 AL 31/08/08

CODIGO DOCUMENTO:  
 CLAVE CONTRATO:

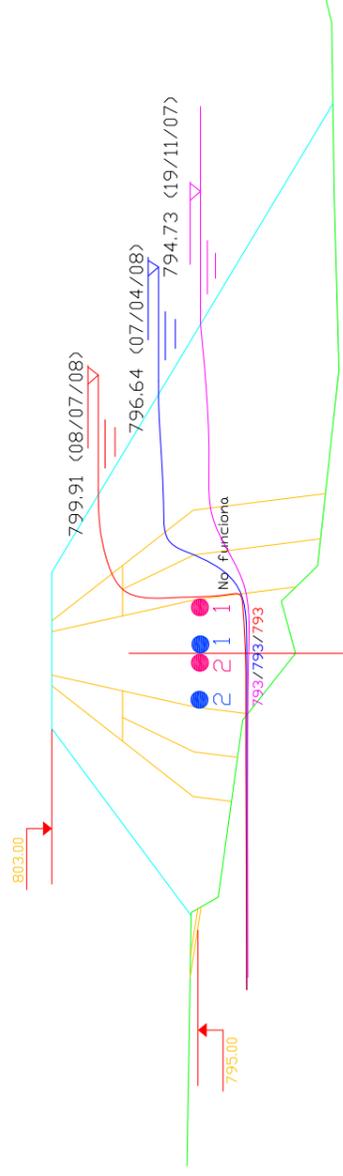
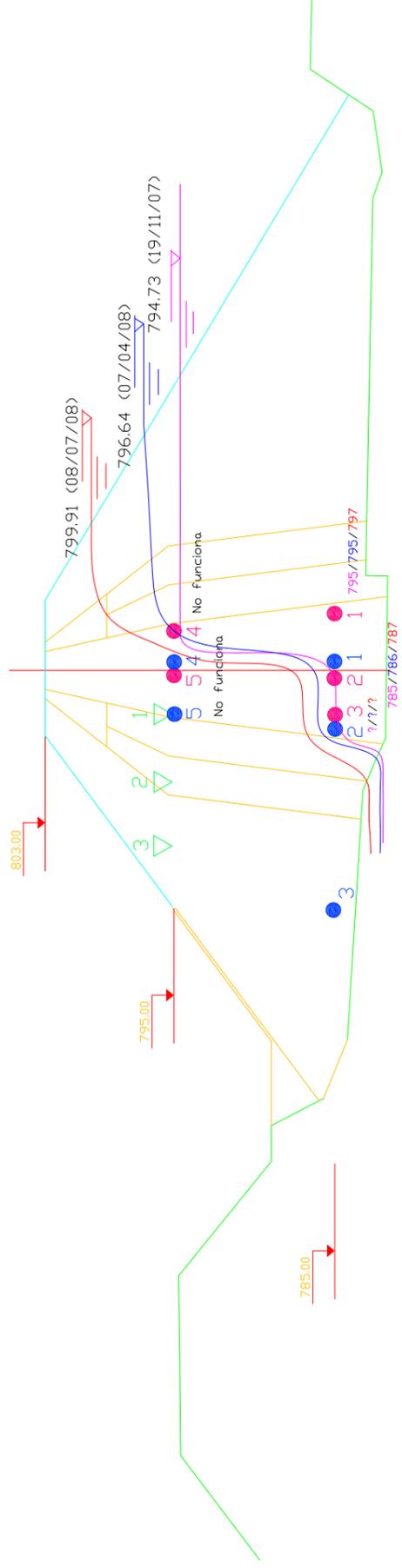
ESCALAS:  
 SIN ESCALA

FECHA:  
 JUNIO 2009

TITULO DEL PLANO:  
 LÍNEA DE SATURACIÓN DE LA PRESA PRINCIPAL  
 DE MAIDEVERA. PERFIL 17-B

Nº DE PLANO:  
 8  
 HOJA:  
 386

NIVELES PIEZOMETRICOS ASOCIADOS A TRES NIVELES DE EMBALSE:  
 794.73 m.s.n.m. (19/11/07), 796.64 m.s.n.m. (07/04/08) y 799.91 m.s.n.m. (08/07/08)



LEYENDA

- PIEZOMETRO DE CUERDA VIBRANTE (PCV)
- CELULA DE PRESION TOTAL (CPT)
- ▽ CELULA HIDRAULICA DE ASIENTOS (CHA)

DOCUMENTO: INFORME DE AUSCULTACION. COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE MAIDEVERA EN EL PERIODO DEL 01/09/03 AL 31/12/08	CÓDIGO DOCUMENTO: CLAVE CONTRATO:	ESCALAS: SIN ESCALA	FECHA: JUNIO 2009	TÍTULO DEL PLANO: LÍNEA DE SATURACIÓN DE LA PRESA DE COLLADO N° 1. PERFIL 13-C Y 19-D.	N° DE PLANO: 9
					HOJA: 387

**B.2. ANEJO N° 2:**

**GRÁFICOS DE LAS VARIABLES AUSCULTADAS**

## ANEJO Nº 2 - GRÁFICOS DE LAS VARIABLES AUSCULTADAS

### ÍNDICE

#### A) VARIABLES EXTERIORES:

- A1 Evolución temporal de las variables exteriores: niveles de embalse y precipitaciones.
- A2 Evolución temporal del nivel de embalse de Maidevera.
- A3 Evolución temporal de las precipitaciones en el embalse de Maidevera.

#### B) CÉLULAS HIDRÁULICAS DE ASIENTO:

- B1 Células hidráulicas de asiento. Evolución de los desplazamientos verticales en el perfil P-17B.
- B2 Células hidráulicas de asiento. Evolución de los desplazamientos verticales en el perfil P-12A.
- B3 Células hidráulicas de asiento. Evolución de los desplazamientos verticales en el perfil P-13C.

#### C) CONTROL DE PRESIONES INTERSTICIALES:

- C1 Piezómetros neumáticos. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la cimentación del perfil P-17B.
- C2 Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en el perfil P-12A desde el año 1982.
- C3 Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en el perfil P-17B desde el año 1982.
- C4 Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en el perfil P-13C desde el año 1982.
- C5 Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en el perfil P-19D desde el año 1982.
- C6 Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en el perfil P-12A durante el periodo de estudio.
- C7 Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en el perfil P-17B durante el periodo de estudio.
- C8 Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en el perfil P-13C durante el periodo de estudio.
- C9 Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en el perfil P-19D durante el periodo de estudio.

#### **D) CÉLULAS NEUMÁTICAS DE PRESIÓN TOTAL:**

- D1.** Células neumáticas de presión total. Evolución temporal de las presiones en el perfil P-12A.
- D2.** Células neumáticas de presión total. Evolución temporal de las presiones en el perfil P-17B.
- D3.** Células neumáticas de presión total. Evolución temporal de las presiones en el perfil P-13C.
- D4.** Células neumáticas de presión total. Evolución temporal de las presiones en el perfil P-19D.

#### **E) CONTROL DE FILTRACIONES**

- E1.** Evoluciones temporales de las filtraciones de la presa en el año 2004, antes de la instalación de los aforadores.
- E2.** Evoluciones temporales de las filtraciones de la presa medidas de manera automática mediante los aforadores (del aforador AF-5 no dispone de datos de forma automática).

#### **F) AUSCULTACIÓN TOPOGRÁFICA**

- F1.** Evolución temporal de los desplazamientos verticales en coronación en el periodo de tiempo entre el año 1999 hasta el 2008, mediante nivelación topográfica.

# A) VARIABLES EXTERIORES

## VARIABLES EXTERIORES

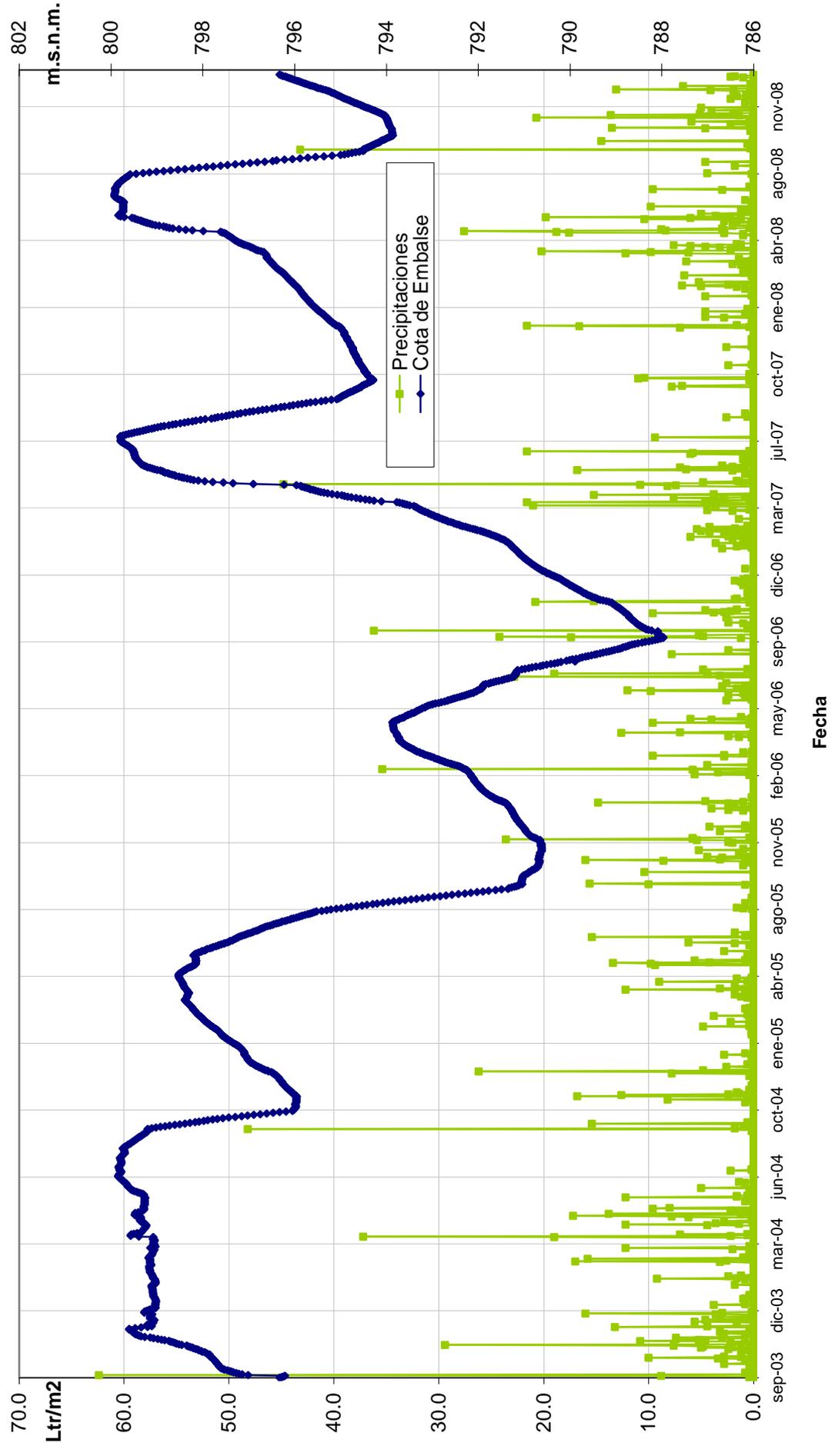


Gráfico A1. Evolución temporal de las variables exteriores (nivel de embalse y precipitaciones) del embalse de Maidevera.

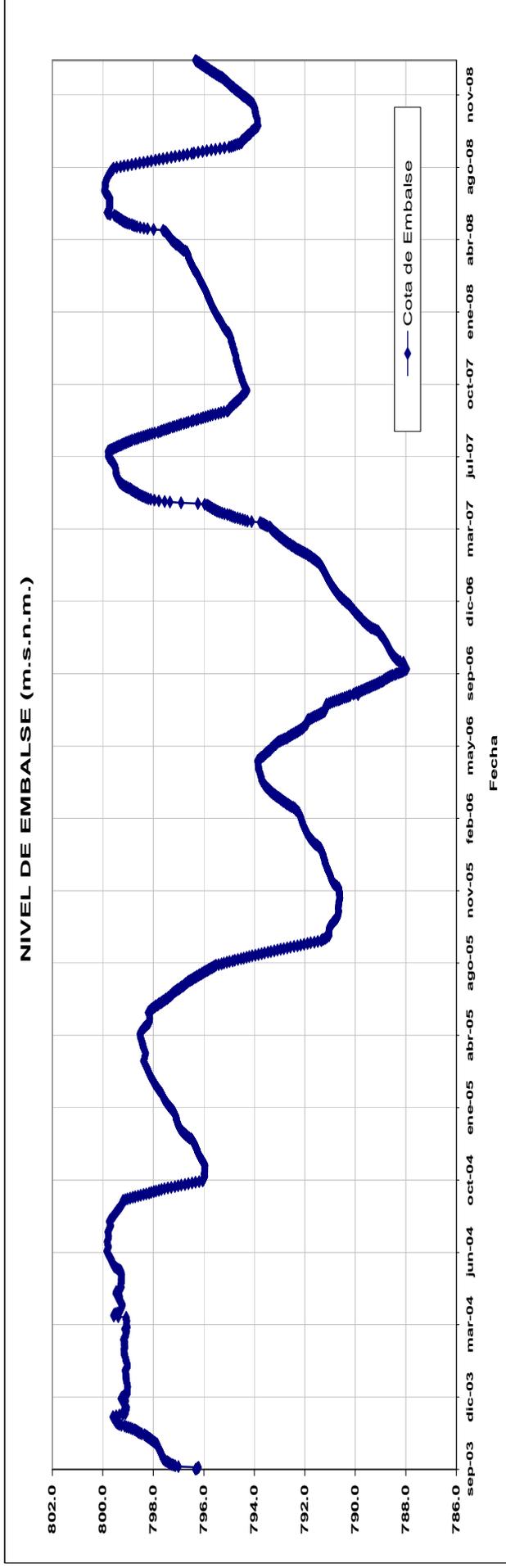


Gráfico A2. Evolución temporal del nivel del embalse de Maidevera.

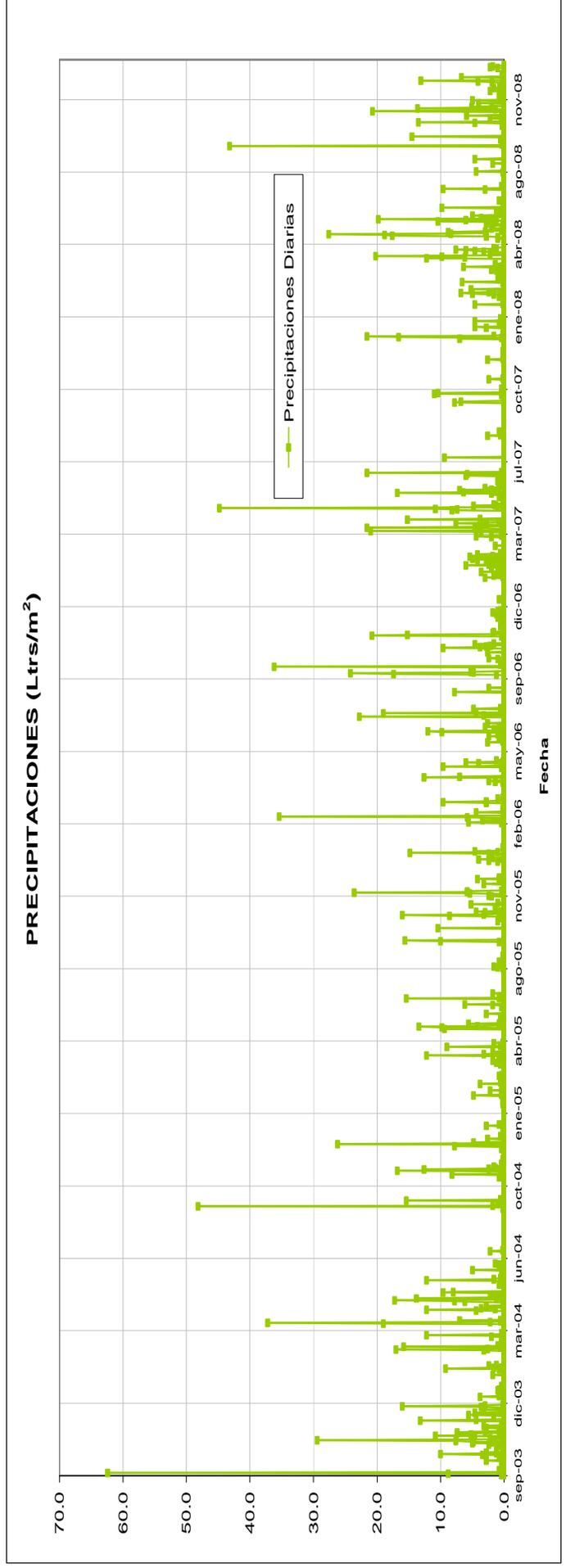


Gráfico A3. Evolución temporal de las precipitaciones en el embalse de Maidevera.

## B) CÉLULAS HIDRÁULICAS DE ASIENTO

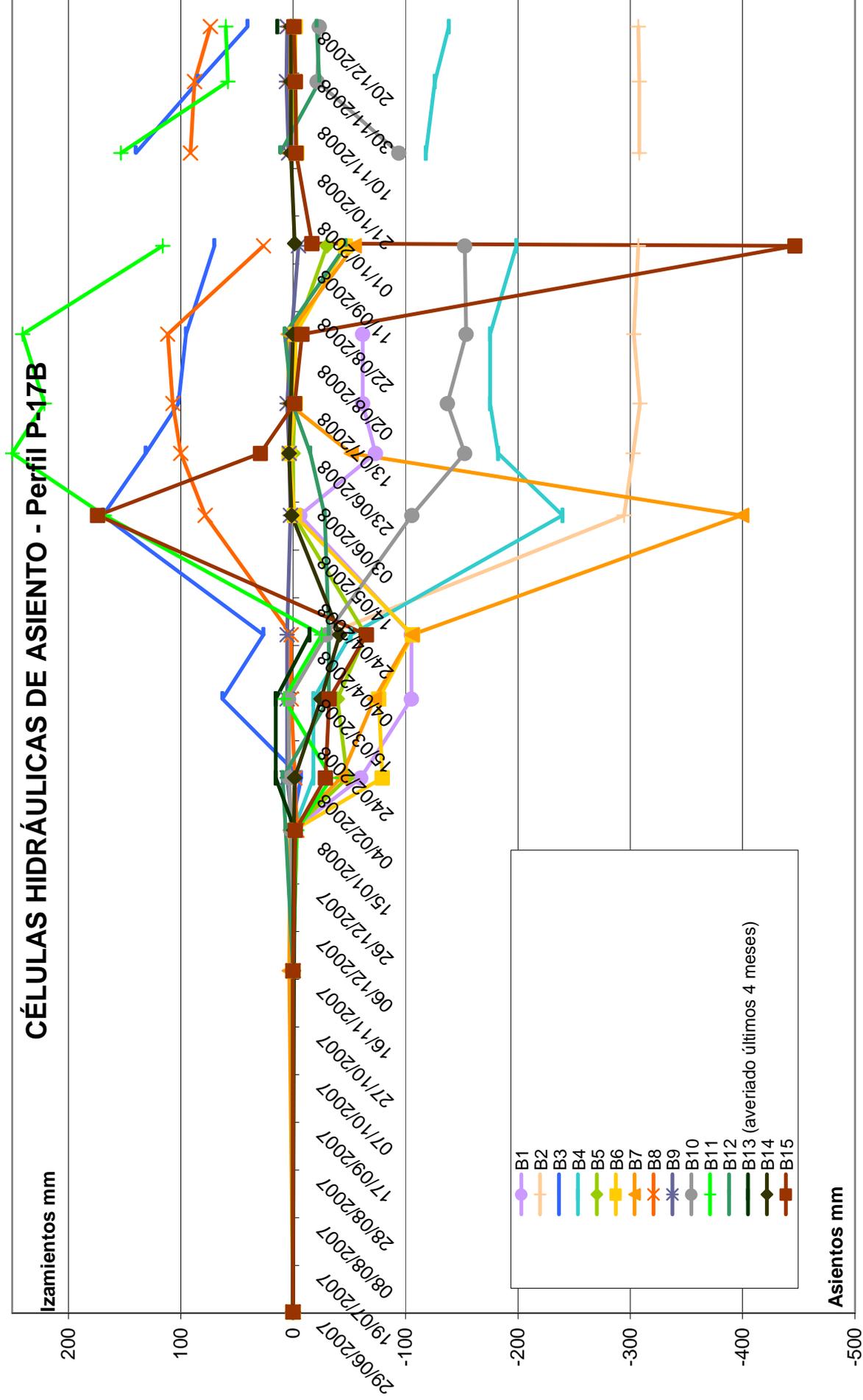


Gráfico B1. Células hidráulicas de asiento. Evolución temporal de los asientos en el perfil P-17B.

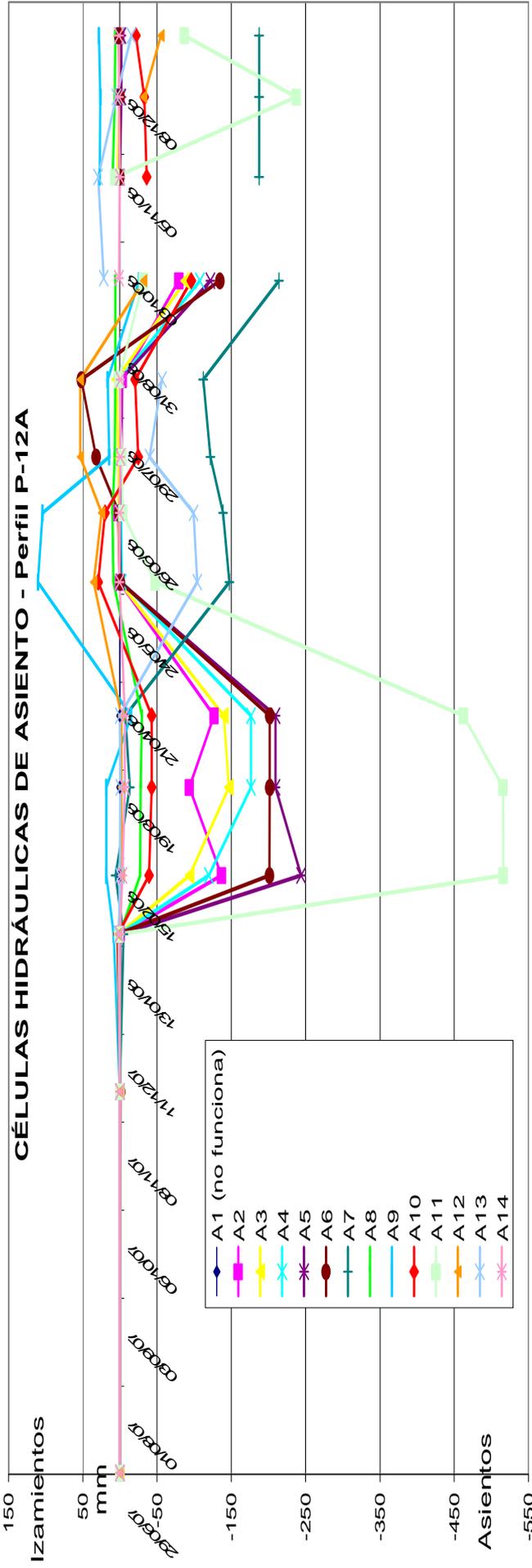


Gráfico B2. Células hidráulicas de asiento. Evolución temporal de los asientos en el perfil P-12A.

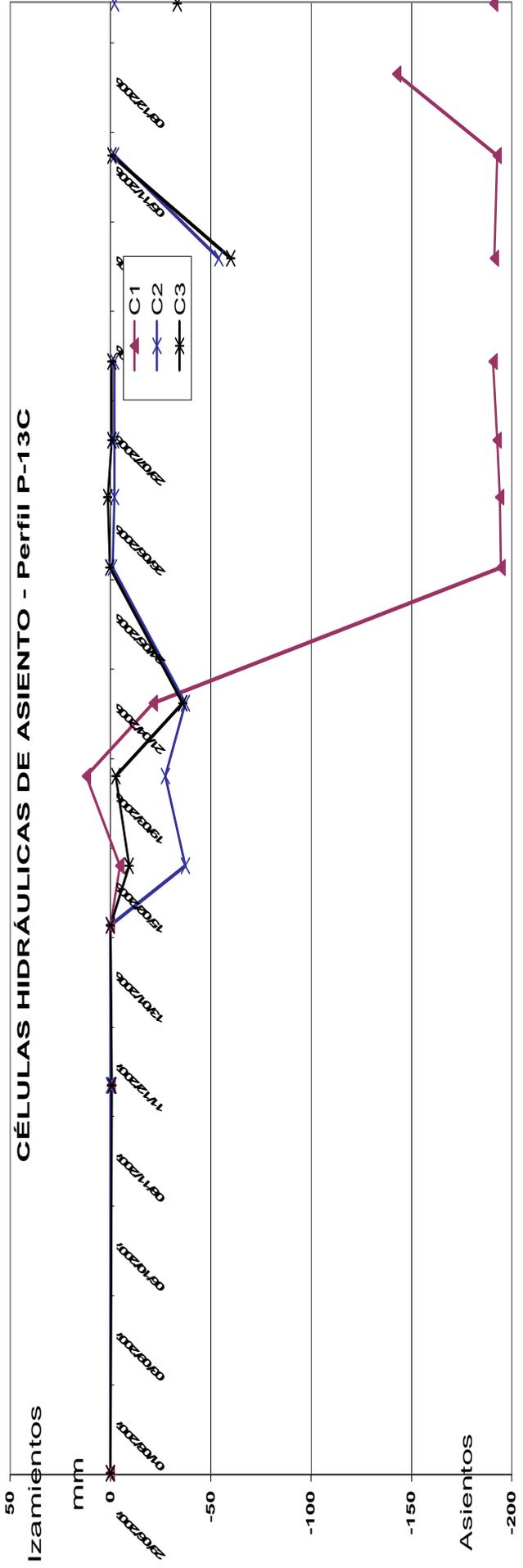


Gráfico B3. Células hidráulicas de asiento. Evolución temporal de los asientos en el perfil P-13C.

### C) CONTROL DE PRESIONES INTERSTICIALES

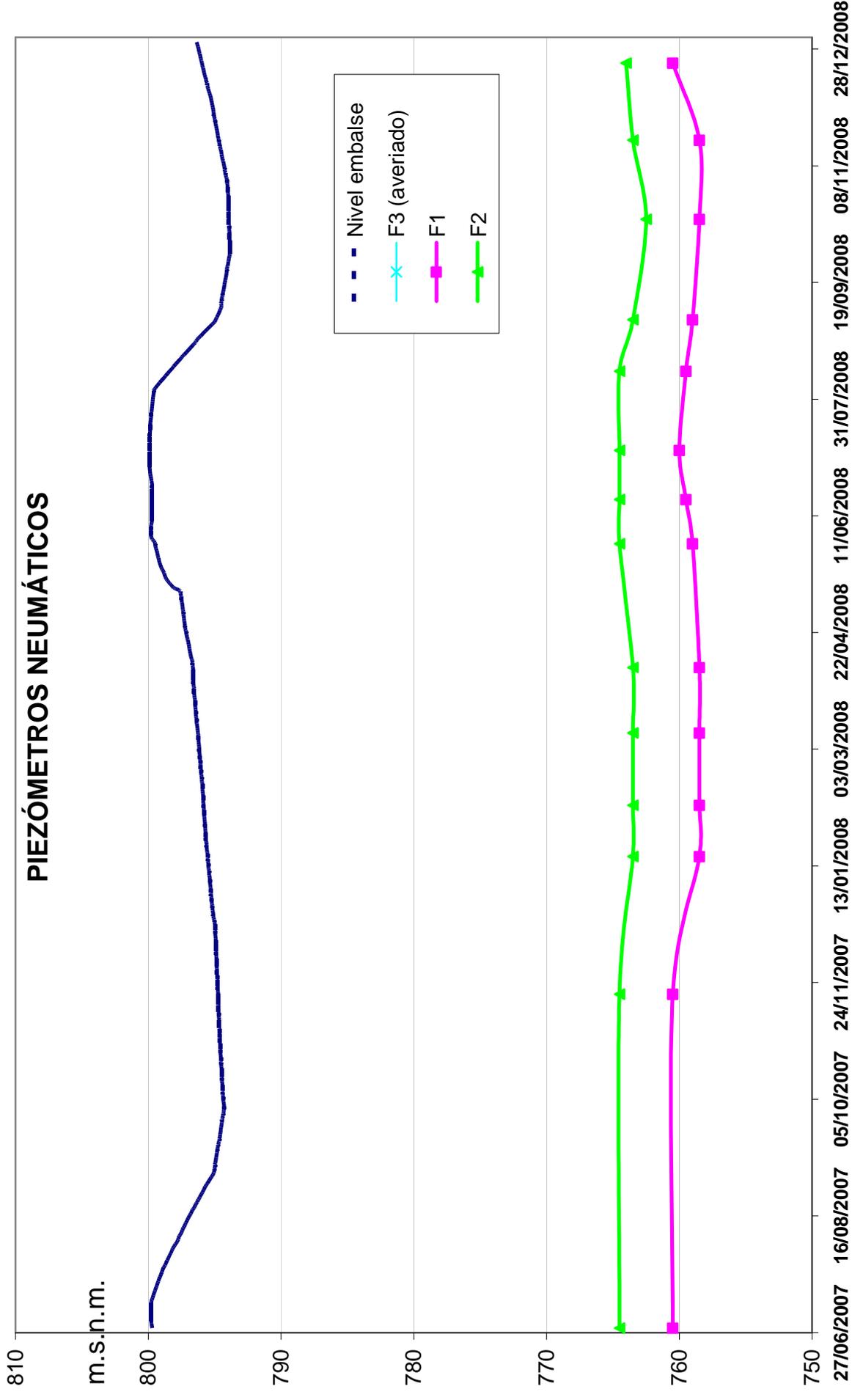


Gráfico C1. Piezómetros neumáticos. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en la cimentación del perfil P-17B.

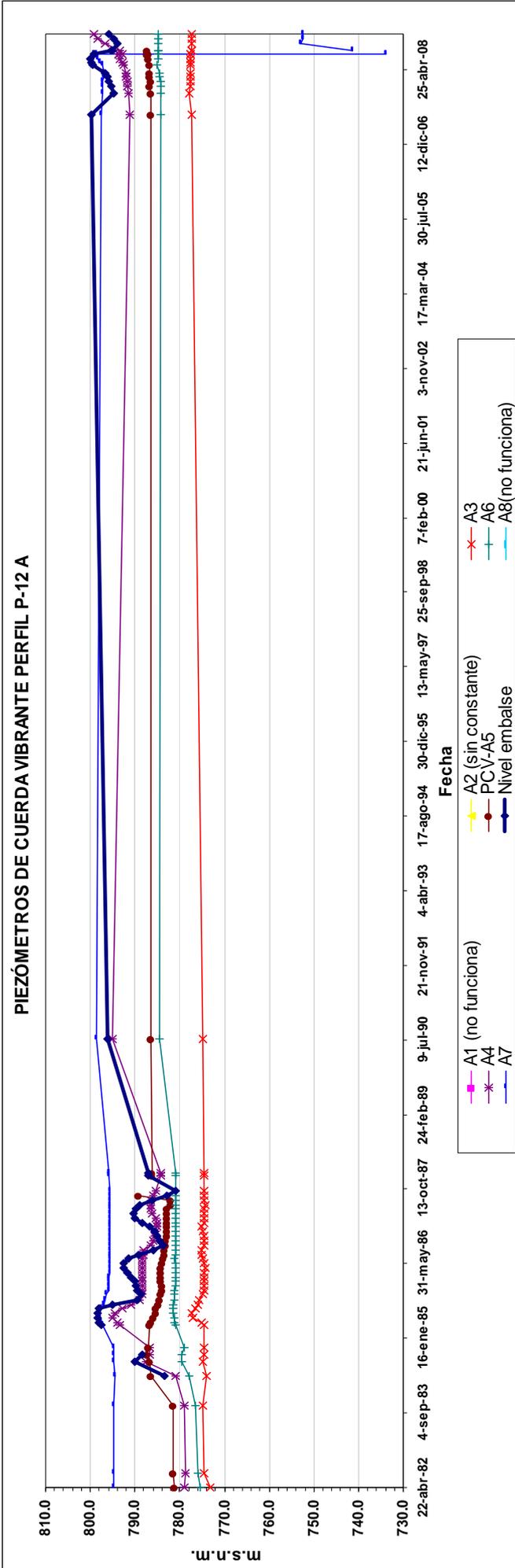


Gráfico C2. Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en el perfil P-12A desde el año 1982.

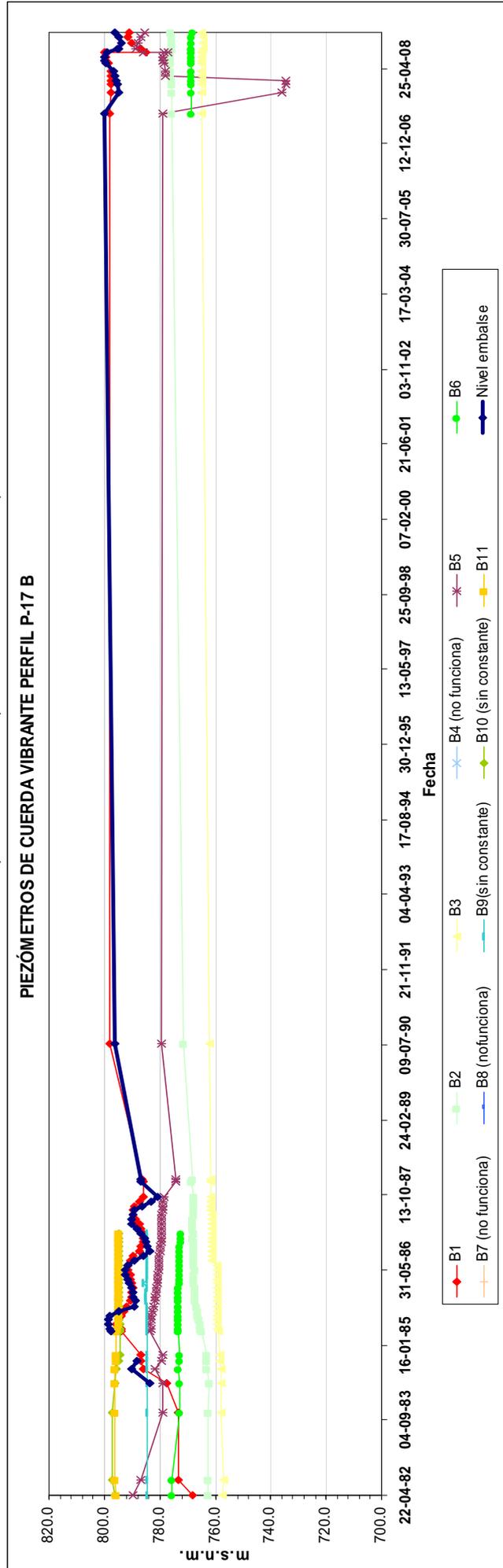


Gráfico C3. Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en el perfil P-17B desde el año 1982.

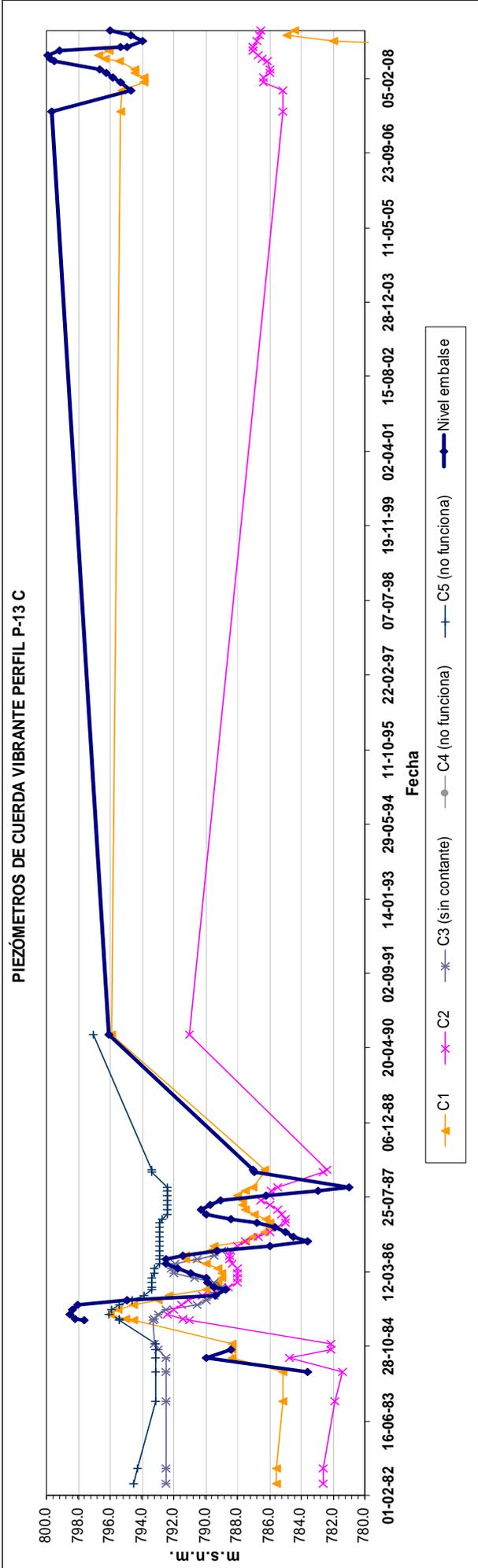


Gráfico C4. Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en el perfil P-13C desde el año 1982.

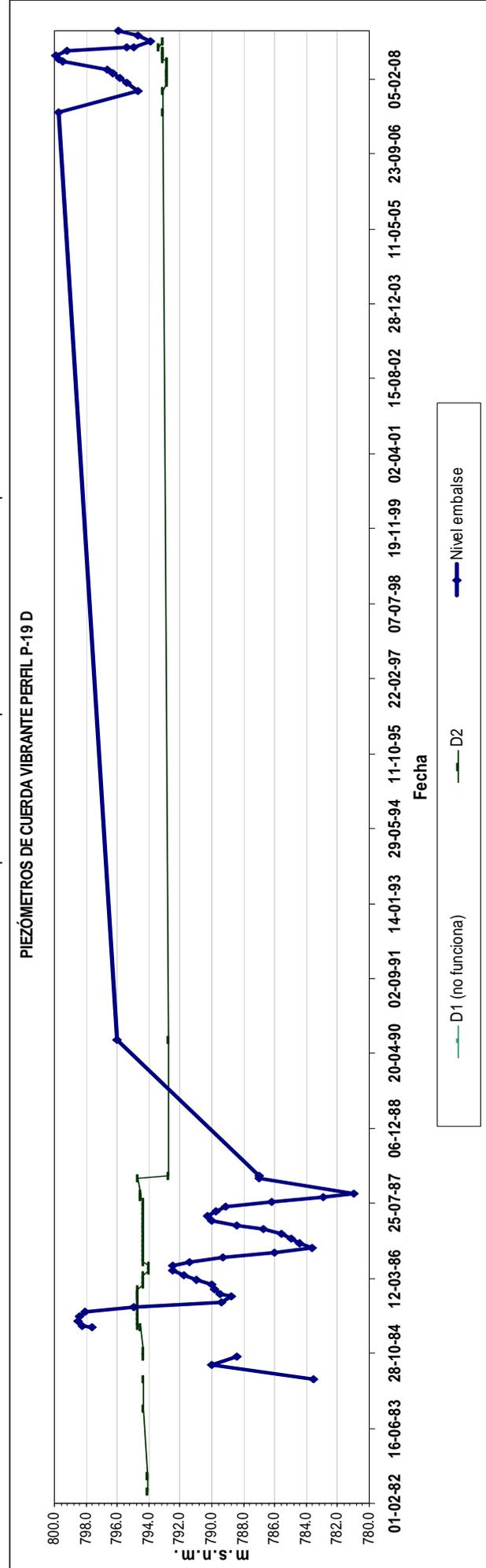


Gráfico C5. Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en el perfil P-19D desde el año 1982.

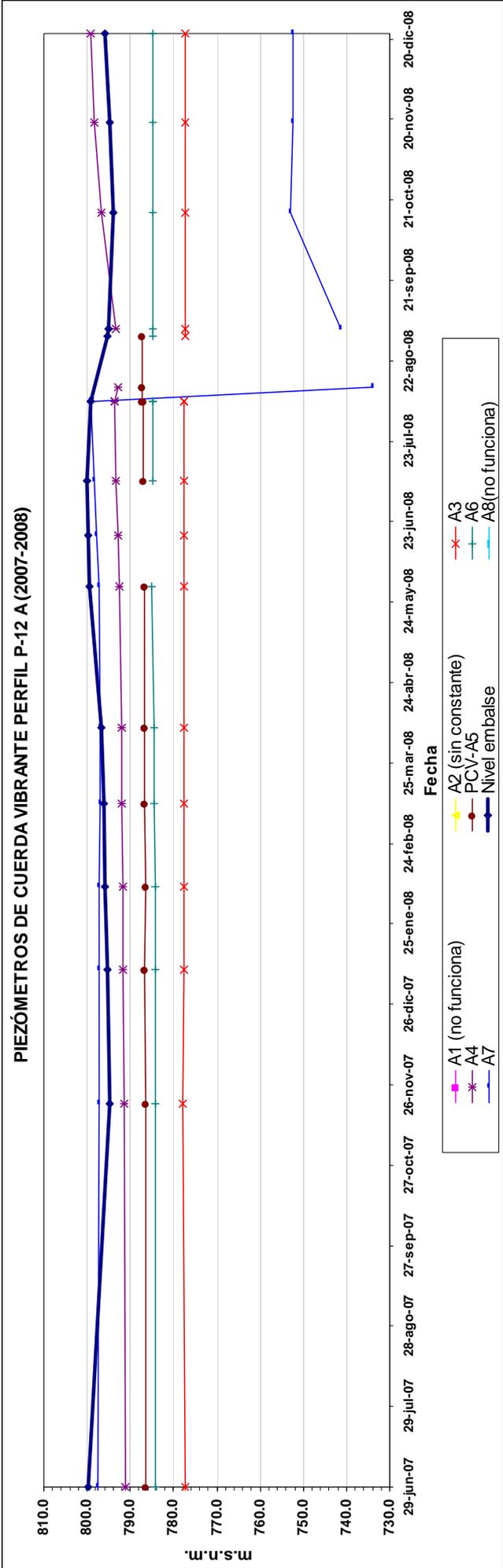


Gráfico C6. Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en el perfil P-12A en el periodo de estudio.

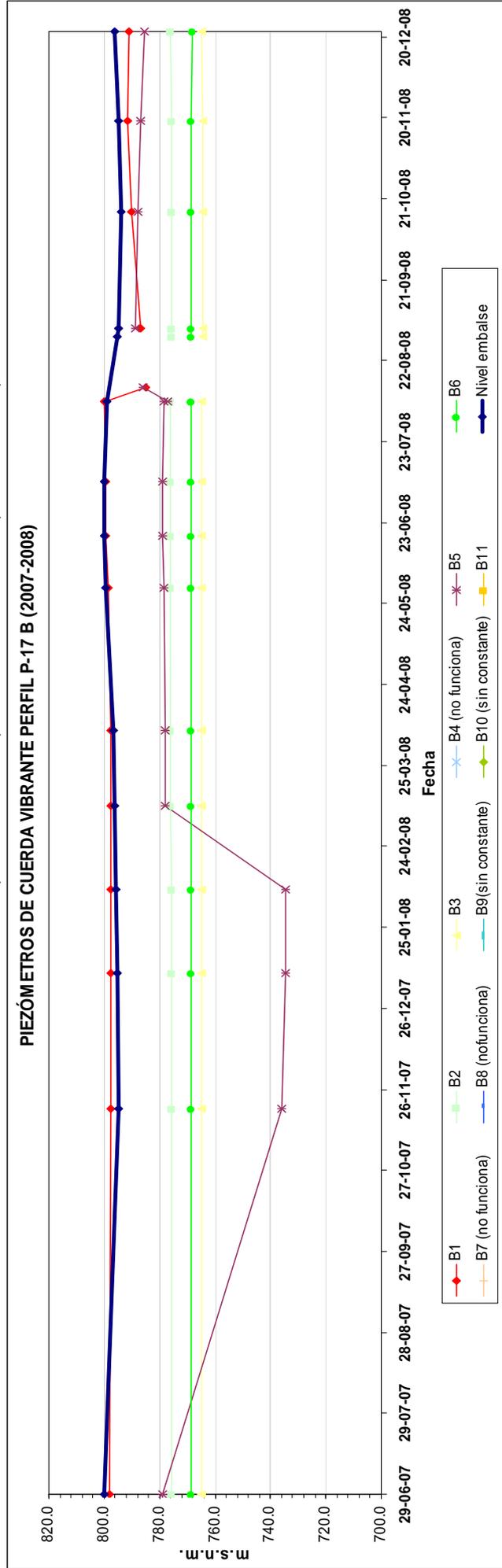


Gráfico C7. Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en el perfil P-17B en el periodo de estudio.

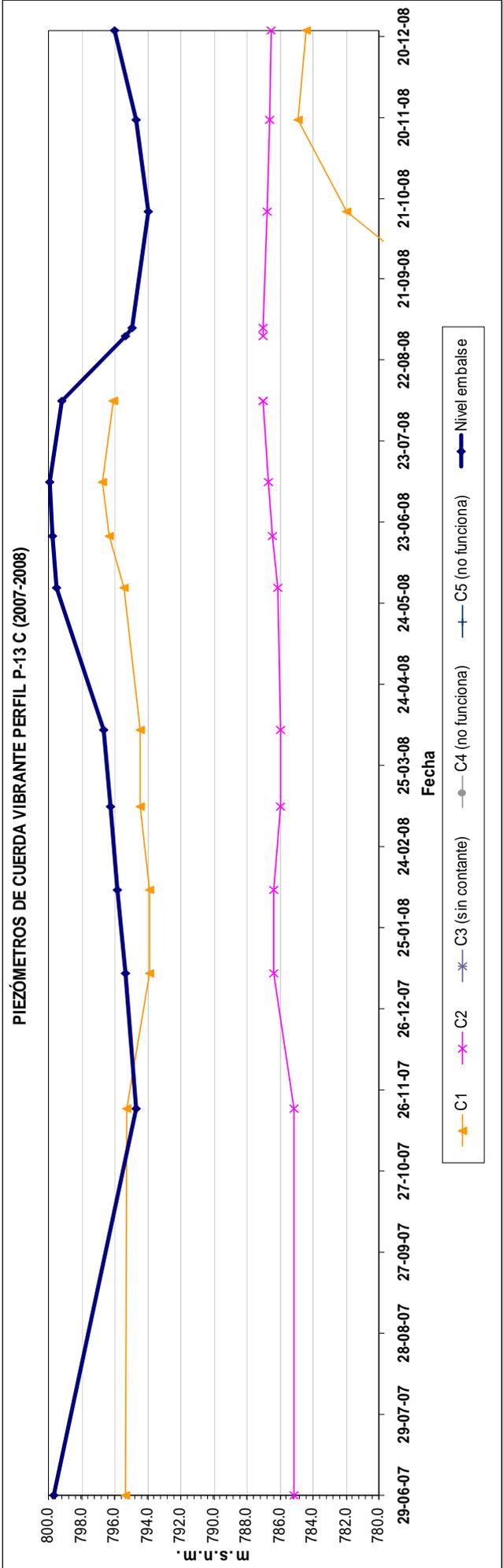


Gráfico C8. Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en el perfil P-13C en el periodo de estudio.

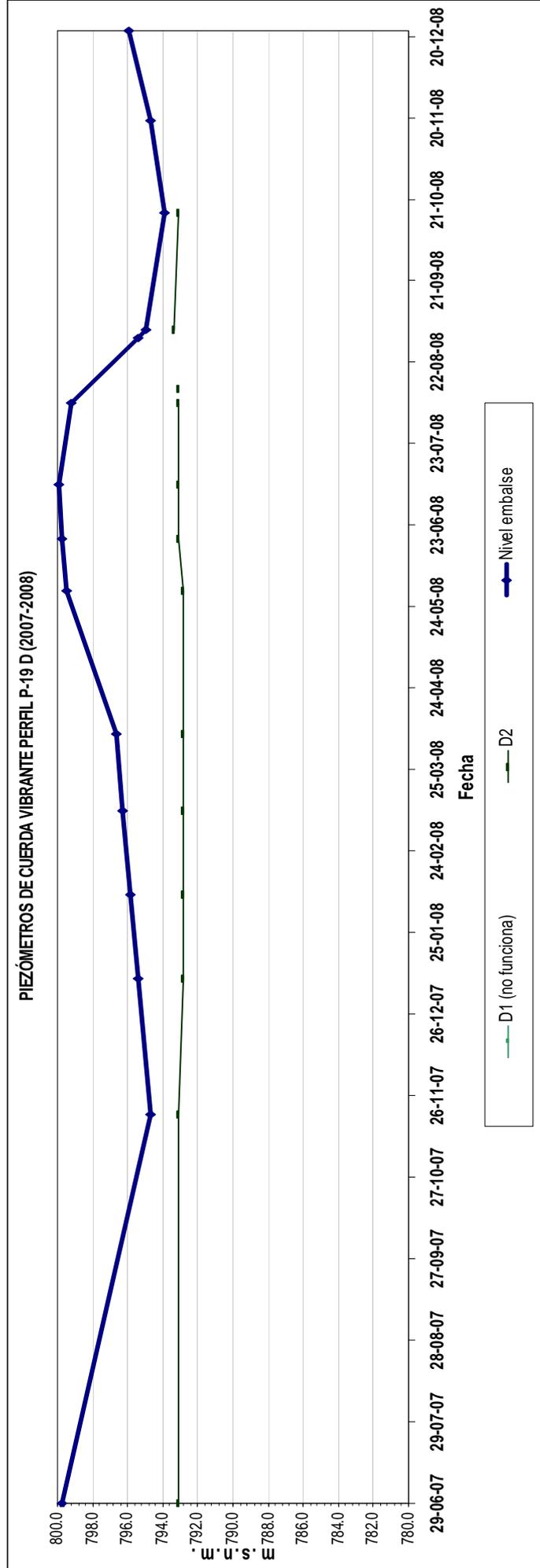


Gráfico C9. Piezómetros de cuerda vibrante. Evolución temporal de los niveles piezométricos medidos en el perfil P-19D en el periodo de estudio.





### E) CONTROL DE FILTRACIONES

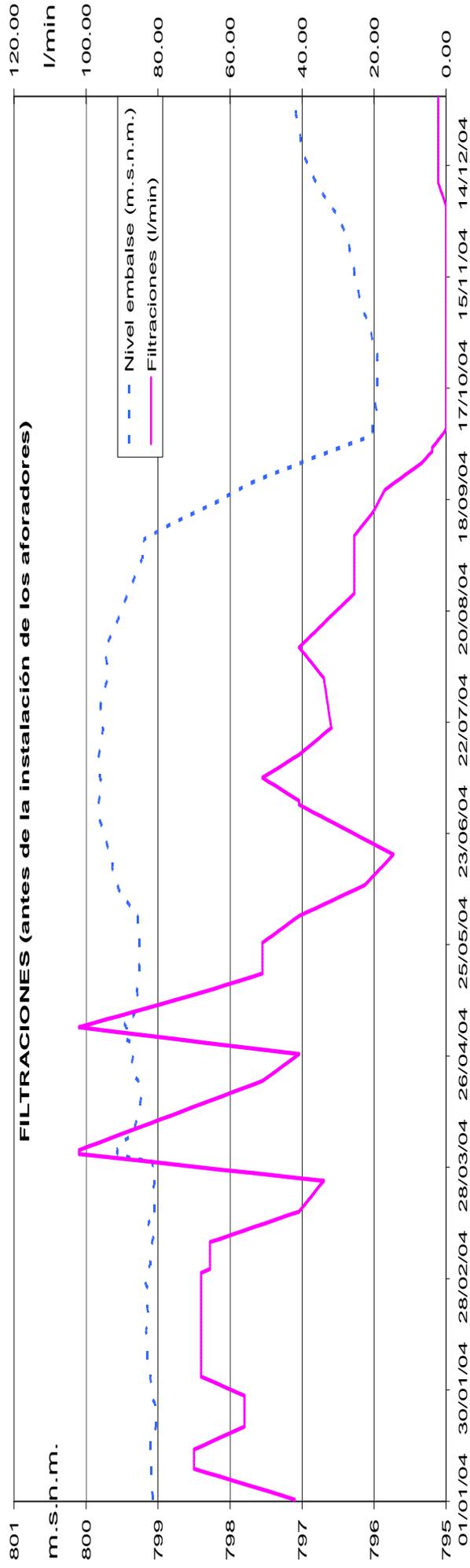


Gráfico E1. Evoluciones temporales de las filtraciones de la presa en el año 2004, antes de la instalación de los aforadores.

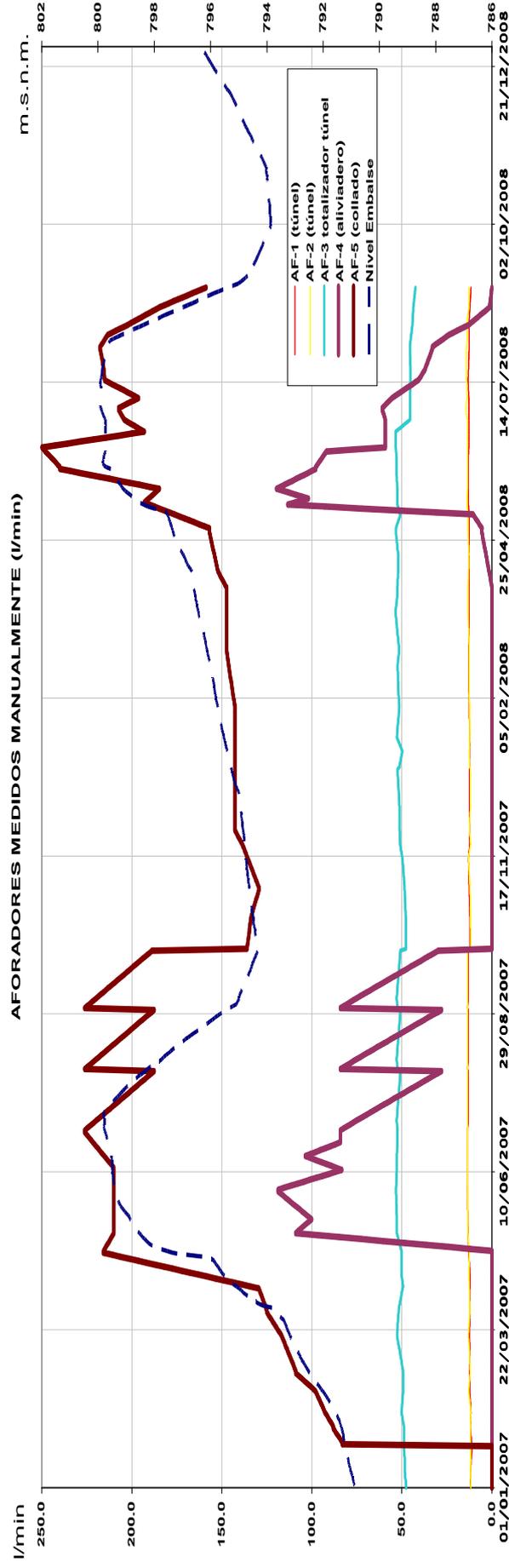


Gráfico E2. Evoluciones temporales de las filtraciones de la presa medidas de forma manual mediante los cinco aforadores.

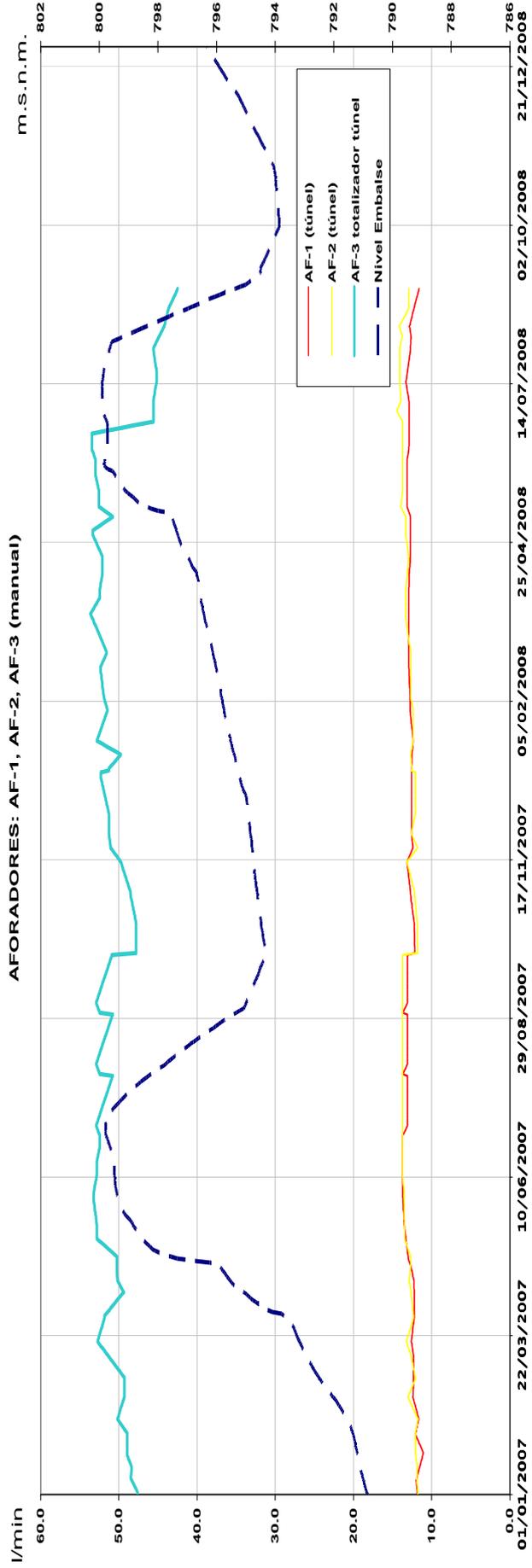


Gráfico E3. Evoluciones temporales de las filtraciones de la presa medidas de forma manual mediante los aforadores situados en el túnel (AF-1, AF-2, AF-3).

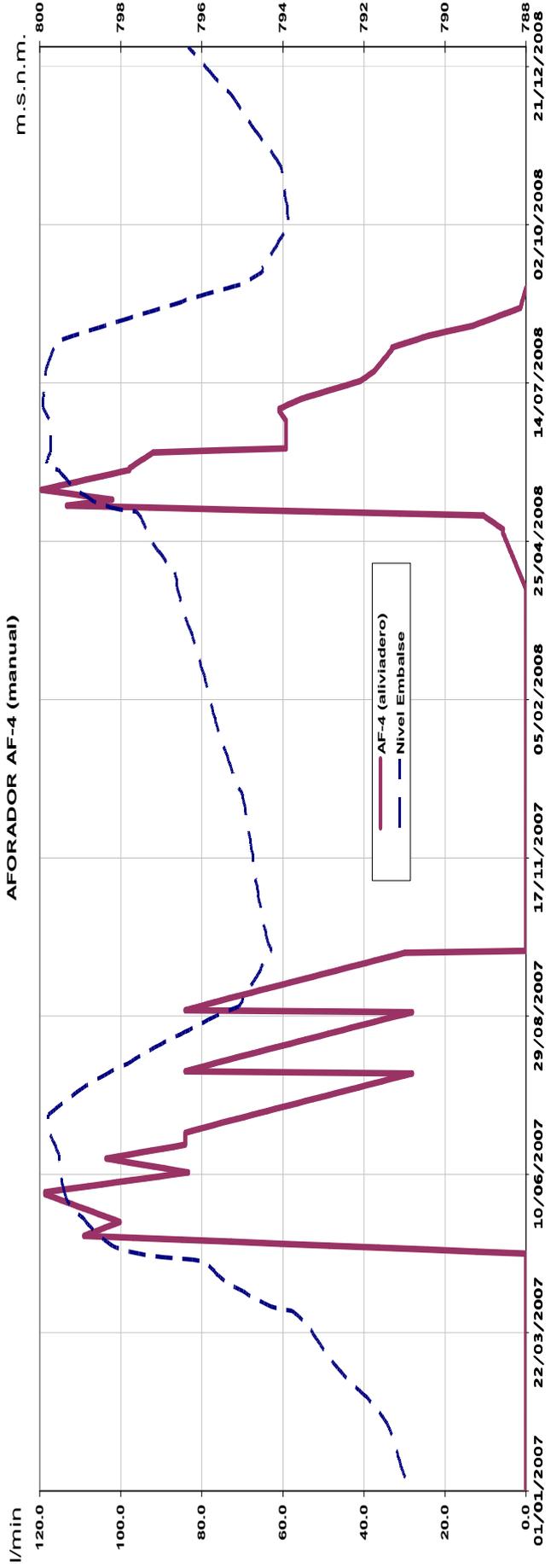


Gráfico E4. Evolución temporal de las filtraciones de que provienen del aliviadero medidas de forma manual mediante el aforador 4 (AF-4)

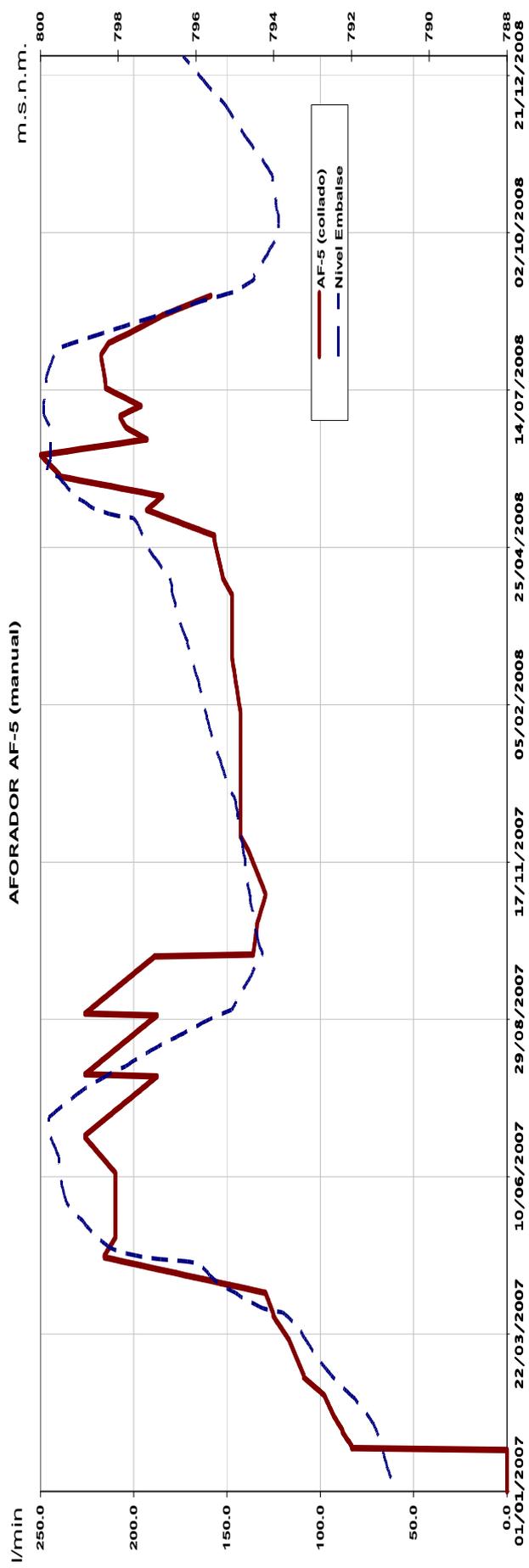


Gráfico E5. Evolución temporal de las filtraciones del collado nº 1 medidas de forma manual mediante el aforador 5 (AF-5)

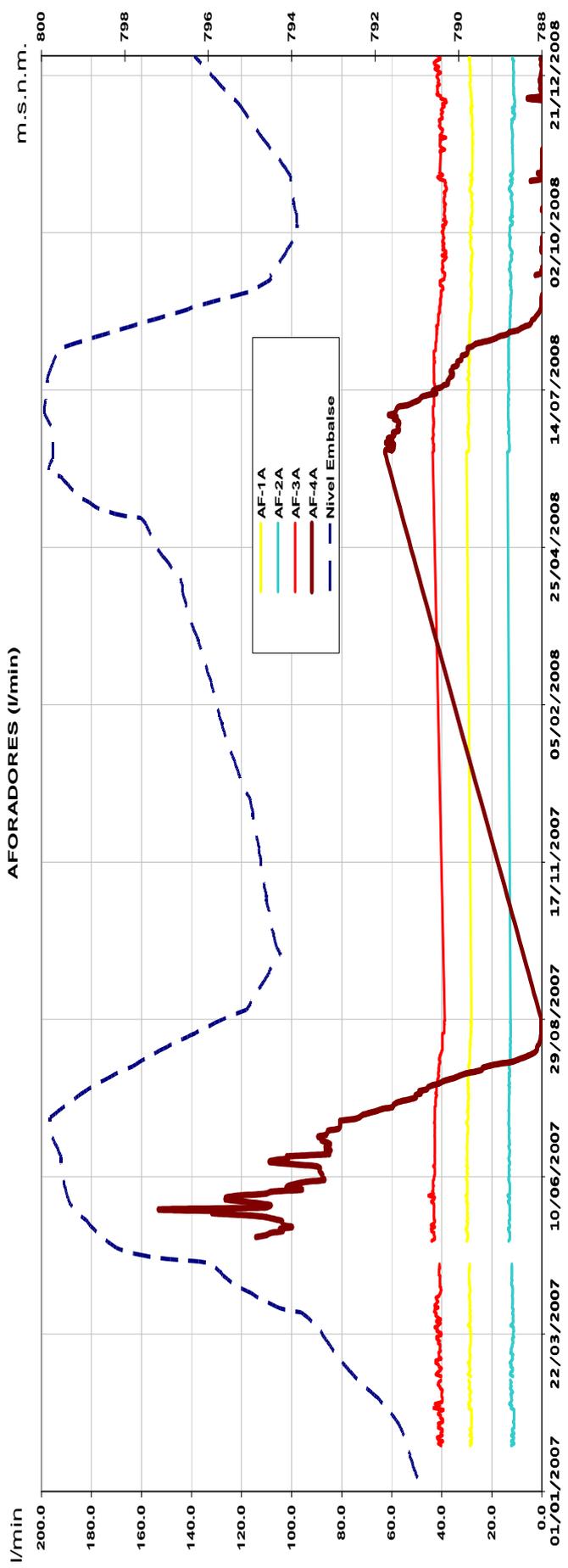
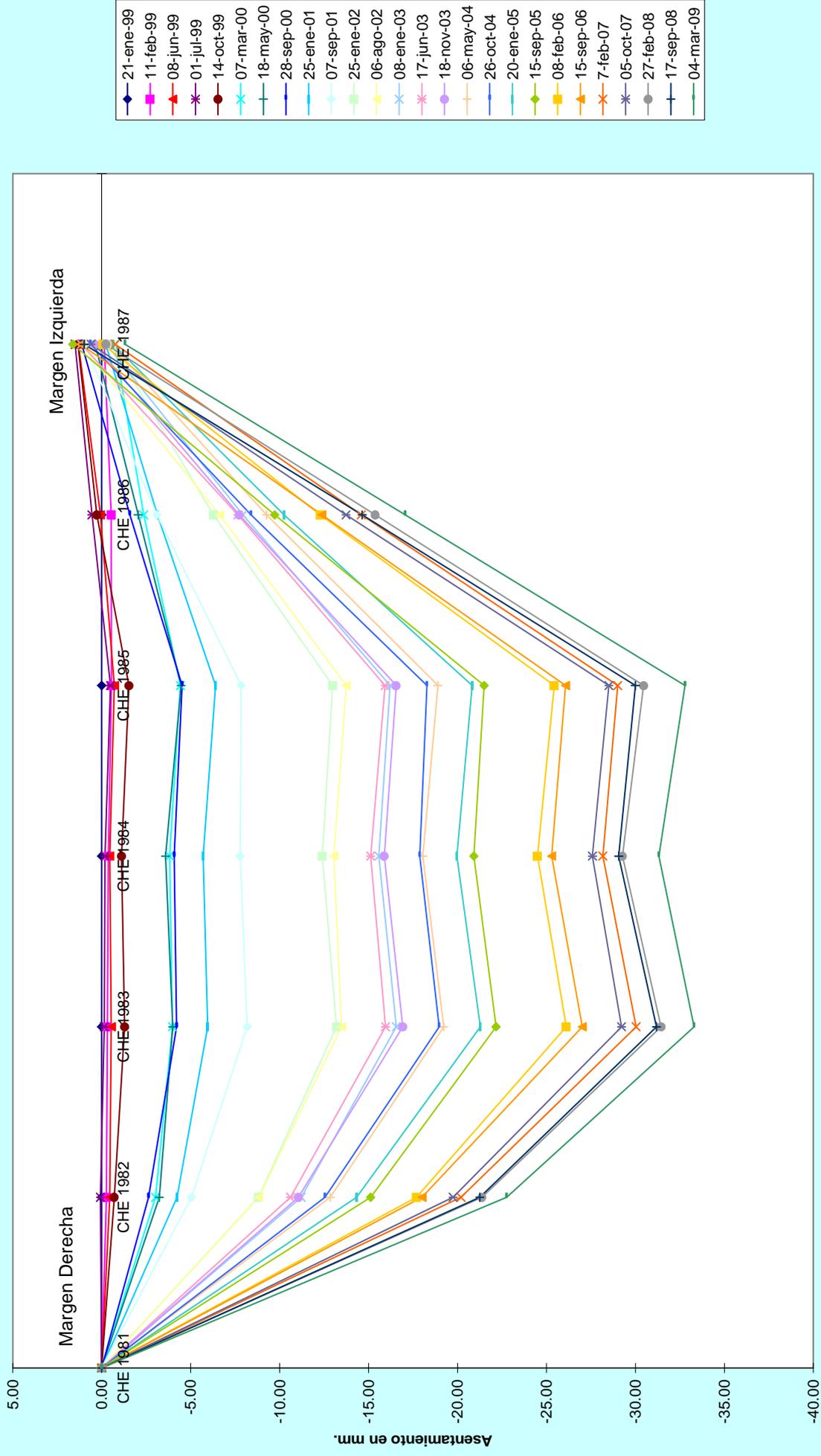


Gráfico E6. Evoluciones temporales de las filtraciones de la presa medidas de manera automática mediante los cinco aforadores (del aforador AF-5 no dispone de datos de forma automática).

## F) AUSCULTACIÓN TOPOGRÁFICA

GRAFICO DE NIVELACION. PRESA DE MAIDEVERA 1999 - 2007



CLAVOS NIVELADOS. ORIGEN: Ene-99

Gráfico F1. Evolución temporal de los desplazamientos verticales en coronación en el periodo de tiempo entre el año 1999 hasta el 2008, mediante nivelación topográfica.



### **B.3. Anejo N° 3:**

## **LISTADO DE LOS DATOS DE AUSCULTACIÓN OBTENIDOS HASTA DICIEMBRE DE 2008**

### **INDICE DEL ANEJO 3**

#### **A. VARIABLES EXTERIORES**

1. Nivel de Embalse
2. Temperatura Máxima y Mínima Diaria
3. Precipitación Diaria

#### **B. AFORADORES**

#### **C. PIEZÓMETROS NEUMÁTICOS**

#### **D. CÉLULAS DE PRESIÓN TOTAL**

#### **E. CÉLULAS HIDRÁULICAS DE ASIENTE**

#### **F. PIEZÓMETROS DE CUERDA VIBRANTE**

#### **G. AUSCULTACIÓN TOPOGRÁFICA**

## **B.4. Anejo 4: DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA**

## 1. Presa.



Fotografía 1: Vista general de la Presa de Maidevera.



Fotografía 2: Vista general de la presa principal desde el estribo derecho.



Fotografía 3: Vista del paramento de aguas abajo



Fotografía 4: Vista de la presa principal desde aguas abajo.



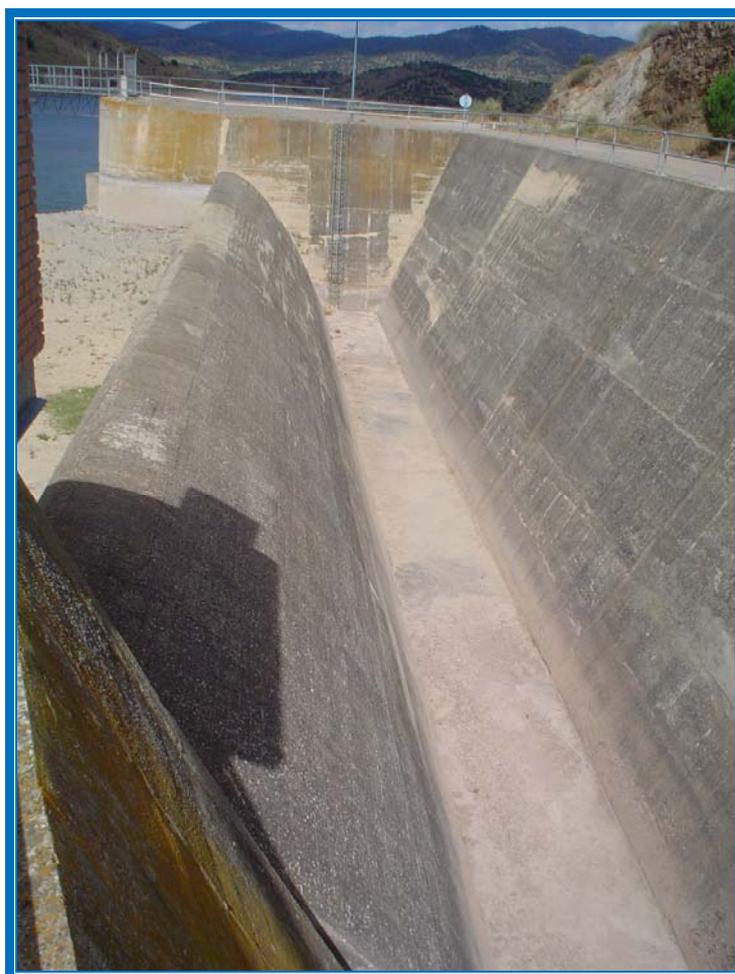
Fotografía 5: Embalse.



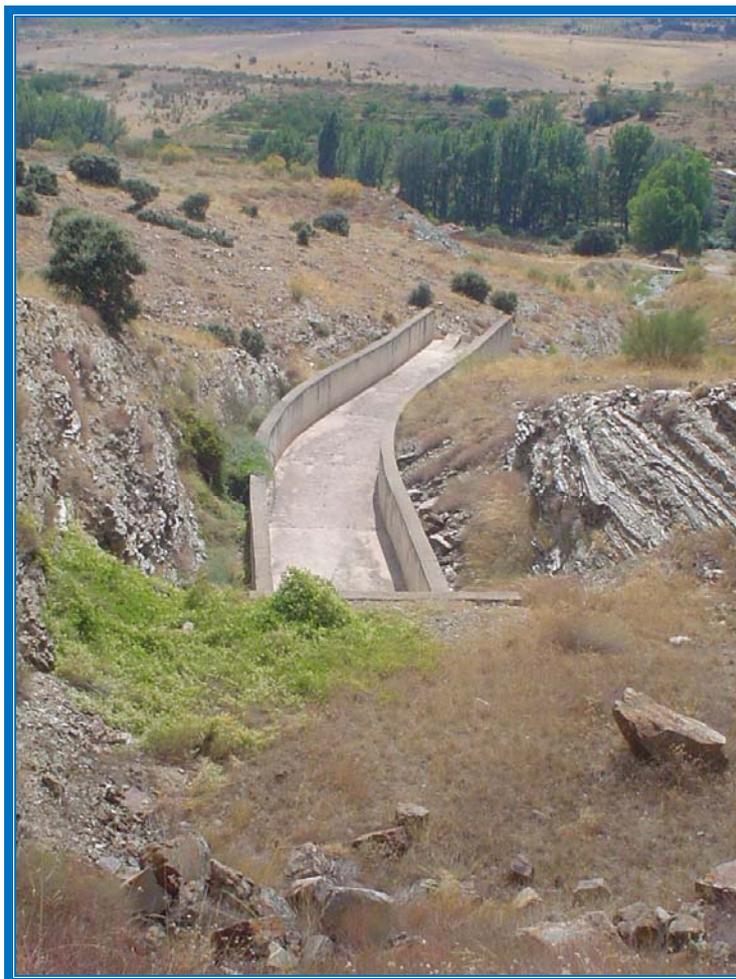
Fotografía 6: Coronación de la presa



Fotografía 7: Estribo izquierdo.



Fotografía 8: Aliviadero lateral en el estribo izquierdo.



Fotografía 9: Canal de salida del aliviadero.



Fotografía 10: Estribo derecho.



Fotografía 11: Dren rezumando agua.

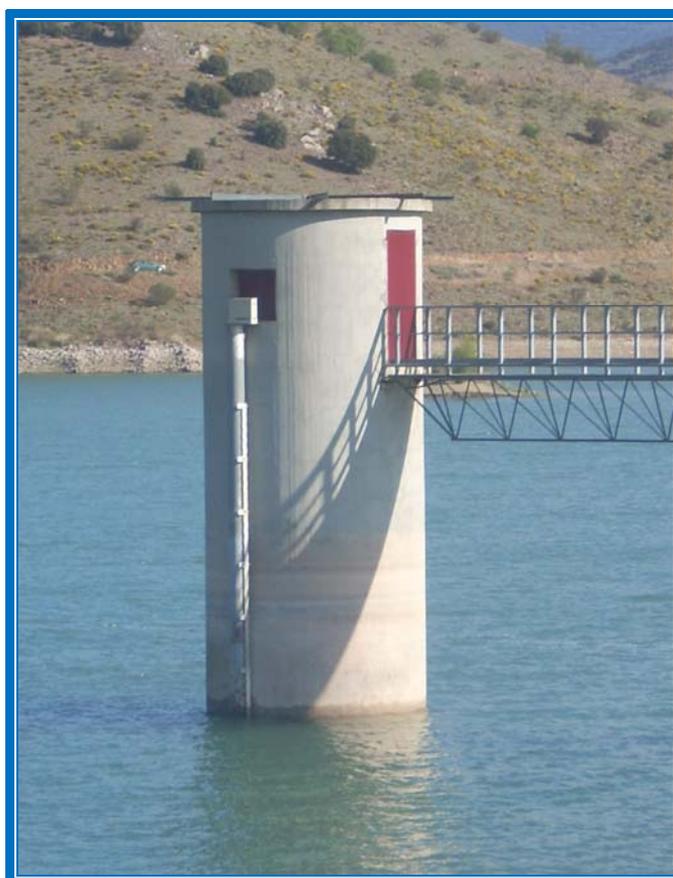


Fotografía 12: Vegetación de la presa aguas abajo.

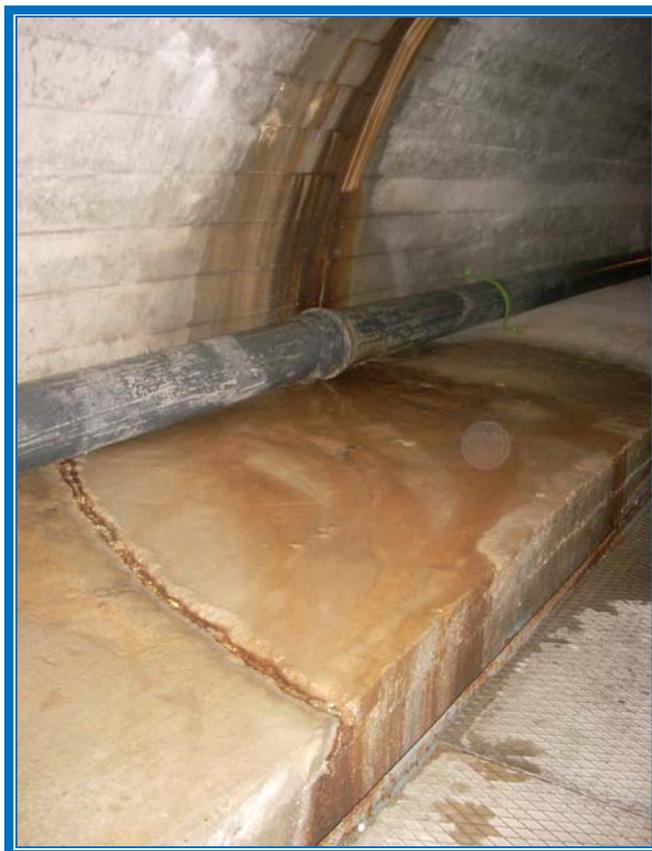
## 2. Sistema de auscultación.



Fotografía 13: Estación meteorológica



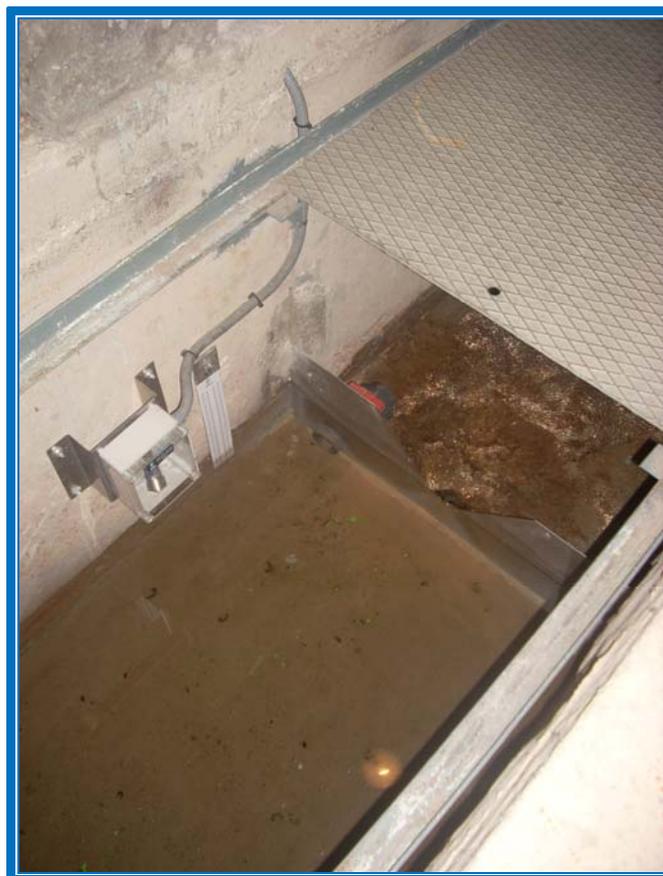
Fotografía 14: Medidor de nivel de embalse en torre de toma.



Fotografía 15: Aforador nº 1 (AF-1).Filtraciones de la margen derecha aguas arriba del núcleo.



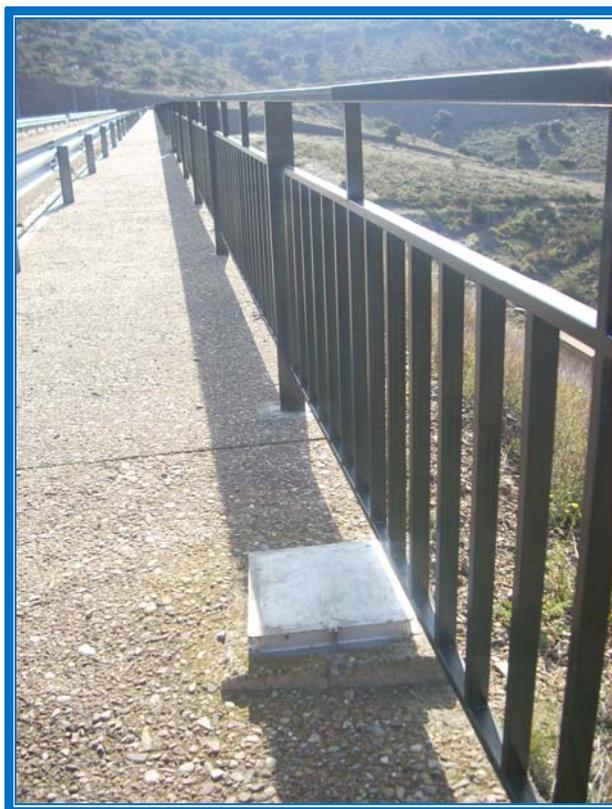
Fotografía 16: Aforador nº 2 (AF-2).Filtraciones de la margen derecha.



Fotografía 17: Aforador nº 3 (AF-3). Totalizador de las filtraciones existentes en el túnel.



Fotografía 18: Aforador nº 5 (AF-5). Presa del collado nº1.



Fotografía 19: Tapa de inclinómetro en coronación de presa.



Fotografía 20: Pilares para campañas de colimación (margen derecha y margen izquierda)



Fotografía 21: Bases para campañas de colimación (aguas abajo y aguas arriba) y clavos de nivelación.



Fotografía 22: Pilares para campañas de nivelación (aguas arriba y aguas abajo).



Fotografía 23: Armario Profibus

**B.5. ANEJO Nº 5. INFORME DE ESTADO DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN DE  
LA PRESA DE MAIDEVERA A FECHA 31/12/2008**

**CONSULTORÍA Y ASISTENCIA PARA LA ELABORACIÓN DE INFORMES DE  
COMPORTAMIENTO Y REVISIÓN DE LOS SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN Y  
CONTROL, ELEMENTOS HIDROMECÁNICOS E INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y  
PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN DE GESTIÓN DE LAS NORMAS DE  
EXPLOTACIÓN DE LAS PRESAS DE TITULARIDAD ESTATAL EN EXPLOTACIÓN DE  
LA CUENCA DEL EBRO.**

**Clave: 09.803.371/0411**

## **PRESA DE MAIDEVERA**

**INFORME DE ESTADO DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN**

## **ANEJO Nº 5. INFORME DE ESTADO DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN DE LA PRESA DE MAIDEVERA A FECHA 31/12/2008**

### **INDICE**

1. INTRODUCCIÓN. ....	425
2. MEDIDA DE LAS VARIABLES EXTERIORES.....	427
2.1. MEDIDA DEL NIVEL DEL EMBALSE.....	427
2.2. MEDIDA DE VARIABLES METEOROLÓGICAS.....	427
3. MEDIDA DE LAS VARIABLES DE CONTROL. ....	428
3.1. CONTROL DE FILTRACIONES. ....	428
3.1.1. Descripción del control instalado. ....	428
3.2. CONTROL DE PRESIONES INTERSTICIALES. ....	430
3.2.1. Piezómetros neumáticos.....	430
3.2.2. Piezómetros de cuerda vibrante. ....	431
3.3. CÉLULAS NEUMÁTICAS DE PRESIÓN TOTAL .....	434
3.3.1. Descripción del control instalado. ....	434
3.3.2. Estado actual. ....	435
3.4. CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS VERTICALES ABSOLUTOS MEDIANTE CÉLULAS HIDRÁULICAS DE ASIENTO. ....	437
3.4.1. Descripción del control instalado. ....	437
3.4.2. Estado actual. ....	438
3.5. CONTROL INCLINOMÉTRICO. ....	440
3.6. AUSCULTACIÓN TOPOGRÁFICA.....	440
3.6.1. Descripción del control instalado. ....	440
3.6.2. Estado actual. ....	441
4. CUADRO RESUMEN DE LA SITUACIÓN DE LOS APARATOS DE AUSCULTACIÓN DE LA PRESA DE LA TRANQUERA A FECHA 31/12/2008.....	442
5. CONCLUSIONES.....	444
6. RECOMENDACIONES .....	445

## 1. INTRODUCCIÓN.

El presente Informe de situación del Sistema de Auscultación se redacta en cumplimiento del contrato:

**“ELABORACIÓN DE INFORMES DE COMPORTAMIENTO Y REVISIÓN DE LOS SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN Y CONTROL, ELEMENTOS HIDROMECAÑICOS E INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN DE GESTIÓN DE LAS NORMAS DE EXPLOTACIÓN DE LAS PRESAS DE TITULARIDAD ESTATAL EN EXPLOTACIÓN DE LA CUENCA DEL EBRO”.**

El objetivo de este documento es analizar el estado del sistema de auscultación de la Presa de Maidevera, describiendo la instrumentación instalada en la presa, indicando sus deficiencias y recomendando posibles actuaciones relativas a dicho sistema, con el fin de que el control de la presa sea lo más completo y útil posible.

La redacción de este Informe se ha basado en la visita que el equipo de ingenieros de la Universidad Politécnica de Valencia, dirigido por el profesor Ignacio Escuder Bueno, realizó a la presa.

La visita tuvo lugar el día 8 de septiembre de 2008, a la cual asistieron:

- Por parte de la Universidad Politécnica de Valencia:
  - Ignacio Escuder Bueno
  - Luis García Kabbabe
  - Carlos Riera Planells
  - José Daniel Rosales Maniglia
- Por parte de la Confederación Hidrográfica Ebro: Pedro Cabezas (encargado de presa).

Además de las observaciones hechas en la visita, los datos recogidos y las fotografías tomadas en la misma, la redacción de este informe se ha apoyado en la siguiente información:

- Instalación de los equipos de auscultación durante la construcción de la Presa de Maidevera. (Empresa Auxini, 1982-1983).
- Presa de Maidevera. Informe general de auscultación relativo al periodo comprendido entre octubre de 1985 y octubre de 1987. (Ofiteco, 1988).
- Instalación de piezómetros en la zona del aliviadero en el estribo izquierdo (1990).
- Documento XYZT de la Presa de Maidevera (2000).
- Normas de explotación de la Presa de Maidevera (intecsa-inarsa, s.a.; diciembre de 2001).
- Plan de emergencia de la Presa de Maidevera (intecsa-inarsa, s.a.; diciembre de 2001).
- Acondicionamiento y Ampliación de los sistemas de Auscultación y Control de las Presas de Maidevera y Valdabra (2001).
- Incorporación al SAIH del Sistema de Auscultación de la Presa de Maidevera (2002-2003).
- Acondicionamiento y Ampliación del Sistema de Auscultación y Control de la Presa de Maidevera. Documentación Técnica. (Ofiteco; junio de 2003).
- Proyecto de Acondicionamiento y Ampliación del Sistema de Auscultación y Control de la Presa de Maidevera. (Septiembre de 2004).
- Acondicionamiento, ampliación, mejora y puesta en servicio del sistema de auscultación y control de las presas del embalse de Maidevera. Documentación Técnica. (Ofiteco; mayo de 2007).

Para mayor claridad en la exposición, el estudio se ha realizado dividiendo los aparatos por tipologías, incluyéndose en el apartado 4 una tabla resumen de la situación de los aparatos que permite dar una impresión global de la situación de la auscultación de la presa de Maidevera.

## **2. MEDIDA DE LAS VARIABLES EXTERIORES.**

### **2.1. MEDIDA DEL NIVEL DEL EMBALSE.**

La medición de la cota del nivel de embalse se realiza mediante un equipo neumático instalado en la torre de toma en un armario construido en el primer rellano de las escaleras que parten de coronación y consta de los siguientes elementos: equipo compresor, dosificador, sensor y unidad de medida, donde a nivel local se puede visualizar de manera constante la cota del embalse.

El rango de medida está comprendido entre la cota 775.75 m.s.n.m. y la cota 803.00 m.s.n.m., coronación del núcleo de la presa.

Este equipo está automatizado e incluido en la red SAIH del Ebro. Su funcionamiento actual es correcto.

### **2.2. MEDIDA DE VARIABLES METEOROLÓGICAS.**

Existe una estación meteorológica en la presa de Maidevera que aporta datos sobre precipitaciones diarias, temperaturas máximas y mínimas y evaporación.

Dentro del sistema SAIH de la presa están incluidos los siguientes aparatos:

- 1) Pluviómetro automatizado: permite medir la intensidad de la lluvia y envía datos de precipitaciones cada cinco (5) minutos mediante el Sistema Automático de Información Hidrológica. Su resolución es de 0.2 l/m<sup>2</sup> y a nivel local solamente se presenta la lluvia caída en los últimos cinco minutos.
- 2) Termómetro de temperatura ambiente: transmite la temperatura ambiente en tiempo real. Los datos se almacenan quinceminutalmente.

Ambos equipos se encuentran en buen estado de uso y operativos en la actualidad.

### **3. MEDIDA DE LAS VARIABLES DE CONTROL.**

La instrumentación de auscultación está instalada en el cuerpo de presa principal y en la presa del collado nº1. En la presa del collado nº2 no hay dispositivos de auscultación.

La presa principal se ha instrumentado en tres (2) perfiles transversales: el 12A, 17B. Mientras que la presa del collado nº1 se ha instrumentado en dos (2) perfiles: el 13C y 19D.

#### **3.1. CONTROL DE FILTRACIONES.**

##### **3.1.1. Descripción del control instalado.**

Para controlar las filtraciones se instalaron cinco (5) aforadores. En la presa principal hay tres (3) aforos Thomson de 90° (AF-1, AF-2, AF-3). Hay un aforador en el aliviadero (AF-4) y otro en la presa del collado nº1 (AF-5). Adicionalmente hay instalados sensores ultrasónicos en cada punto de control que registran las alturas de agua correspondientes.

Existe un sistema de control de filtraciones tanto en la presa de Maidevera como en la del Collado nº1, permitiendo el control manual y sensorizado de cada una de ellas.

Se encuentran instalados tres (3) aforadores en el túnel del desagüe de fondo de la presa de Maidevera, dos (2) de ellos en la zona central del mismo, controlando cada una de las dos filtraciones importantes emergentes por las grietas del revestimiento, y el tercero (1) en la salida del túnel, actuando como totalizador.

Por otro lado, y también en la presa de Maidevera, se contempla la instalación de un (1) cuarto aforador exterior para control de la filtración existente en el cajero izquierdo del canal de desagüe del aliviadero

Finalmente, y ahora en la presa del Collado nº 1, se contempla la instalación de un (1) quinto aforador exterior para control de las filtraciones existentes en dicha presa, y que actualmente se canalizan y se concentran en el pie, formando una charca a orilla de la carretera de acceso, desaguándose a través de un tubo enterrado que la atraviesa.

Todos los aforadores son del tipo placa con vertedero triangular Thomson, de acero inoxidable, con válvula de limpieza, y dimensiones ajustadas a los niveles máximos de las filtraciones existentes en cada localización.

A continuación se describen la localización y el cometido de los cinco (5) aforadores que se instalaron:

- Aforador nº 1 (AF-1). Es un aforo triangular tipo Thomson situado en el túnel que recoge las filtraciones de la margen derecha aguas arriba del núcleo. Controla una de las dos filtraciones principales existentes en la presa principal a través de una junta de la cámara de la tubería del desagüe de fondo y la toma, a la altura del contacto con el espaldón de aguas arriba.
- Aforador nº 2 (AF-2). Es triangular tipo Thomson situado también en el túnel y recoge las filtraciones de la margen derecha. Controla una de las dos filtraciones principales existentes a través de una junta.
- Aforador nº 3 (AF-3). Totalizador de las filtraciones existentes en el túnel. Recoge el total de las filtraciones registradas en el túnel. No se cumple que la suma de los dos aforos puntuales (AF-1 y AF-2) sea el mismo caudal que el totalizador a causa de que existen filtraciones adicionales en la presa principal.
- Aforador nº 4 (AF-4). Se instaló al final de una canaleta y mide las filtraciones que provienen del aliviadero.
- Aforador nº 5 (AF-5). Se encuentra en la presa del collado nº1. Se han canalizado las filtraciones hasta una caseta donde se aforan de forma automática.

#### **Estado actual.**

- En los todos los aforadores manuales se cuenta con información desde el 18.07.08 hasta el 31.08.08. Actualmente se consideran como no operativos.
- El sensor ultrasónico del aforador AF-5 (presa del collado nº 1) se encuentra averiado y sólo se cuentan con registros manuales.

### 3.2. CONTROL DE PRESIONES INTERSTICIALES.

#### 3.2.1. Piezómetros neumáticos.

En la presa de Maidevera se tienen tres (3) piezómetros de tipo neumático (F1, F2, F3) controlando las presiones intersticiales bajo el núcleo a la cota 748.50 m.s.n.m. en el perfil 17B del cuerpo de presa principal.

La Presa de Maidevera se levanta sobre el cauce del río Aranda que presenta una falla bajo su cimentación con dirección Sureste. Cuando empezaron las obras en el año 1978, una vez ejecutada la excavación, se limpió la falla del relleno que presentaba y se sustituyó por hormigón. Al mismo tiempo se dejaron instalados tres (3) piezómetros neumáticos para medida de presiones intersticiales, bajo el núcleo y a la cota 748.50 m.s.n.m., con objeto de conocer el comportamiento de la cimentación comprobando si en ella se generan presiones intersticiales inducidas por el peso de la presa u otras causas. La toma de datos de los piezómetros comenzó en marzo de 1980, comprobándose entonces que uno de ellos (el situado más aguas abajo, F3) no funciona.

- Perfil 17B, cota 749.80 m.s.n.m.: tres (3) piezómetros neumáticos (F1, F2, F3) bajo el núcleo en la falla que existe en la cimentación.

<b>PRESA DE MAIDEVERA</b>					
<b>ESTADO DE LOS PIEZÓMETROS NEUMÁTICOS A 31/08/2008</b>					
DENOMINACIÓN	COTA INSTALACIÓN (m.s.n.m.)	UBICACIÓN	PERFI L	ESTADO ACTUAL	OBSERVACIONES
PN-1 ó F1	748.50	Bajo núcleo	17B	OPERATIVO	
PN-2 ó F2	748.50	Bajo núcleo	17B	OPERATIVO	
PN-3 ó F3	748.50	Bajo núcleo	17B	NO OPERATIVO	Averiado desde 1980
nº APARATOS:				3	
OPERATIVOS:				2	
<b>% SENSORES OPERATIVOS SOBRE EL TOTAL DE SENSORES:</b>				<b>66,67 %</b>	

Tabla. Estado actual de los piezómetros neumáticos en la presa de Maidevera.

La tabla muestra las principales características así como su estado de operatividad a 31/12/2008. A la vista de dicha tabla se obtiene que, de los tres (3) piezómetros de tipo neumático instalados en la presa de Maidevera actualmente están operativos dos (2), lo que representa un 66.67% del total de los aparatos instalados.

### 3.2.2. Piezómetros de cuerda vibrante.

El control de las presiones intersticiales se realiza mediante veintiséis (26) piezómetros de cuerda vibrante instalados diecinueve (19) en el cuerpo de presa principal y siete (7) en la presa de collado nº1.

#### Presa principal

- Perfil 17B, cota 755.00 m.s.n.m.: tres (3) piezómetros de cuerda vibrante (B1, B2, B3) en la zona del núcleo, estando el B1 situado en la zona más cercana al filtro de aguas arriba y el B3 al de aguas abajo.
- Perfil 17B, cota 769.50 m.s.n.m.: tres (3) piezómetros de cuerda vibrante (B4, B5 y B6) en el núcleo de la presa.
- Perfil 17B, cota 781.00 m.s.n.m.: tres (3) piezómetros de cuerda vibrante (B7, B8, B9) en el núcleo.
- Perfil 17B, cota 795.00 m.s.n.m.: dos (2) piezómetros de cuerda vibrante (B10, B11) en el núcleo.
- Perfil 12A, cota 769.50 m.s.n.m.: tres (3) piezómetros de cuerda vibrante (A1, A2 y A3) en el núcleo de la presa.
- Perfil 12A, cota 781.00 m.s.n.m.: tres (3) piezómetros de cuerda vibrante (A4, A5, A6) en el núcleo.
- Perfil 12A, cota 795.00 m.s.n.m.: dos (2) piezómetros de cuerda vibrante (A7, A8) en el núcleo de la presa.

#### Presa del collado nº1

- Perfil 13C, cota 785.00 m.s.n.m.: tres (3) piezómetros de cuerda vibrante (C1, C2 y C3) en el núcleo de la presa.

- Perfil 13C, cota 793.40 m.s.n.m.: dos (2) piezómetros de cuerda vibrante (C4, C5) en el núcleo.
- Perfil 19D, cota 794.30 m.s.n.m.: dos (2) piezómetros de cuerda vibrante (D1 y D2) en el núcleo de la presa.

**PRESA DE MAIDEVERA**  
**ESTADO DE LOS PIEZÓMETROS DE CUERDA VIBRANTE A 31/12/2008**

DENOMINACIÓN	COTA INSTALACIÓN (m.s.n.m.)	UBICACIÓN	PERFI L	ESTADO ACTUAL	OBSERVACIONES
PCV-12 A-1	769.50	Núcleo (a. arriba)	12A	NO OPERATIVO	No da lecturas desde antes del 2007
PCV-12 A-2	769.50	Núcleo (centro)	12A	OPERATIVO	
PCV-12 A-3	769.50	Núcleo (a. abajo)	12A	OPERATIVO	
PCV-12 A-4	781.00	Núcleo (a. arriba)	12A	OPERATIVO	
PCV-12 A-5	781.00	Núcleo (centro)	12A	OPERATIVO	
PCV-12 A-6	781.00	Núcleo (a. abajo)	12A	OPERATIVO	
PCV-12 A-7	795.00	Núcleo (a. arriba)	12A	OPERATIVO	
PCV-12 A-8	795.00	Núcleo (centro)	12A	NO OPERATIVO	No da lecturas desde antes del 2007
PCV-17 B-1	755.00	Núcleo (a. arriba)	17B	OPERATIVO	
PCV-17 B-2	755.00	Núcleo (centro)	17B	OPERATIVO	
PCV-17 B-3	755.00	Núcleo (a. abajo)	17B	OPERATIVO	
PCV-17 B-4	769.50	Núcleo (a. arriba)	17B	NO OPERATIVO	No da lecturas desde antes del 2007
PCV-17 B-5	769.50	Núcleo (centro)	17B	OPERATIVO	
PCV-17 B-6	769.50	Núcleo (a. abajo)	17B	OPERATIVO	
PCV-17 B-7	781.00	Núcleo (a. arriba)	17B	NO OPERATIVO	No da lecturas desde antes del 2007
PCV-17 B-8	781.00	Núcleo (centro)	17B	NO OPERATIVO	No hay registros
PCV-17 B-9	781.00	Núcleo (a. abajo)	17B	NO OPERATIVO	No da lecturas desde octubre de 1987
PCV-17 B-10	795.00	Núcleo (a. arriba)	17B	NO OPERATIVO	No da lecturas desde octubre de 1987. (falta la constante)
PCV-17 B-11	795.00	Núcleo (a. arriba)	17B	NO OPERATIVO	No da lecturas desde octubre de 1987
PCV-13 C-1	785.00	Núcleo (a. arriba)	13C	OPERATIVO	
PCV-13 C-2	785.00	Núcleo (centro)	13C	OPERATIVO	
PCV-13 C-3	785.00	Núcleo (a. abajo)	13C	NO OPERATIVO	No da lecturas desde octubre de 1987

PRESA DE MAIDEVERA					
ESTADO DE LOS PIEZÓMETROS DE CUERDA VIBRANTE A 31/12/2008					
PCV-13 C-4	793.40	Núcleo (a. arriba)	13C	NO OPERATIVO	No da lecturas desde antes del 2007
PCV-13 C-5	793.40	Núcleo (centro)	13C	NO OPERATIVO	No da lecturas desde antes del 2007
PCV-19 D-1	794.30	Núcleo	19D	NO OPERATIVO	No da lecturas desde antes del 2007
PCV-19 D-2	794.30	Núcleo	19D	OPERATIVO	
nº APARATOS:				26	
OPERATIVOS:				14	
<b>% SENSORES OPERATIVOS SOBRE EL TOTAL DE SENSORES:</b>				<b>53,85 %</b>	

Tabla. Estado actual de los piezómetros de cuerda vibrante en la presa de Maidevera.

La tabla anterior muestra las principales características de los piezómetros de cuerda vibrante así como su estado de operatividad a 31/08/2008. A la vista de dicha tabla se obtiene que, de los veintiséis (26) piezómetros de cuerda vibrante instalados en la presa de Maidevera actualmente están operativos catorce (14), lo que representa un 53.85% del total de los aparatos instalados.

### 3.3. CÉLULAS NEUMÁTICAS DE PRESIÓN TOTAL

#### 3.3.1. Descripción del control instalado.

En la presa de Maidevera se tienen treintaidós (32) células neumáticas de presión. Están distribuidas de tal forma que veinticinco (25) están situadas en el cuerpo de presa principal y siete (7) están en el collado nº1. Como se ha mencionado anteriormente, no hay equipos de auscultación en la presa del collado nº2.

#### Presa principal

- Perfil 17B, cota 755.00 m.s.n.m.: dos (2) células neumáticas de presión total (B1, B2) en el núcleo y tres (3) células de presión total en el espaldón de aguas abajo (B3, B4 y B5).
- Perfil 17B, cota 769.50 m.s.n.m.: dos (2) células neumáticas de presión total (B6, B7) en el núcleo y dos (2) células de presión total en el espaldón de aguas abajo (B8 y B9).
- Perfil 17B, cota 781.00 m.s.n.m.: dos (2) células de presión total (B10, B11) en el núcleo y dos (2) células de presión total en el espaldón de aguas abajo (B12, B13).
- Perfil 17B, cota 795.00 m.s.n.m.: dos (2) células de presión total (B14, B15) en el núcleo.
- Perfil 12A, cota 769.50 m.s.n.m.: dos (2) células de presión total (A1 y A2) en el núcleo y dos (2) células de presión total en el espaldón de aguas abajo (A3 y A4).
- Perfil 12A, cota 781.00 m.s.n.m.: dos (2) células de presión total (A5, A6) en el núcleo y dos (2) células de presión total en el espaldón de aguas abajo (A7, A8).
- Perfil 12A, cota 795.00 m.s.n.m.: dos (2) células de presión total (A9, A10) en el núcleo.

#### Presa del collado nº1

- Perfil 13C, cota 785.00 m.s.n.m.: dos (2) células neumáticas de presión total (C1 y C2) en el núcleo y una célula neumática de presión total en el espaldón de aguas abajo (C3).
- Perfil 13C, cota 793.40 m.s.n.m.: dos (2) células de presión total (C4, C5) en el núcleo.

- Perfil 19D, cota 794.30 m.s.n.m.: dos (2) células de presión total (D1 y D2) en el núcleo.

### 3.3.2. Estado actual.

De las treintaidós (32) células neumáticas de presión total, hay una fuera de servicio. Se trata de la CPN-12 A1.

PRESA DE MAIDEVERA					
ESTADO DE LAS CÉLULAS NEUMÁTICAS DE PRESIÓN TOTAL A 31/08/2008					
DENOMINACIÓN	COTA INSTALACIÓN (m.s.n.m.)	UBICACIÓN	PERFIL	ESTADO ACTUAL	OBSERVACIONES
CPN-12 A-1	769.50	Núcleo	12A	NO OPERATIVO	Averiado desde antes de 2007
CPN-12 A-2	769.50	Núcleo	12A	OPERATIVO	
CPN-12 A-3	769.50	Espaldón	12A	OPERATIVO	
CPN-12 A-4	769.50	Espaldón	12A	OPERATIVO	
CPN-12 A-5	781.00	Núcleo	12A	OPERATIVO	
CPN-12 A-6	781.00	Núcleo	12A	OPERATIVO	
CPN-12 A-7	781.00	Espaldón	12A	OPERATIVO	
CPN-12 A-8	781.00	Espaldón	12A	OPERATIVO	
CPN-12 A-9	795.00	Núcleo	12A	OPERATIVO	
CPN-12 A-10	795.00	Núcleo	12A	OPERATIVO	
CPN-17 B-1	755.00	Núcleo	17B	OPERATIVO	
CPN-17 B-2	755.00	Núcleo	17B	OPERATIVO	
CPN-17 B-3	755.00	Espaldón	17B	OPERATIVO	
CPN-17 B-4	755.00	Espaldón	17B	OPERATIVO	
CPN-17 B-5	755.00	Espaldón	17B	OPERATIVO	
CPN-17 B-6	769.50	Núcleo	17B	OPERATIVO	
CPN-17 B-7	769.50	Núcleo	17B	OPERATIVO	
CPN-17 B-8	769.50	Espaldón	17B	OPERATIVO	
CPN-17 B-9	769.50	Espaldón	17B	OPERATIVO	Sin registros desde el 29.06.07
CPN-17 B-10	781.00	Núcleo	17B	OPERATIVO	
CPN-17 B-11	781.00	Núcleo	17B	OPERATIVO	
CPN-17 B-12	781.00	Espaldón	17B	OPERATIVO	
CPN-17 B-13	781.00	Espaldón	17B	OPERATIVO	
CPN-17 B-14	795.00	Núcleo	17B	OPERATIVO	
CPN-17 B-15	795.00	Núcleo	17B	OPERATIVO	

**PRESA DE MAIDEVERA**  
**ESTADO DE LAS CÉLULAS NEUMÁTICAS DE PRESIÓN TOTAL A 31/08/2008**

CHA-13 C-1	785.00	Núcleo	13C	OPERATIVO	
CHA-13 C-2	785.00	Núcleo	13C	OPERATIVO	
CHA-13 C-3	785.00	Espaldón	13C	OPERATIVO	
CHA-13 C-4	793.40	Núcleo	13C	NO OPERATIVO	Sin registros desde el 29.06.07
CHA-13 C-5	793.40	Núcleo	13C	NO OPERATIVO	Sin registros desde el 29.06.07
CHA-19 D-1	794.30	Núcleo	19D	NO OPERATIVO	Sin registros desde el 29.06.07
CHA-19 D-2	794.30	Núcleo	19D	NO OPERATIVO	Sin registros desde el 29.06.07
nº APARATOS:				32	
OPERATIVOS:				27	
<b>% SENSORES OPERATIVOS SOBRE EL TOTAL DE SENSORES:</b>				<b>84,38</b>	<b>%</b>

Tabla. Estado actual de las células neumáticas de presión total en la presa de Maidevera.

### **3.4. CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS VERTICALES ABSOLUTOS MEDIANTE CÉLULAS HIDRÁULICAS DE ASIENTO.**

#### **3.4.1. Descripción del control instalado.**

Para realizar el control de los desplazamientos verticales se han instalado treintaidós (32) células hidráulicas de asiento: veintinueve (29) en el cuerpo principal de presa y tres (3) en la presa del collado nº1. Se miden los asientos en las casetas situadas en las bermas.

#### Presa principal

- Perfil 17B, cota 769.50 m.s.n.m.: siete (7) células hidráulicas de asientos. Una de ellas en el núcleo próxima a los filtros de aguas abajo, otra en esta unidad y las cinco (5) restantes en el espaldón de aguas abajo (de CHA-17 B1 al CHA-17 B7).
- Perfil 17B, cota 781.00 m.s.n.m.: cinco (5) células hidráulicas de asientos. Una de ellas en el núcleo próxima a los filtros de aguas abajo, otra en los filtros aguas abajo y las tres (3) restantes en el espaldón de aguas abajo (de CHA-17 B8 al CHA-17 B12).
- Perfil 17B, cota 795.00 m.s.n.m.: tres (3) células hidráulicas de asiento situadas una en el núcleo, otra en el filtro y la tercera en el espaldón de aguas abajo (de CHA-17 B12 al CHA-17 B15).
- Perfil 12A, cota 769.50 m.s.n.m.: seis (6) células hidráulicas de asientos. Una de ellas en el núcleo, otra en los filtros aguas abajo y las cuatro (4) restantes en el espaldón (de CHA-12 A1 a CHA-12 A6).
- Perfil 12A, cota 781.00 m.s.n.m.: cinco (5) células hidráulicas de asientos. Una en el núcleo, otra en el filtro aguas abajo y las tres (3) restantes en el espaldón (de la CHA-12 A7 a la CHA-12 A11).
- Perfil 12A, cota 795.00 m.s.n.m.: tres (3) células hidráulicas de asientos: una en el núcleo, otra en el filtro de aguas abajo y la tercera en el espaldón de aguas abajo (de CHA-12 A12 a CHA-12 A14).

Presa del collado nº1

- Perfil 13C, cota 793.40 m.s.n.m.: tres (3) células hidráulicas de asiento. Una en el núcleo, otra en el filtro de aguas abajo y la tercera en el espaldón de aguas abajo (CHA-13 C1 a CHA-13 C3).

**3.4.2. Estado actual.**

De las treintaidós (32) células hidráulicas de asiento, hay una que no se encuentra operativa. Se trata de la CHA-12 A1.

<b>PRESA DE MAIDEVERA</b>					
<b>ESTADO DE LAS CÉLULAS HIDRÁULICAS DE ASIENTO A 31/12/2008</b>					
DENOMINACIÓN	COTA INSTALACIÓN (m.s.n.m.)	UBICACIÓN	PERFI L	ESTADO ACTUAL	OBSERVACIONES
CHA-12 A-1	769.50	Núcleo (a. abajo)	12A	NO OPERATIVO	Averiado desde antes de 2007
CHA-12 A-2	769.50	Filtro	12A	NO OPERATIVO	Registros hasta el 27.10.2008
CHA-12 A-3	769.50	Escollera	12A	OPERATIVO	
CHA-12 A-4	769.50	Escollera	12A	OPERATIVO	
CHA-12 A-5	769.50	Escollera	12A	OPERATIVO	
CHA-12 A-6	769.50	Escollera	12A	OPERATIVO	
CHA-12 A-7	781.00	Núcleo (a. abajo)	12A	OPERATIVO	
CHA-12 A-8	781.00	Filtro	12A	OPERATIVO	
CHA-12 A-9	781.00	Escollera	12A	OPERATIVO	
CHA-12 A-10	781.00	Escollera	12A	OPERATIVO	
CHA-12 A-11	781.00	Escollera	12A	OPERATIVO	
CHA-12 A-12	781.00	Núcleo (a. abajo)	12A	OPERATIVO	
CHA-12 A-13	781.00	Filtro	12A	OPERATIVO	
CHA-12 A-14	781.00	Escollera	12A	OPERATIVO	
CHA-17 B-1	769.50	Núcleo (a. abajo)	17B	OPERATIVO	
CHA-17 B-2	769.50	Filtro	17B	OPERATIVO	
CHA-17 B-3	769.50	Escollera	17B	OPERATIVO	
CHA-17 B-4	769.50	Escollera	17B	OPERATIVO	
CHA-17 B-5	769.50	Escollera	17B	NO OPERATIVO	Registros hasta el 27.10.2008
CHA-17 B-6	769.50	Escollera	17B	OPERATIVO	
CHA-17 B-7	769.50	Escollera	17B	OPERATIVO	
CHA-17 B-8	781.00	Núcleo (a. abajo)	17B	OPERATIVO	
CHA-17 B-9	781.00	Filtro	17B	OPERATIVO	
CHA-17 B-10	781.00	Escollera	17B	OPERATIVO	

<b>PRESA DE MAIDEVERA</b>				
<b>ESTADO DE LAS CÉLULAS HIDRÁULICAS DE ASIENTO A 31/12/2008</b>				
CHA-17 B-11	781.00	Escollera	17B	OPERATIVO
CHA-17 B-12	781.00	Escollera	17B	OPERATIVO
CHA-17 B-13	781.00	Núcleo (a. abajo)	17B	OPERATIVO
CHA-17 B-14	781.00	Filtro	17B	OPERATIVO
CHA-17 B-15	781.00	Escollera	17B	OPERATIVO
CHA-13 C-1	793.75	Núcleo (a. abajo)	13C	OPERATIVO
CHA-13 C-2	793.75	Filtro	13C	OPERATIVO
CHA-13 C-3	793.75	Escollera	13C	OPERATIVO
nº APARATOS:				32
OPERATIVOS:				29
<b>% SENSORES OPERATIVOS SOBRE EL TOTAL DE SENSORES:</b>				<b>90,63 %</b>

Tabla. Estado actual de las células hidráulicas de asiento en la presa de Maidevera.

Así pues, de las treintadós (32) células hidráulicas de asiento existentes en la presa de Maidevera actualmente están operativas veintinueve (29), lo que representa un 90.63% del total de los aparatos instalados.

### 3.5. CONTROL INCLINOMÉTRICO.

Se instalaron tres (3) tubos inclinométricos en coronación que no se miden desde hace mucho tiempo. Parece ser que también fueron usados como tubos de asiento durante la construcción de la presa.

Como no hay ningún inclinómetro operativo, por tanto hay un 0% de los aparatos instalados operativos en la actualidad.

- Perfil 17B, asentómetros electromagnéticos. Está formado por un tubo telescópico que desde coronación atraviesa el núcleo próximo al filtro de aguas abajo, estando el otro lado empotrado dentro del terreno de cimentación. La longitud del tubo es de 50 m. y hay 11 puntos de control situados a las siguientes cotas: 759.89 (P1) – 764.154 (P2) – 768.327 (P3) – 772.332 (P4) – 776.442 (P5) – 780.575 (P6) – 784.583 (P7) – 788.754 (P8) – 792.754 (P9) – 796.75 (P10) – 802.871 (P11).
- Perfil 12A, asentómetros electromagnéticos. Se instala un tubo telescópico desde la coronación de la presa hasta la cimentación de la misma atravesando el núcleo próximo al filtro de aguas abajo. La longitud del tubo es de 43 m. y hay 8 puntos de control situados a las siguientes cotas: 767.476 (P1) – 774.754 (P2) – 778.88 (P3) – 783.012 (P4) – 787.035 (P5) – 791.126 (P6) – 795.081 (P7) – 799.196 (P8).
- Perfil 22, asentómetros electromagnéticos. Este perfil se encuentra próximo a la margen derecha. Está formado por un tubo telescópico para medida de asientos, atraviesa el núcleo por su zona de aguas abajo, y con los extremos en la cimentación y en la zona de coronación. La longitud total del tubo es de 38 m. y hay 8 puntos de control situados: 769.791 (P1) – 773.987 (P2) – 778.128 (P3) – 782.251 (P4) – 786.326 (P5) – 790.400 (P6) – 794.437 (P7) – 798.542 (P8).

### 3.6. AUSCULTACIÓN TOPOGRÁFICA.

#### 3.6.1. Descripción del control instalado.

- Control de movimientos horizontales del cuerpo de presa.

Existen dos (2) pilares situados en ambos estribos desde los que se pueden realizar campañas de colimación para determinar los desplazamientos horizontales del cuerpo de presa.

En el cuerpo de presa se tienen cinco (5) bases de colimación en la acera de aguas arriba y otras cinco (5) en la acera de aguas abajo para completar el itinerario. Junto a cada una existe un clavo de nivelación.

- Control de movimientos verticales del cuerpo de presa.

Adicionalmente, para poder cerrar un itinerario de nivelación existen otros pilares aguas abajo de la presa y aguas arriba. Estos pilares son: CHE 1981, CHE 1982, CHE 1983, CHE 1984, CHE 1985, CHE 1986, CHE 1987 y CHE 1998.

### 3.6.2. Estado actual.

Los elementos que forman el sistema de auscultación topográfica se hallan en buen estado y los datos obtenidos con las campañas de nivelación son buenos.

Una de las bases de colimación en la acera de aguas arriba está rota.

<b>PRESA DE MAIDEVERA</b>		
<b>ESTADO DE LA RED DE CLAVOS DE NIVELACIÓN A FECHA 31/08/2008</b>		
DENOMINACIÓN	ESTADO ACTUAL	OBSERVACIONES
CHE 1981	NO OPERATIVO	
CHE 1982	OPERATIVO	
CHE 1983	OPERATIVO	
CHE 1984	OPERATIVO	
CHE 1985	OPERATIVO	
CHE 1986	OPERATIVO	
CHE 1987	OPERATIVO	
CHE 1998	OPERATIVO	No se usa desde la campaña de 14/10/99
	nº CONTROLES	8
	OPERATIVOS:	7
<b>% SENSORES OPERATIVOS SOBRE EL TOTAL DE SENSORES:</b>		<b>87,50 %</b>

Tabla. Estado actual de los clavos que conforman la red de nivelación en la presa de Maidevera.

Únicamente se ha dejado de usar en el itinerario de nivelación el último clavo (CHE 1998), probablemente por problemas de visualización desde los puntos fijos que se utilizan para cerrar dicho itinerario y aplicar la correspondiente compensación de errores.

#### **4. CUADRO RESUMEN DE LA SITUACIÓN DE LOS APARATOS DE AUSCULTACIÓN DE LA PRESA DE LA TRANQUERA A FECHA 31/12/2008.**

Con todos los aspectos analizados en los epígrafes precedentes, se ha confeccionado la tabla resumen. En ella se informa de la situación de todos los aparatos instalados en la presa de Maidevera a fecha 31/12/2008, dando como resultado final que un 74% del número total de sensores instalado a lo largo de diferentes periodos en la presa continua operativo en la actualidad.

**PRESA DE MAIDEVERA**  
**ESTADO DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN EXISTENTE A FECHA 31/12/2008**

VARIABLE AUSCULTADA	SENSOR	GRUPO	Nº TOTAL SENSORES	Nº SENSORES OPERATIVOS	Nº SENSORES NO OPERATIVOS	% SENSORES OPERATIVOS SOBRE EL TOTAL
Nivel de embalse	Balanza neumática (SAIH) y escala graduada	Variables exteriores	2	2	0	100%
Temperatura ambiente	Termómetro manual y automático (SAIH)	Variables exteriores	2	2	0	100%
Precipitación acumulada	Pluviómetro manual y automático (SAIH)	Variables exteriores	2	2	0	100%
Caudales y filtraciones	Aforadores (manuales)	Variables de control	5	0	5	0% <sup>(1)</sup>
	Aforadores (automáticos)	Variables de control	5	4	1	80%
Presiones intersticiales	Piezómetros neumáticos	Variables de control	3	2	1	67%
	Piezómetros de cuerda vibrante	Variables de control	26	14	12	54%
	Células neumáticas de presión total	Variables de control	32	25	5	78%
Desplazamientos verticales	Células hidráulicas de asiento	Variables de control	32	29	3	91%
Control inclinométrico	Inclinómetros	Variables de control	3	0	3	0%
Asientos en coronación	Red de nivelación topográfica	Variables de control	8	7	1	88%
<b>TOTAL PUNTOS DE CONTROL:</b>			<b>120</b>	<b>89</b>	<b>31</b>	<b>74%</b>

(1). Sólo se considera las lecturas fiables hasta el 31.08.08, fecha en la que se tienen los últimos registros de aforo.

**Tabla. Situación del sistema de auscultación instalado en la presa de Maidevera el día 31/12/2008.**

## 5. CONCLUSIONES.

Se puede decir que en general el sistema de auscultación existente en la presa de Maidevera está en buen estado. Con todo es pertinente destacar, a modo de conclusión del presente anejo, algunos aspectos importantes:

- 1) Los inclinómetros, al estar fuera de servicio en su totalidad desde hace bastante tiempo, no permiten estudiar los movimientos en el cuerpo de presa.
- 2) Los piezómetros de cuerda vibrante instalados en la construcción de la presa han sufrido una importante reducción en su número (que ya es inferior al 60% del número inicial). Será conveniente seguir la evolución futura de estos aparatos y plantear alternativas para las zonas de la presa que se queden fuera de control al quedar fuera de servicio los sensores que las controlan.
- 3) La situación de los dispositivos de aforo de caudales y filtraciones es en general buena. Únicamente hay que reseñar el arreglar el aforador nº5 para conocer las filtraciones registradas de forma automática en la presa del collado nº1.

Para corregir las deficiencias que se han encontrado en el sistema de auscultación de la presa, se plantean una serie de recomendaciones en el siguiente capítulo.

## 6. RECOMENDACIONES

- Con el fin de aumentar el control de las filtraciones en la Presa de Maidevera se proponen las siguientes medidas:
  - Tener en cuenta las filtraciones (tomadas de forma manual) del cuerpo principal de presa que mide el aforador AF-3, porque no se cumple que la suma de las filtraciones de los dos aforadores del túnel (AF-1 y AF-2) sea el mismo caudal que el totalizador. Vigilar las filtraciones adicionales.
  - Reparar o sustituir el sensor ultrasónico del aforador AF-5 para volver a controlar las filtraciones de la presa del collado nº5.
- Para aumentar el control de las subpresiones:
  - Sustituir los piezómetros de cuerda vibrante averiados o fuera de servicio.
  - Revisar la coherencia de muchos datos de las células de presión total.
- Para intensificar el control de movimientos en el cuerpo de la presa se propone:
  - Arreglar los tres (3) inclinómetros en coronación. Pueden dar lecturas muy interesantes para conocer el comportamiento de la presa.

Valencia, junio de 2009.

## **B.6. ANEJO Nº 6. MODELACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS DATOS DE AUSCULTACIÓN**

**ANEJO Nº 6. MODELACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS DATOS DE AUCULTACIÓN****ÍNDICE**

1. OBJETO Y ALCANCE .....	448
2. PLANTEAMIENTO DE LA MODELACIÓN .....	449
3. MODELACIÓN ESTADÍSTICA .....	450
3.1. CAUDALES DE FILTRACIÓN .....	450
3.1.1. Aforadores en presa principal.....	451
3.1.2. Aforador en Aliviadero .....	457
3.1.3. Aforador Presa de Collado 1. ....	459
4. PRESIONES INTERSTICIALES.....	461
4.1. PIEZÓMETROS DE CUERDA VIBRANTE (PCV).....	461
4.1.1. PCV en la sección de control P-12 A.....	461
4.1.2. PCV en la sección de control P-17 B.....	466
4.2. PIEZÓMETROS NEUMÁTICOS. ....	481
4.3. CÉLULAS NEUMÁTICAS DE PRESIÓN TOTAL.....	486
5. DESPLAZAMIENTOS VERTICALES.....	487
5.1. CÉLULAS HIDRÁULICAS DE ASIENTO - CHA.....	487
5.2. DESPLAZAMIENTOS VERTICALES EN CORONACIÓN MEDIDOS MEDIANTE NIVELACIÓN TOPOGRÁFICA. ....	488
6. RESUMEN Y CONCLUSIONES .....	491
 APÉNDICE 1: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MODELACIÓN ESTADÍSTICA.....	
A1.1 INTRODUCCIÓN.....	493
A1.2 DATOS .....	493
A1.3 JUSTIFICACIÓN Y METODOLOGÍA DE APLICACIÓN.....	495
A1.3.1 Creación del modelo .....	496
A1.3.2 Identificación de los coeficientes.....	498
A1.3.3 Contraste del modelo y obtención del índice de tolerancia.....	499
A1.3.4 Estudio de tendencias .....	500
REFERENCIAS .....	503

## 1. OBJETO Y ALCANCE

El objeto del presente Anejo a la Memoria consiste en la presentación detallada de todos los trabajos de modelación numérica de tipo estadística determinista realizados entre septiembre de 2003 y agosto de 2008.

Resulta de especial interés el hecho de que el embalse evoluciona de forma similar a años anteriores, variando en función de los ciclos de lluvia anuales y la explotación normal del embalse, de forma que en septiembre y octubre de cada año registra el nivel mínimo anual. A partir de entonces sube aproximadamente 4-10 m. de cota en hasta alcanzar un nivel algo inferior a 800 m.s.n.m. a finales de otoño. En invierno y primavera mantiene un nivel elevado cerca del nivel máximo normal con pocas variaciones, en general con una bajada reducida desde enero hasta marzo y una ligera subida entre marzo y mayo hasta alcanzar el nivel máximo anual a principios de verano. En verano el nivel de embalse baja 4-10 m. hasta alcanzar el nivel mínimo anual, completándose un ciclo de carga de 10 metros.

Establecidos unos criterios generales de modelización, para cada una de las series de datos estudiada y según las directrices establecidas (APÉNDICE 1), se aporta la representación gráfica del modelo ajustado, una tabla resumen con los valores obtenidos de los coeficientes así como los gráficos que muestran la repercusión de las variaciones de nivel de embalse, y precipitación, sobre la variable de control. Adicionalmente, se estima la tendencia de dicha variable de control a través de la contabilización del conjunto de los efectos irreversibles.

Por último, a partir de todos los modelos numéricos confeccionados, se lleva a cabo una evaluación del comportamiento de la presa a través de la interpretación ingenieril de los resultados de los modelos.

## 2. PLANTEAMIENTO DE LA MODELACIÓN

El estudio de la series de datos mediante modelación estadística se aborda de manera completa para varias secciones transversales consideradas representativas del comportamiento de la presa, así como para una serie de variables asociadas a las estructuras, las interacciones de éstas con el cuerpo de presa y las filtraciones a través de cimiento y cuerpo de presa.

Los modelos han sido realizados siguiendo la metodología establecida en el APÉNDICE 1 y presentan las siguientes características comunes:

- El tiempo origen de los efectos irreversibles (asociados fundamentalmente a fenómenos de fluencia) se ha establecido el 1 de Septiembre de 2003, fecha en la que se tienen los primeros datos de variables exteriores (nivel de embalse y precipitación).
- El tiempo de comienzo del cálculo varía para cada dispositivo de auscultación. Se ha considerado en la primera fecha de valores para cada aparato. Normalmente se ha establecido a partir del año 2006 o 2007 (fecha a partir de la cual se tienen la mayoría de lecturas del sistema automático y de forma manual), de manera que pueda considerarse el comportamiento de los sensores sin influencia alguna de la propia construcción de la presa (elevación de tongadas, paso de maquinaria pesada, etc.).
- El período de contraste se ha establecido durante el año 2008, a dos terceras (2/3) partes del periodo de tiempo del que se disponen datos de cada variable de control.

### 3. MODELACIÓN ESTADÍSTICA<sup>1</sup>

En la mayoría de los dispositivos de auscultación, no se dispone de una serie histórica suficientemente larga para validar la modelación estadística. Se tienen datos de los instrumentos de medida manual (aforos, piezómetros neumáticos, piezómetros de cuerda vibrante, células neumáticas de presión total y células hidráulicas de asiento) y datos automáticos de las filtraciones.

#### 3.1. CAUDALES DE FILTRACIÓN

Se dispone de lecturas manuales diarias desde el 1 de enero de 2007 hasta el 31 de agosto de 2008 en todos los aforadores.

Las lecturas automáticas diarias disponibles datan desde el 24 de enero de 2007 hasta el 31 de diciembre de 2008 para los aforadores AF-1, AF-2 y AF-3. Con períodos de ausencia de datos entre el 28.08.07 y el 12.06.08.

Del AF-4 automático se tienen registros desde el 10.05.08 hasta el 31.12.08, no obstante se presentan varios períodos sombras de ausencia de datos.

Se realizaron modelos estadísticos con los aforadores manuales debido a que la serie de datos no presenta períodos sombra.

En los aforadores no existe efecto térmico porque no se ha utilizado ninguna función térmica en el ajuste, es decir, la temperatura ambiente no afecta al resultado de las lecturas.

También se modelan las lecturas registradas de las filtraciones de la presa en el año 2004 antes de que se instalaran los aforadores.

---

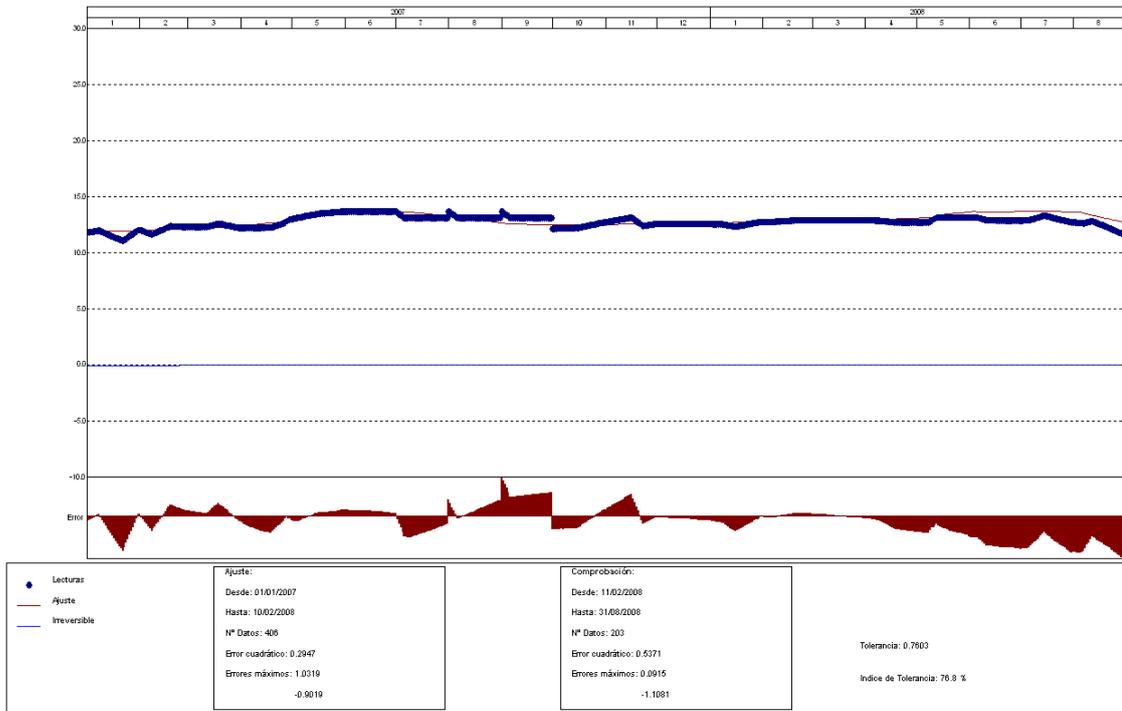
<sup>1</sup> En los dispositivos de auscultación que no aparece la gráfica ajustada del efecto irreversible por el paso del tiempo quiere decir que no existe o que es despreciable.

### 3.1.1. Aforadores en presa principal.

#### Aforador AF-1 (manual)

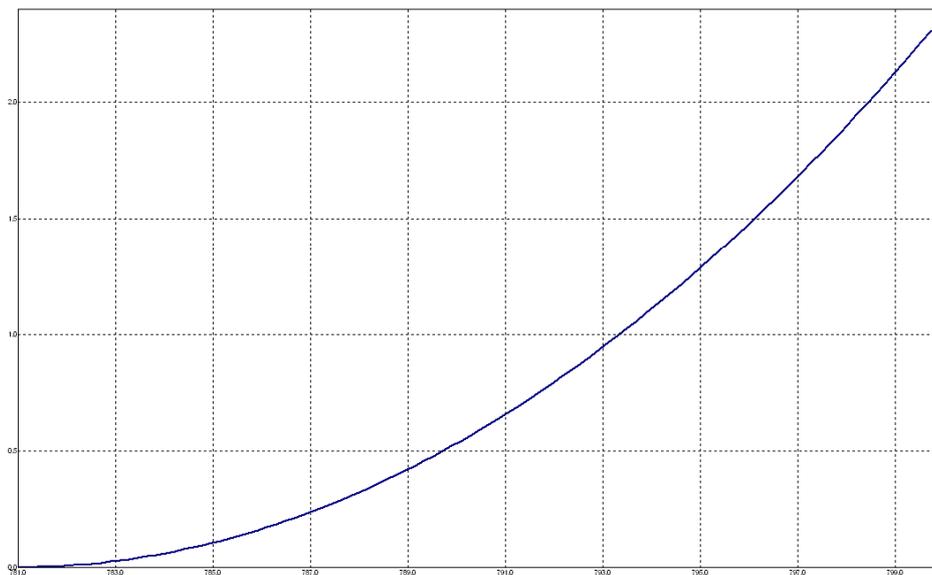
PRESA: Maidevera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: AF-1(manual)

Unidades



PRESA: Maidevera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: AF-1(manual)

Unidades



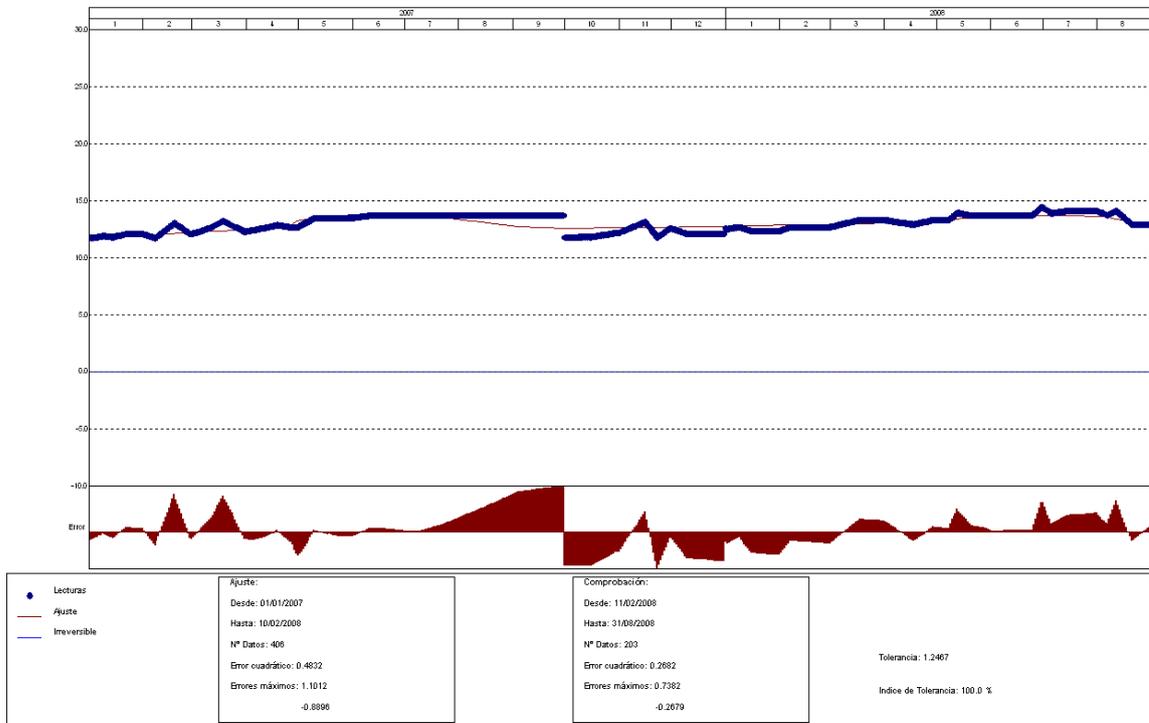
008 (8)

PRESA: Maidevera. MODELIZACIÓN DE: AF-1(manual)		Fecha Origen de cálculo: 07/05/1984
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste 01/01/2007 al 10/02/2008
Ln(tiempo)	1.24966	Nº de datos: 406
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nivel embalse mínimo: 781.00
1-e <sup>^</sup> (-tiempo/365)	0.000	Nivel embalse máximo: 799.92
HC	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>2</sup>	2.35467	Tiempo de efecto diferido (días): 3
HC <sup>3</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.2946796
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 1.031878
sen(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -0.9019432
cos(PT)	0.000	Tolerancia: 0.7602734
sen(2*PT)	0.000	Período de Comprobación 11/02/2008 al 31/08/2008
cos(2*PT)	0.000	Nº de datos: 203
TD-TDC	0.000	Error cuadrático: 0.5371358
TMM-TMMC	0.000	Error Máximo positivo: 9.150505E-02
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error Máximo negativo: -1.108103
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Indice de Tolerancia: 76.84729 %
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	
LL	0.000	
LLMM	0.000	
T. independiente	0.000	

## Aforador AF-2 (automático)

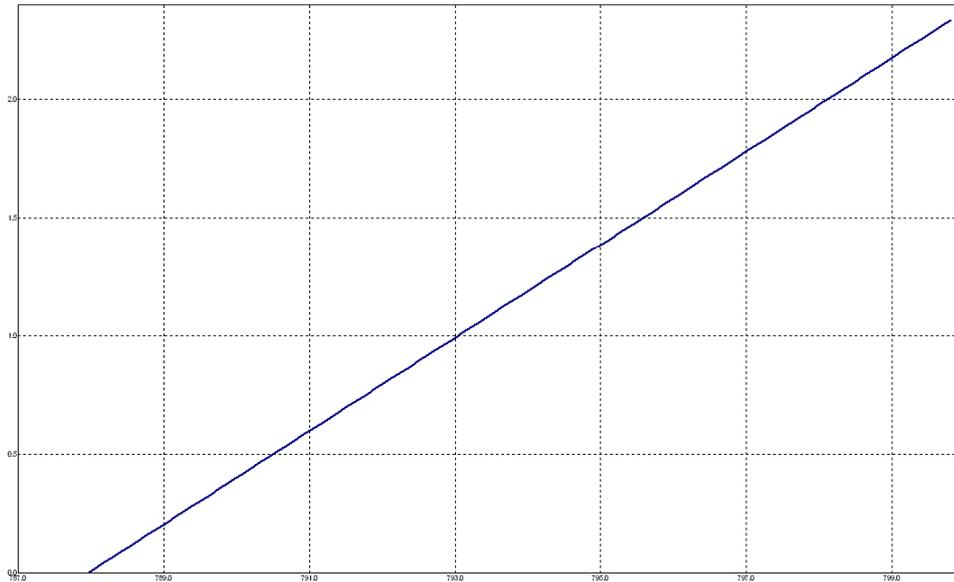
PRESA: Maidevera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: AF-2(manual)

Unidades:



PRESA: Maidevera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: AF-2(manual)

Unidades:



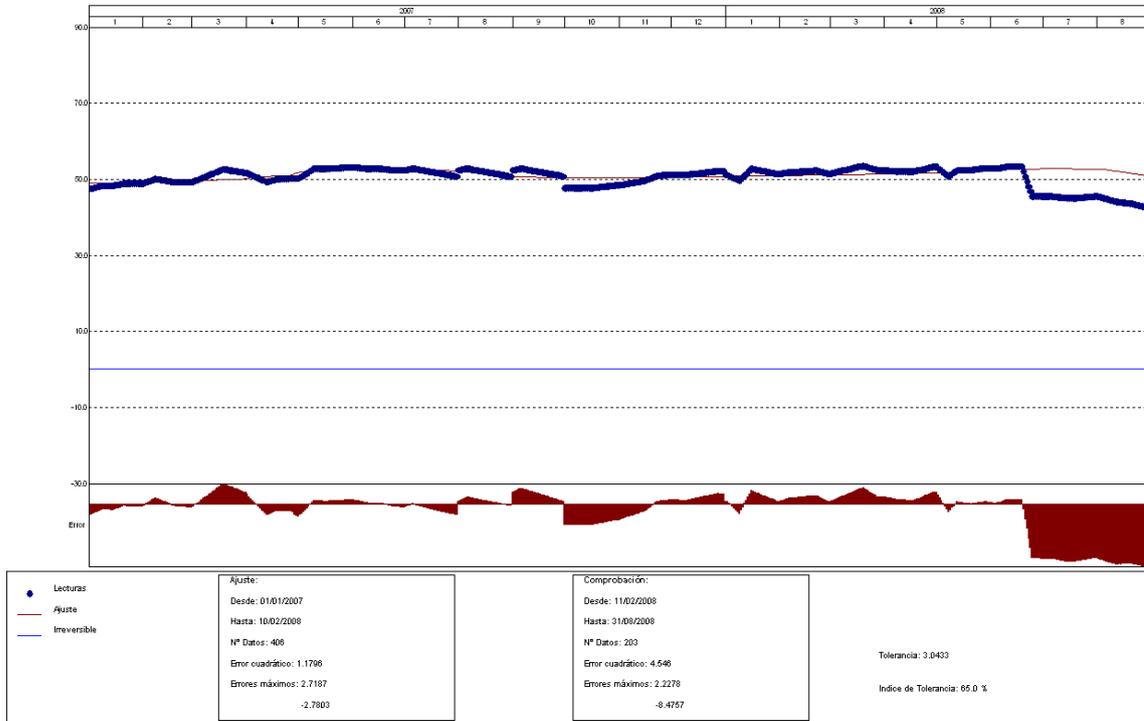
000 (8)

PRESA: Maidevera. MODELIZACIÓN DE: AF-2(manual)		Fecha Origen de cálculo: 07/05/1984
Función de Ajuste	Coefficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	01/01/2007 al 10/02/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 406
1-e <sup>-(tiempo/365)</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 787.97
HC	2.35752	Nivel embalse máximo: 799.92
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.4832272
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 1.101178
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -0.889575
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 1.246726
cos(2*PT)	0.000	
TD-TDC	0.000	Período de Comprobación
TMM-TMMC	0.000	11/02/2008 al 31/08/2008
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 203
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.2682416
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 0.7382421
LL	0.000	Error Máximo negativo: -0.2678757
LLMM	0.000	Indice de Tolerancia: 100 %
T. independiente	11.34608	

### Aforador AF-3 (manual).

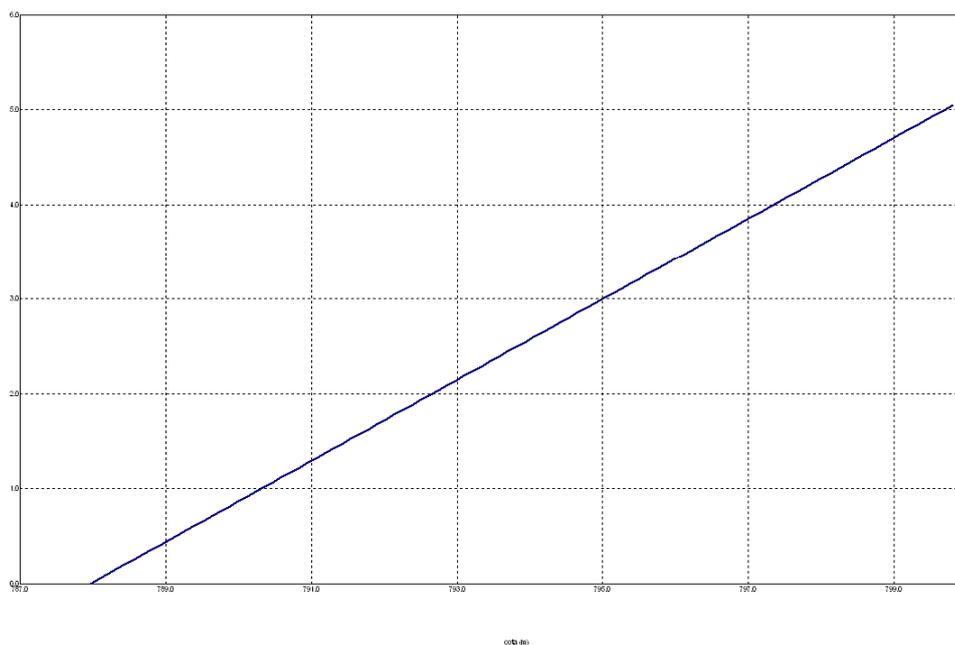
PRESA: Maidevera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: AF-3(manual)

Unidades:



PRESA: Maidevera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: AF-3(manual)

Unidades:



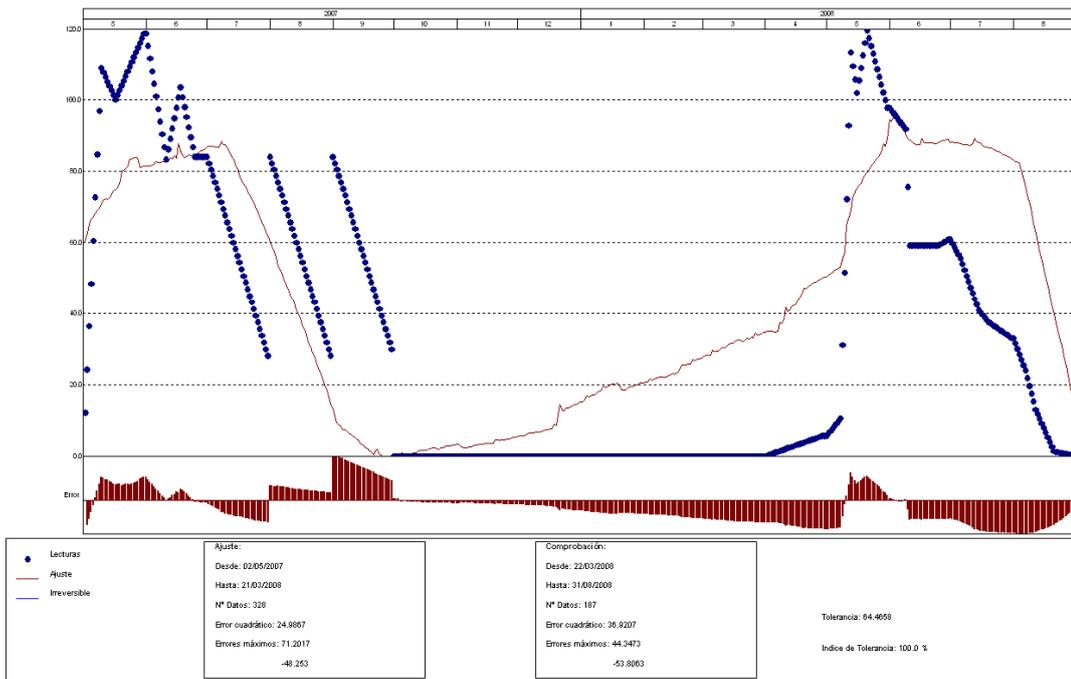
PRESA: Maidevera. MODELIZACIÓN DE: AF-3(manual)		Fecha Origen de cálculo: 07/05/1984
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	01/01/2007 al 10/02/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 406
1-e <sup>(-tiempo/365)</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 787.97
HC	5.09845	Nivel embalse máximo: 799.92
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 1.17959
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 2.718651
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -2.780258
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 3.043343
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	11/02/2008 al 31/08/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 203
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 4.545995
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 2.227772
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: -8.475712
LL	0.000	Indice de Tolerancia: 65.02463 %
LLMM	0.000	
T. independiente	47.78278	

### 3.1.2. Aforador en Aliviadero

Aforador AF-4 (manual).

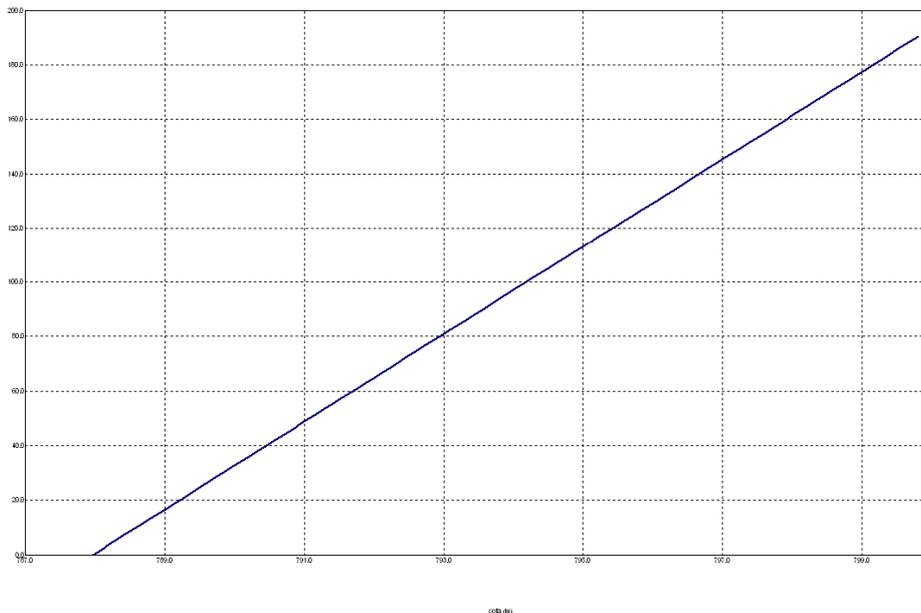
PRESA: Maidevera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: AF-4(manual)

Unidades



PRESA: Maidevera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: AF-4(manual)

Unidades

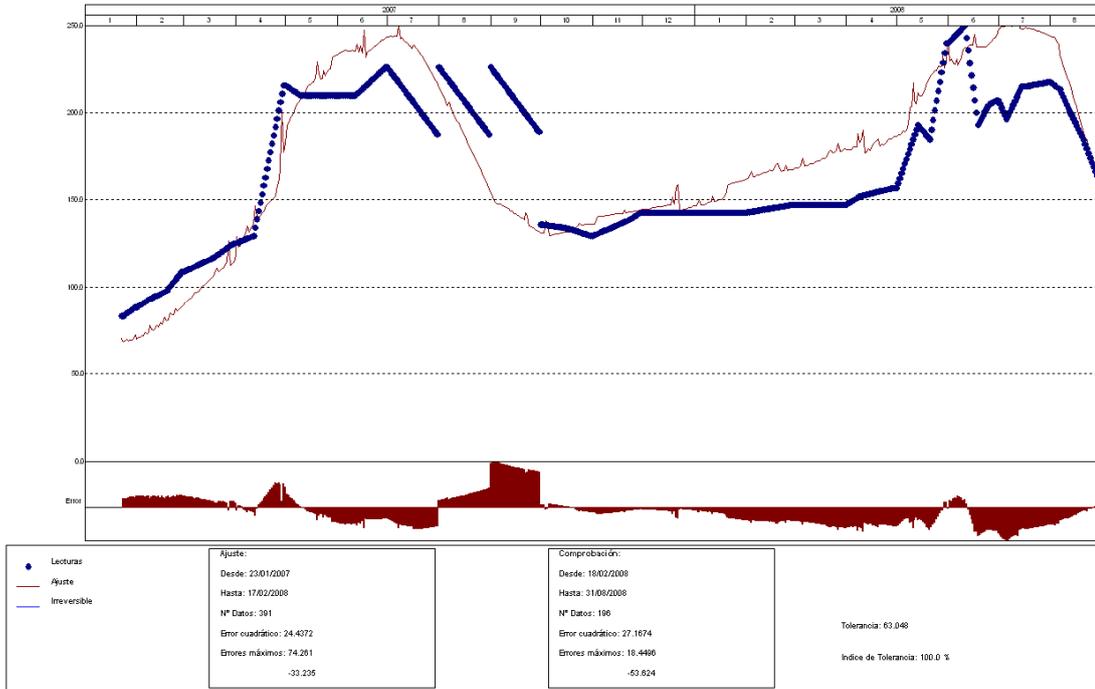


PRESA: Maidevera. MODELIZACIÓN DE: AF-4(manual)		Fecha Origen de cálculo: 01/05/1984
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste 02/05/2007 al 21/03/2008
Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 328
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nivel embalse mínimo: 787.97
1-e <sup>^</sup> (-tiempo/365)	0.000	Nivel embalse máximo: 799.92
HC	192.3119	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
HC <sup>3</sup>	0.000	Error cuadrático: 24.98673
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 71.20174
sen(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -48.25296
cos(PT)	0.000	Tolerancia: 64.46577
sen(2*PT)	0.000	Período de Comprobación 22/03/2008 al 31/08/2008
cos(2*PT)	0.000	Nº de datos: 187
TD-TDC	0.000	Error cuadrático: 36.92067
TMM-TMMC	0.000	Error Máximo positivo: 44.34731
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error Máximo negativo: -53.80627
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Indice de Tolerancia: 100 %
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	
LL	10.73108	
LLMM	189.7924	
T. independiente	-105.367	

### 3.1.3. Aforador Presa de Collado 1. Aforador AF-5 (manual).

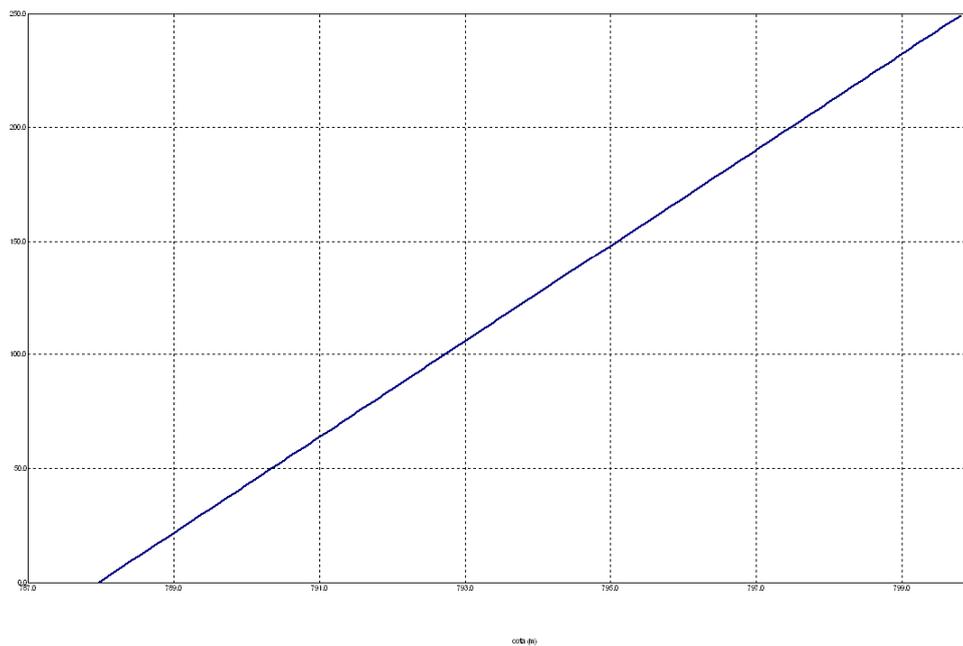
PRESA: Maidevera  
MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: AF-5(manual)

Unidades:



PRESA: Maidevera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: AF-5(manual)

Unidades:



PRESA: Maidevera. MODELIZACIÓN DE: AF-5(manual)		Fecha Origen de cálculo: 07/05/1984
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste 23/01/2007 al 17/02/2008
Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 391
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nivel embalse mínimo: 787.97
1-e <sup>(-tiempo/365)</sup>	0.000	Nivel embalse máximo: 799.92
HC	251.8044	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
HC <sup>3</sup>	0.000	Error cuadrático: 24.43721
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 74.26097
sen(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -33.23503
cos(PT)	0.000	Tolerancia: 63.048
sen(2*PT)	0.000	Período de Comprobación 18/02/2008 al 31/08/2008
cos(2*PT)	0.000	Nº de datos: 196
TD-TDC	0.000	Error cuadrático: 27.16737
TMM-TMMC	0.000	Error Máximo positivo: 18.4496
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error Máximo negativo: -53.62396
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Indice de Tolerancia: 100 %
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	
LL	72.67064	
LLMM	-450.0951	
T. independiente	0.000	

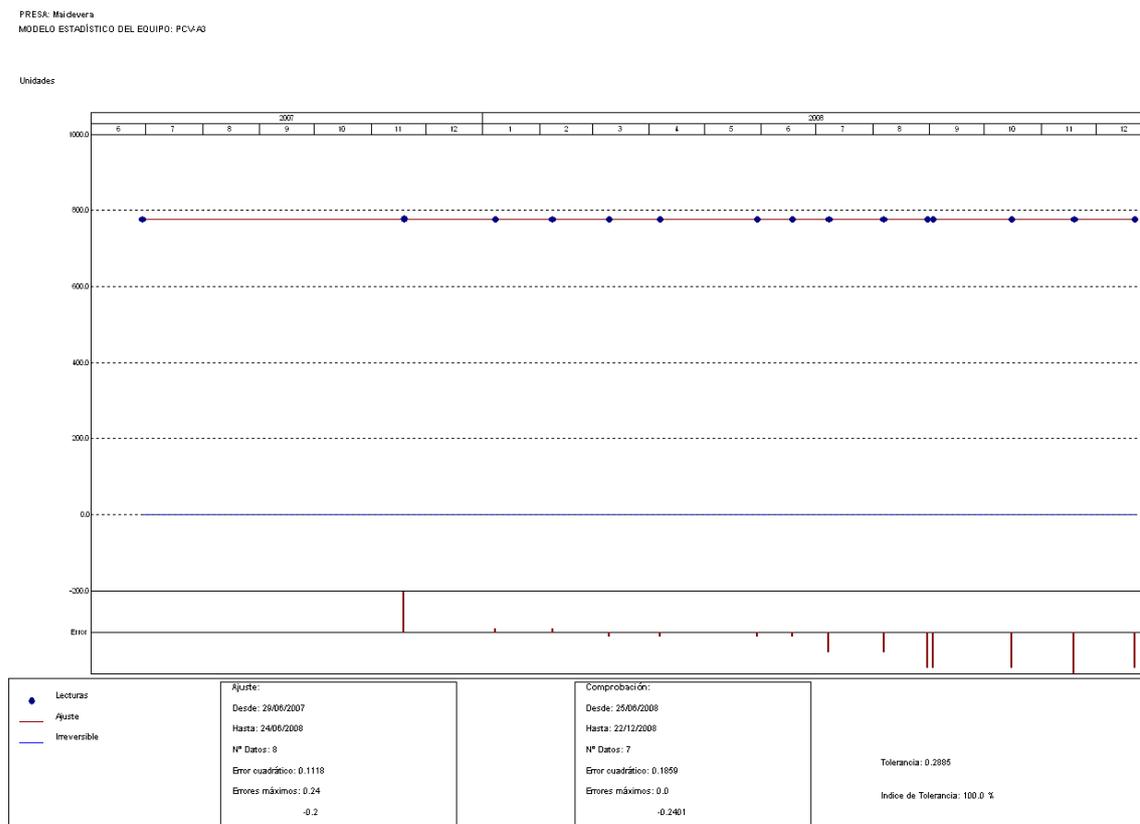
## 4. PRESIONES INTERSTICIALES.

### 4.1. PIEZÓMETROS DE CUERDA VIBRANTE (PCV).

Los datos medidos en los piezómetros de cuerda vibrante presentan una sombra de aproximadamente 17 años que no refleja valores del instrumento ni del nivel de embalse. Esta situación complica mucho la modelación estadística, ya que los períodos de cálculo y comprobación son muy lejanos, y una parametrización del comportamiento bajo este esquema resulta poco fiable y no caracteriza lo sucedido durante la etapa sombra. Con lo cual, sólo se plantean modelos estadísticos con los registros obtenidos entre 2007 y 2008.

#### 4.1.1. PCV en la sección de control P-12 A.

PCV-A3

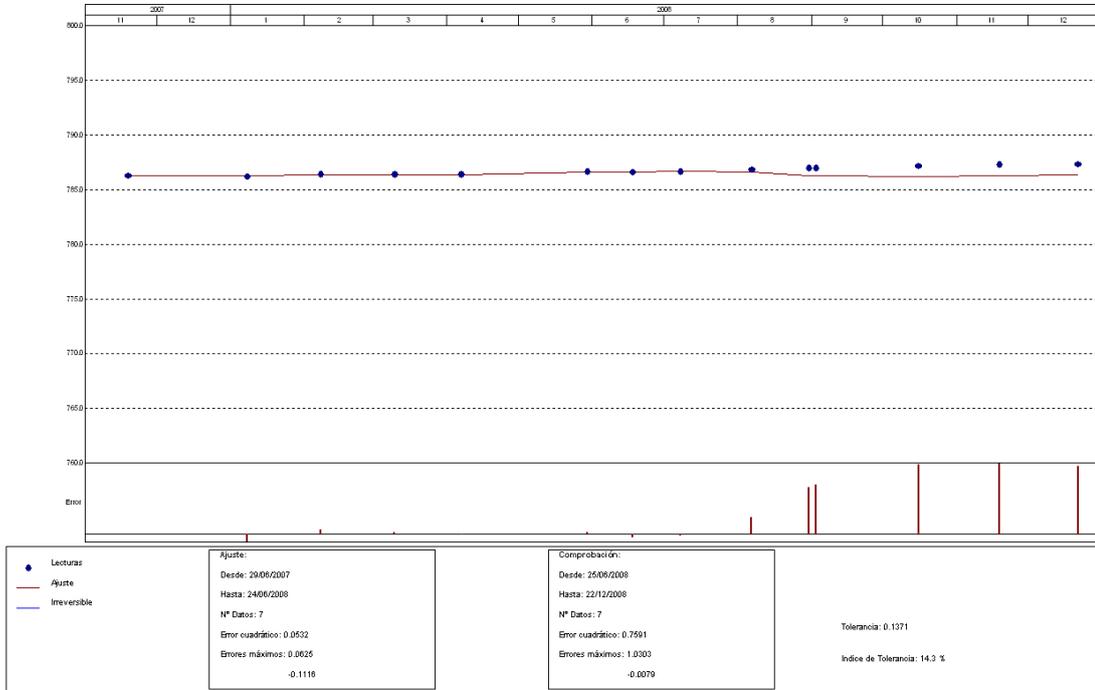


Con los datos registrados por este piezómetro no es posible caracterizar el comportamiento.

PCV-A5.

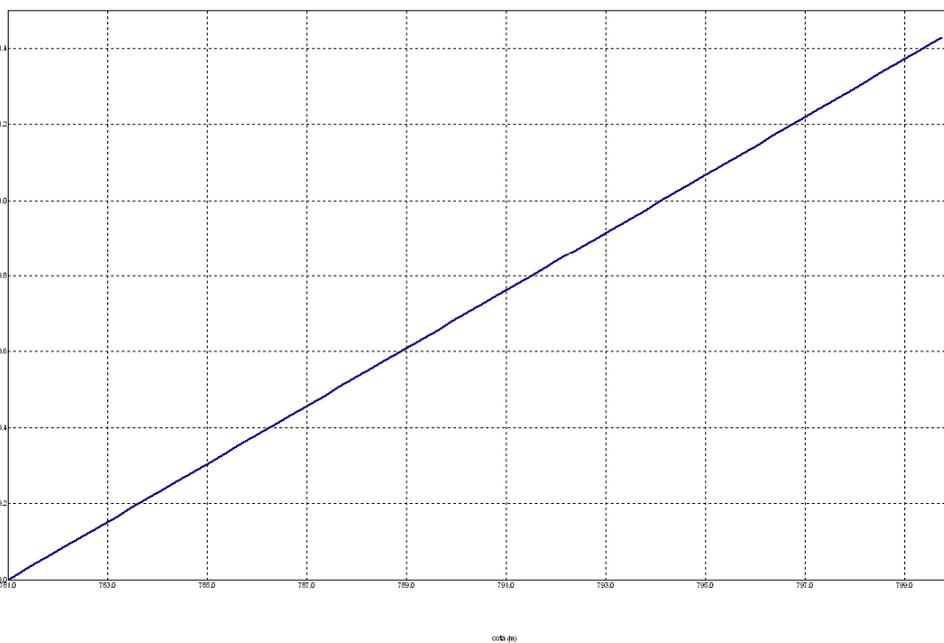
FRESA: Maidevera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-A6

Unidades:



PRESA: Maidevera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-A5

Unidades:

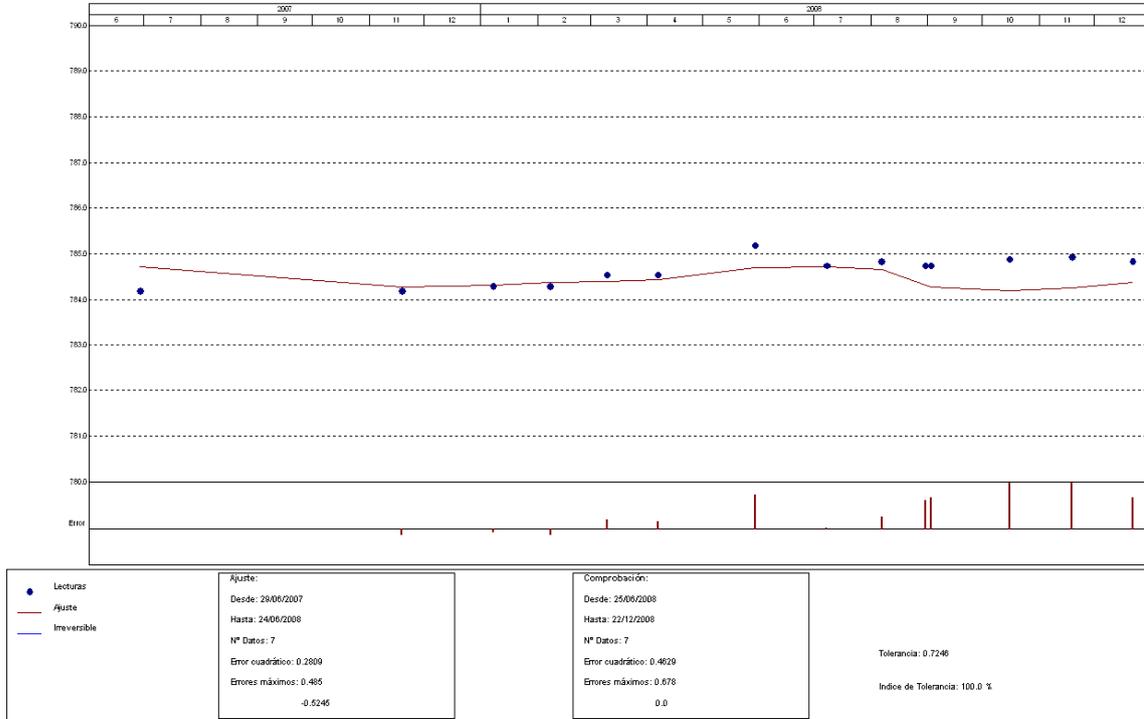


PRESA: Maidevera. MODELIZACIÓN DE: PCV-A5		Fecha Origen de cálculo: 07/05/1984
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	29/06/2007 al 24/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 7
1-e <sup>^</sup> (-tiempo/365)	0.000	Nivel embalse mínimo: 781.00
HC	1.44322	Nivel embalse máximo: 799.92
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 5.315477E-02
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 0.0625
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -0.1115723
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 0.1371393
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	25/06/2008 al 22/12/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 7
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 0.7590542
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 1.030273
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: -7.873535E-03
LL	0.000	Índice de Tolerancia: 14.28571 %
LLMM	0.000	
T. independiente	785.2155	

PCV-A6

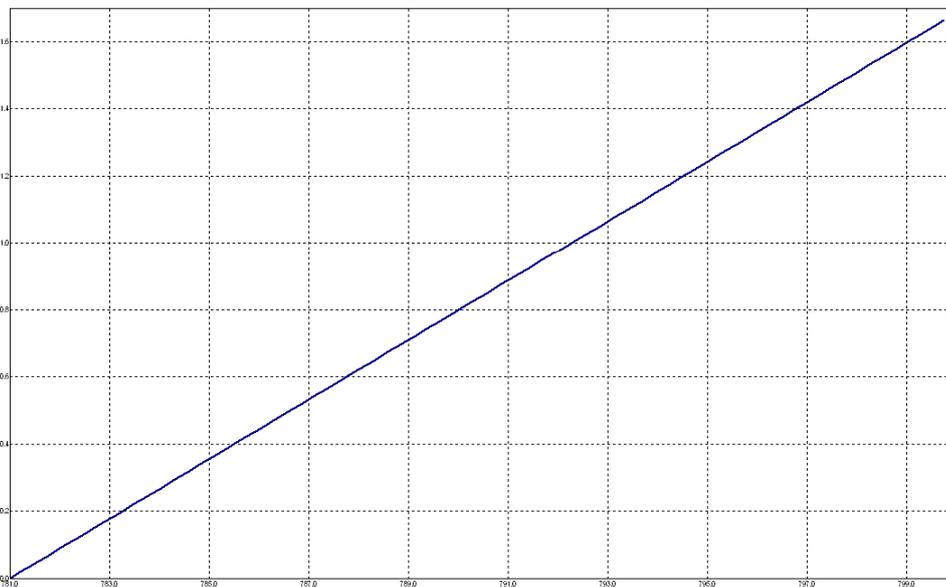
PRESA: Maidevera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-A6

Unidades:



PRESA: Maidevera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-A6

Unidades:



000 (0)

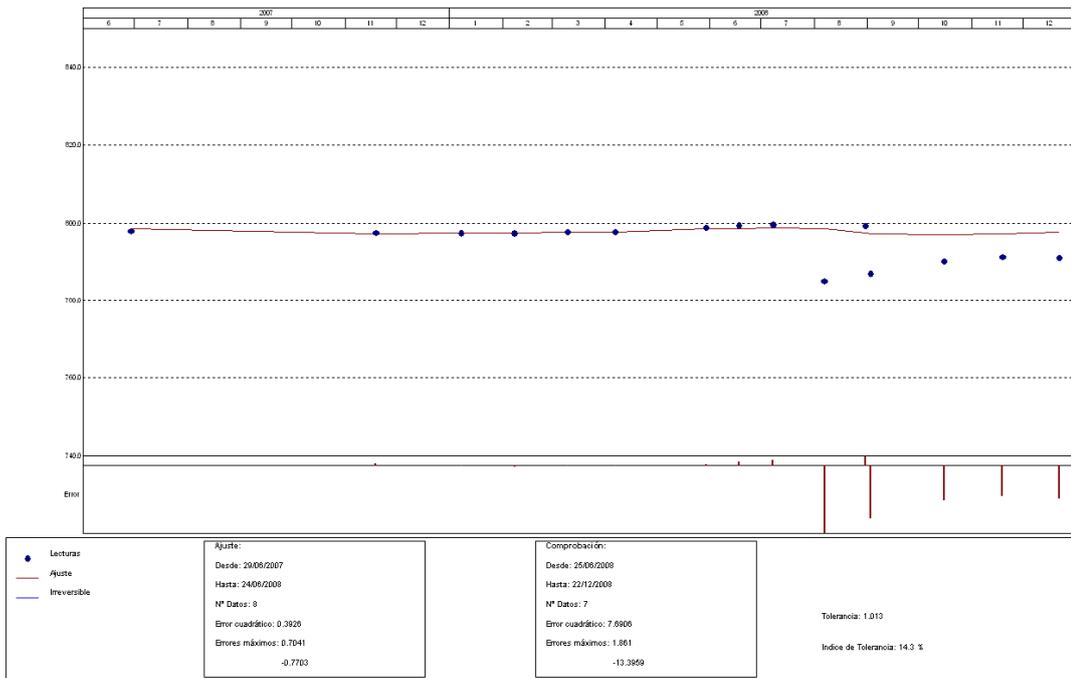
PRESA: Maidevera. MODELIZACIÓN DE: PCV-A6		Fecha Origen de cálculo: 07/05/1984
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	29/06/2007 al 24/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 7
1-e <sup>-(tiempo/365)</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 781.00
HC	1.68033	Nivel embalse máximo: 799.92
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.2808631
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 0.4850464
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -0.5244751
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 0.7246269
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	25/06/2008 al 22/12/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 7
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 0.4629044
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 0.6779785
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: 0
LL	0.000	Indice de Tolerancia: 100 %
LLMM	0.000	
T. independiente	783.0528	

### 4.1.2. PCV en la sección de control P-17 B.

#### PCV-B1

PRESA: Maidevera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-B1

Unidades



PRESA: Maidevera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-B1

Unidades

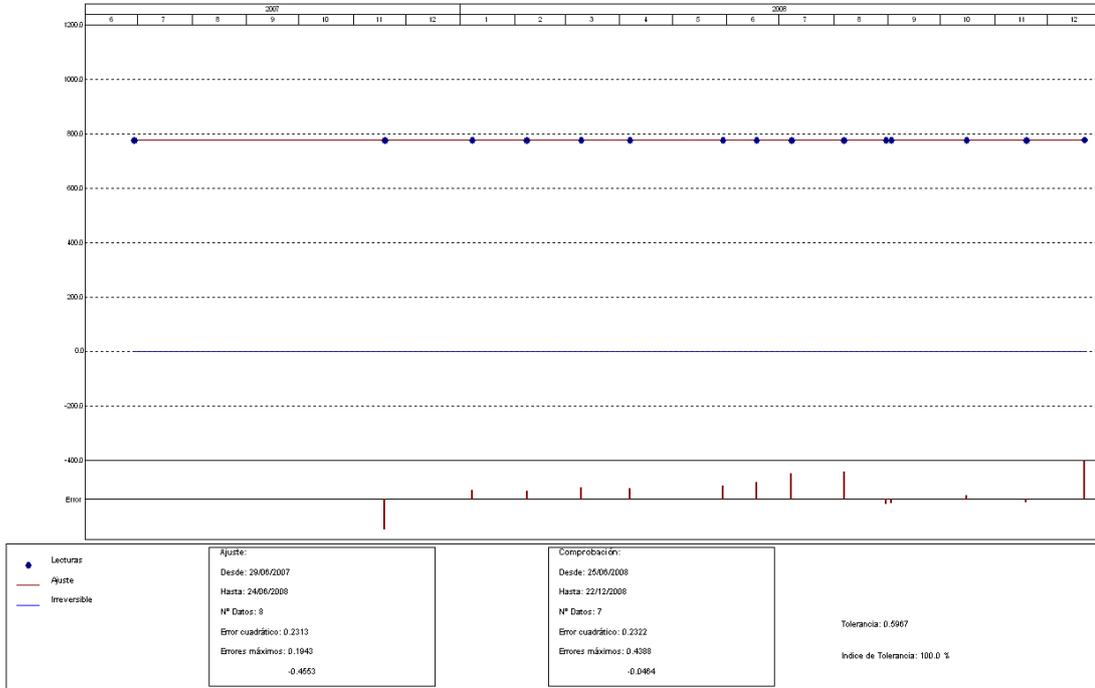


PRESA: Maidevera. MODELIZACIÓN DE: PCV-B1		Fecha Origen de cálculo: 07/05/1984
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	29/06/2007 al 24/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 8
1-e <sup>^</sup> (-tiempo/365)	0.000	Nivel embalse mínimo: 781.00
HC	5.31189	Nivel embalse máximo: 799.92
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.392642
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 0.7041016
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -0.7702637
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 1.013016
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	25/06/2008 al 22/12/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 7
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 7.690626
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 1.861023
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: -13.39587
LL	0.000	Indice de Tolerancia: 14.28571 %
LLMM	0.000	
T. independiente	793.3973	

PCV-B2

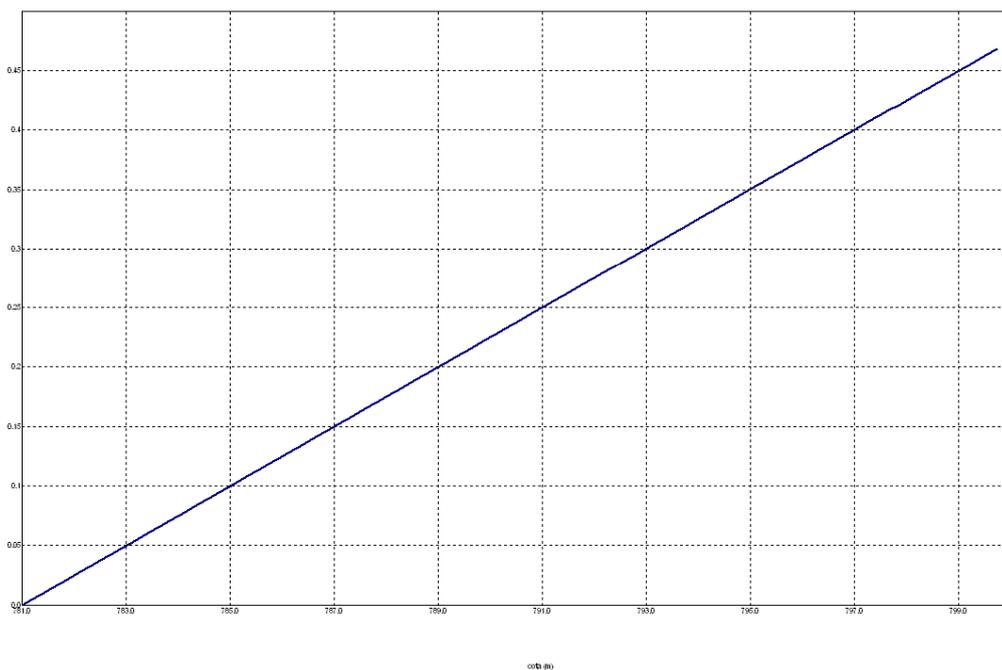
FRESA: Maidevera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-B2

Unidades:



PRESA: Maidevera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-B2

Unidades:

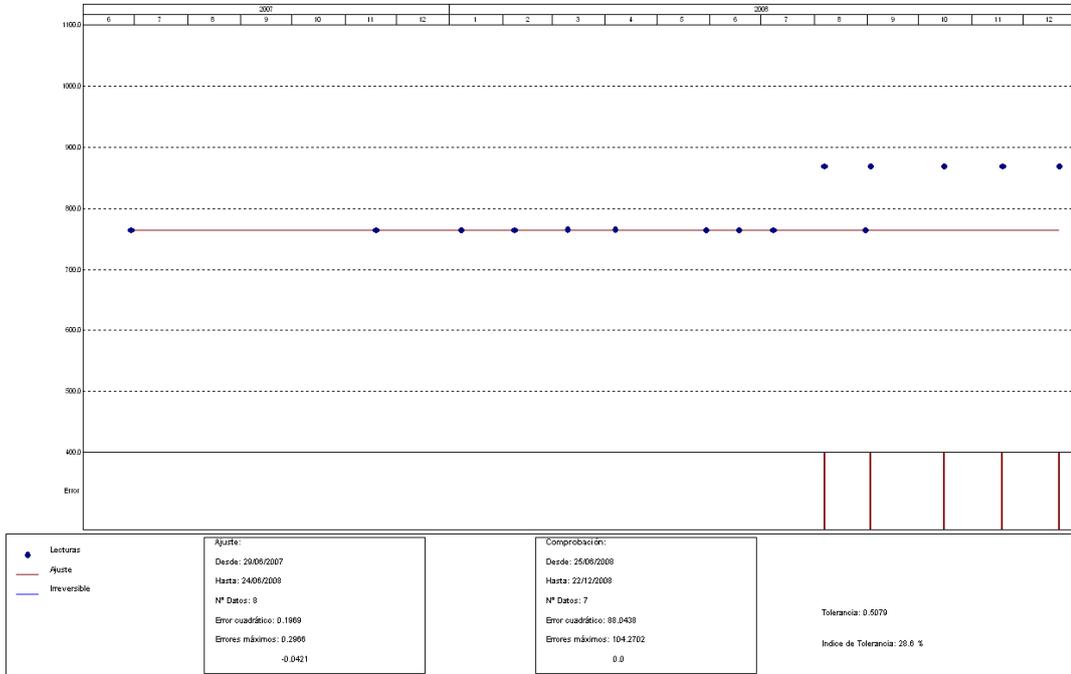


PRESA: Maidevera. MODELIZACIÓN DE: PCV-B2		Fecha Origen de cálculo: 07/05/1984
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste 29/06/2007 al 24/06/2008
Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 8
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nivel embalse mínimo: 781.00
1-e <sup>(-tiempo/365)</sup>	0.000	Nivel embalse máximo: 799.92
HC	0.47326	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
HC <sup>3</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.2312845
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 0.1942749
sen(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -0.4552612
cos(PT)	0.000	Tolerancia: 0.5967139
sen(2*PT)	0.000	Período de Comprobación 25/06/2008 al 22/12/2008
cos(2*PT)	0.000	Nº de datos: 7
TD-TDC	0.000	Error cuadrático: 0.2322312
TMM-TMMC	0.000	Error Máximo positivo: 0.4388428
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error Máximo negativo: -4.638672E-02
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Índice de Tolerancia: 100 %
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	
LL	0.000	
LLMM	0.000	
T. independiente	775.3972	

PCV-B3

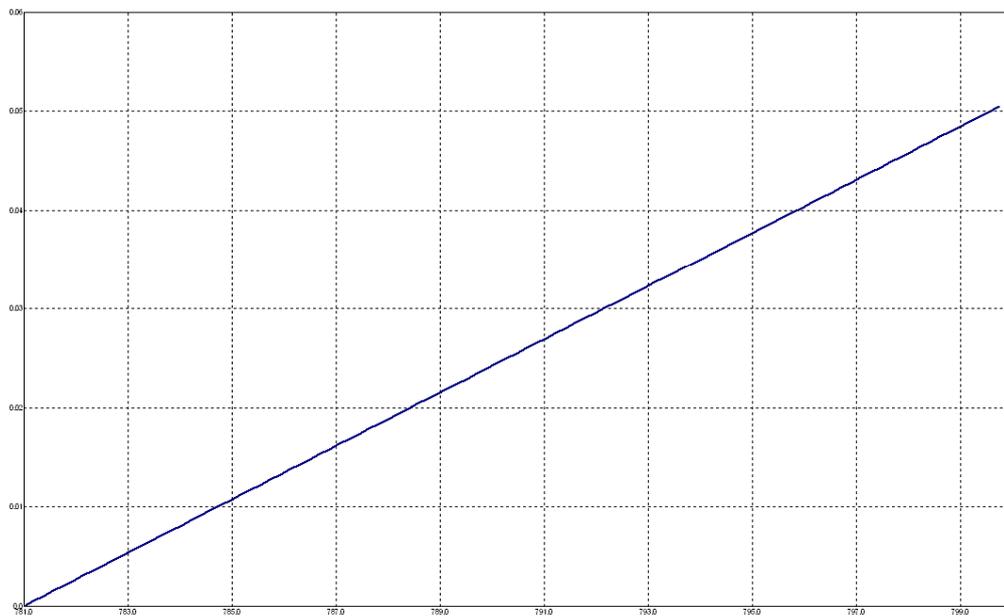
PRESA: Maidevera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-B3

Unidades



PRESA: Maidevera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-B3

Unidades



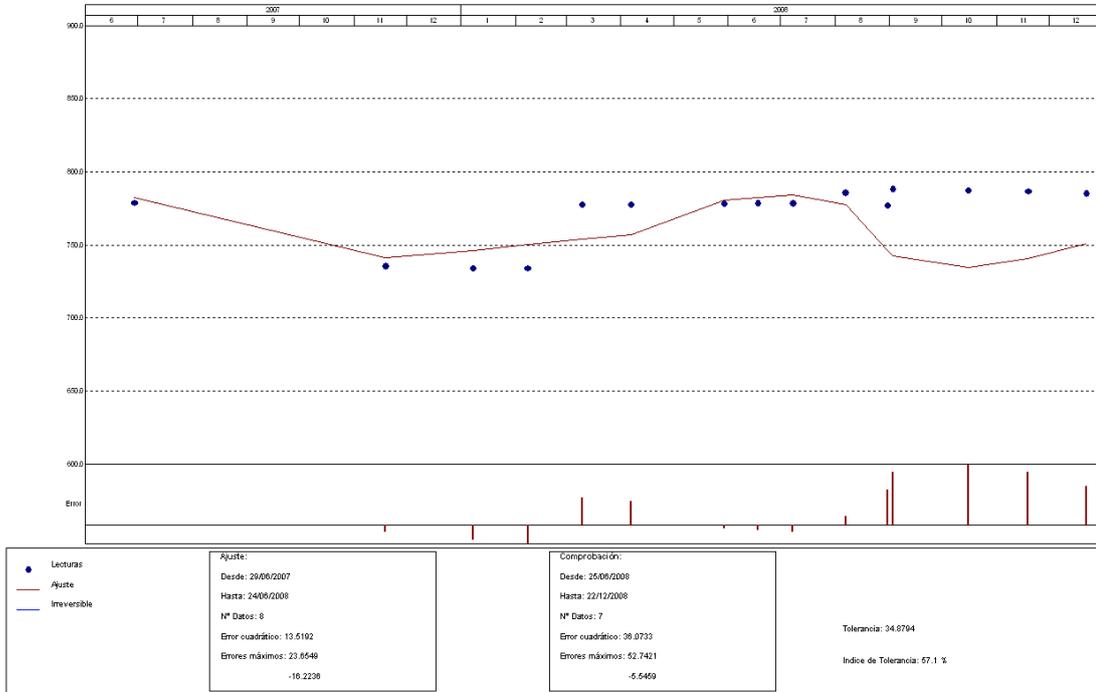
000000

PRESA: Maidevera. MODELIZACIÓN DE: PCV-B3		Fecha Origen de cálculo: 07/05/1984
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	-18.55727	29/06/2007 al 24/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	1048.429	Nº de datos: 8
1-e <sup>-tiempo/365</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 781.00
HC	0.05099	Nivel embalse máximo: 799.92
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.1968608
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 0.2965698
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -4.211426E-02
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 0.5079009
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	25/06/2008 al 22/12/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 7
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 88.0438
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 104.2702
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: 0
LL	0.000	Indice de Tolerancia: 28.57143 %
LLMM	0.000	
T. independiente	0.000	

PCV-B5

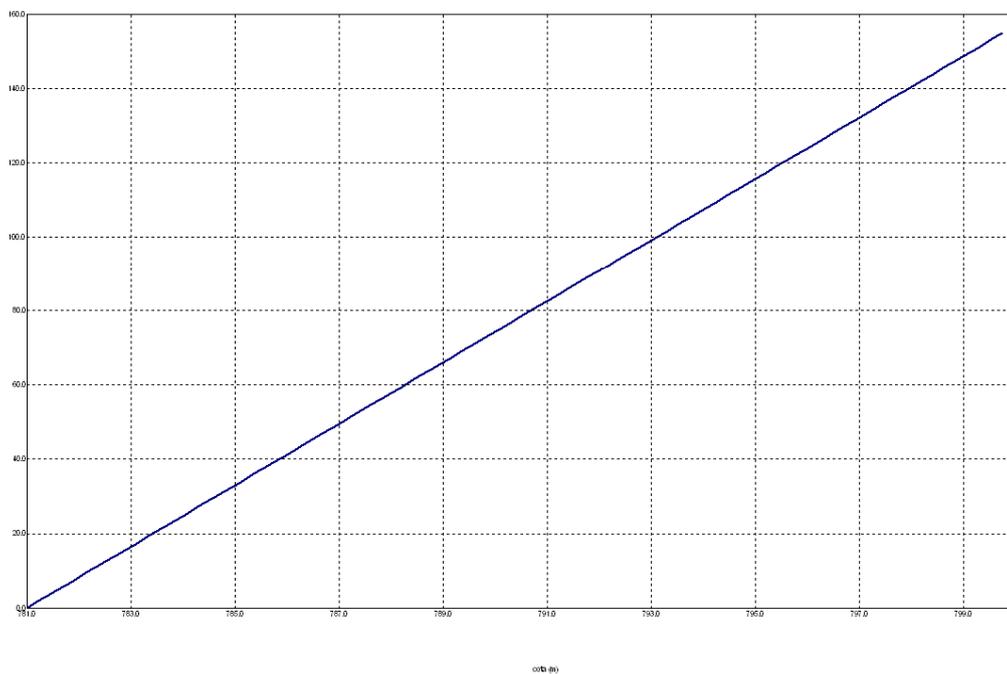
PRESA: Maidevera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-B5

Unidades:



PRESA: Maidevera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-B5

Unidades:

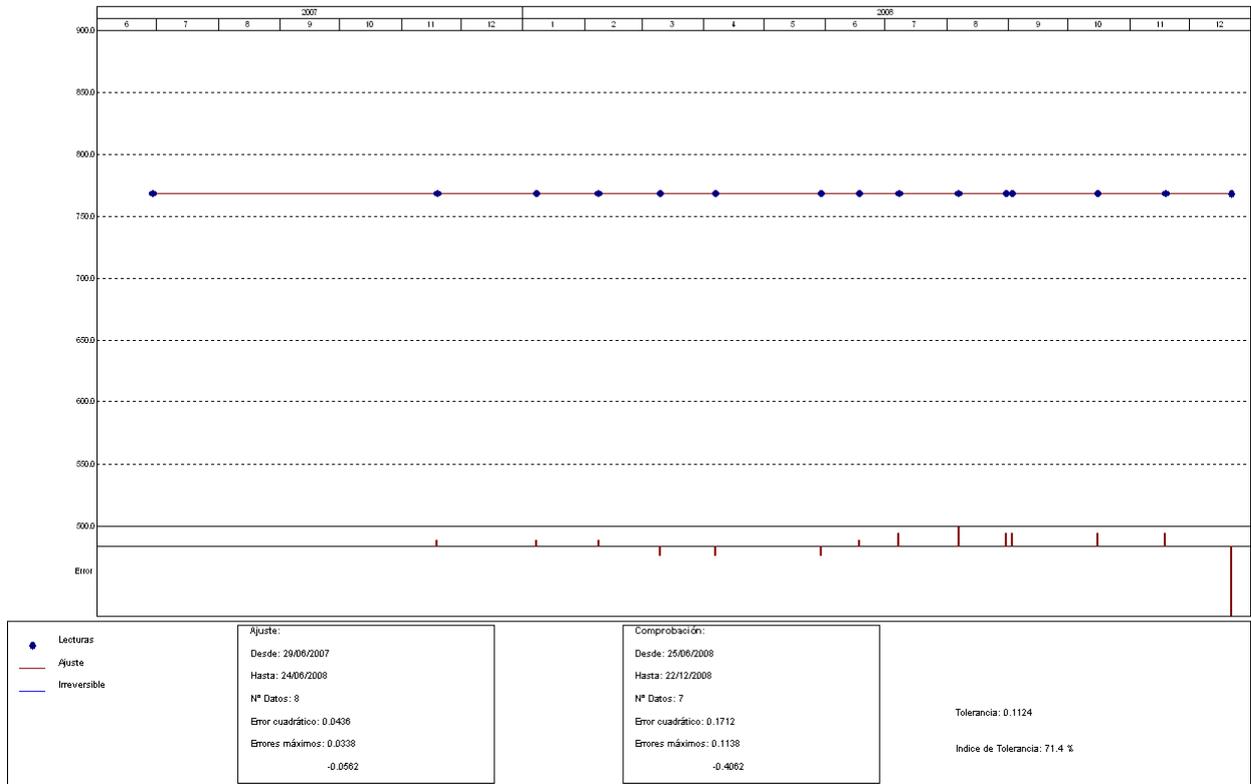


PRESA: Maidevera. MODELIZACIÓN DE: PCV-B5		Fecha Origen de cálculo: 07/05/1984
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	29/06/2007 al 24/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 8
1-e <sup>(-tiempo/365)</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 781.00
HC	156.3932	Nivel embalse máximo: 799.92
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 13.51915
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 23.65485
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -16.22357
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 34.87942
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	25/06/2008 al 22/12/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 7
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 36.0733
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 52.74213
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: -5.545898
LL	0.000	Índice de Tolerancia: 57.14286 %
LLMM	0.000	
T. independiente	627.9954	

## PCV-B6

PRESA: Maidevera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-B6

Unidades:



Con los datos registrados por este piezómetro no es posible caracterizar el comportamiento.

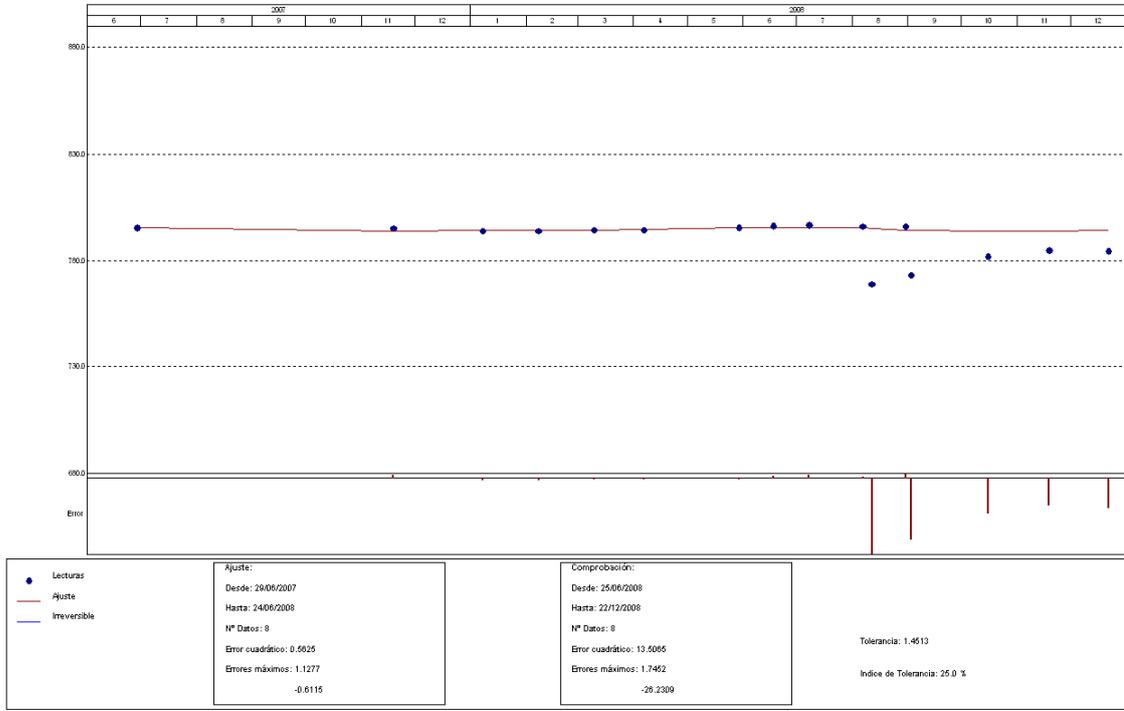
PCV-B9

No hay registros en el período 2007-2008.

### PCV-C1

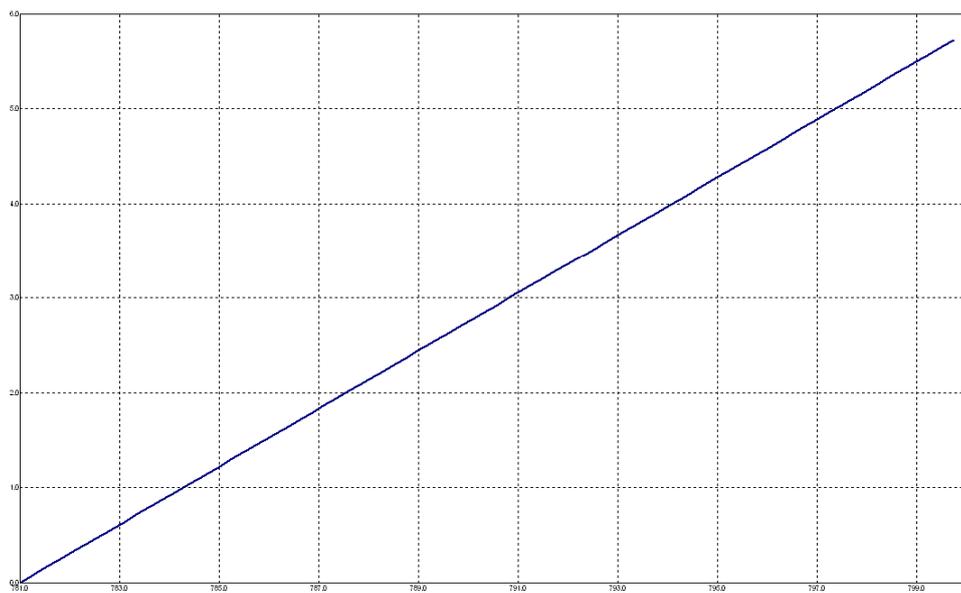
PRESA: Maidevera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-C1

Unidades



PRESA: Maidevera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-C1

Unidades



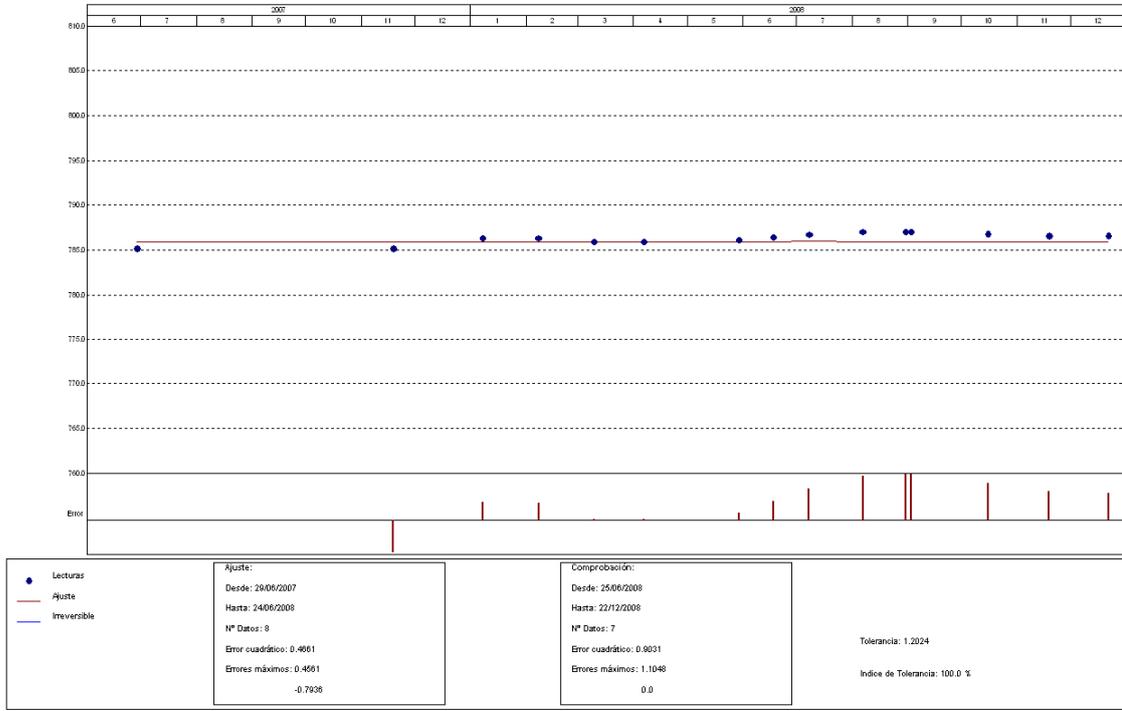
crd (m)

PRESA: Maidevera. MODELIZACIÓN DE: PCV-C1		Fecha Origen de cálculo: 07/05/1984
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	29/06/2007 al 24/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 8
1-e <sup>-tiempo/365</sup> )	0.000	Nivel embalse mínimo: 781.00
HC	5.78274	Nivel embalse máximo: 799.92
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.5625187
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 1.127747
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -0.6114502
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 1.451298
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	25/06/2008 al 22/12/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 8
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 13.50651
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 1.745178
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: -26.2309
LL	0.000	Indice de Tolerancia: 25 %
LLMM	0.000	
T. independiente	789.9158	

PCV-C2

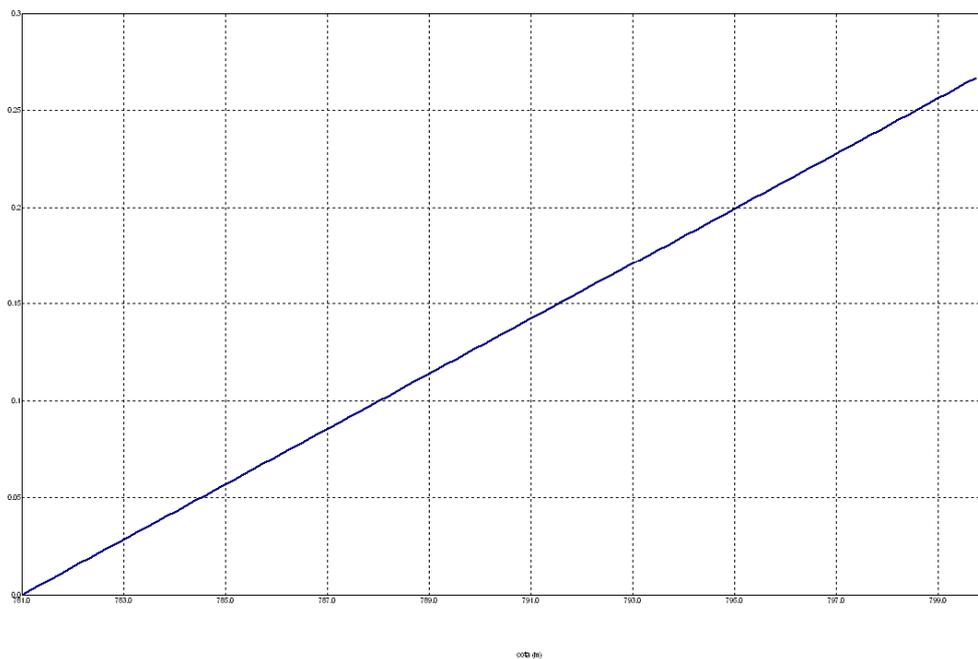
PRESA: Maidevera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PCV-C2

Unidades



PRESA: Maidevera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PCV-C2

Unidades



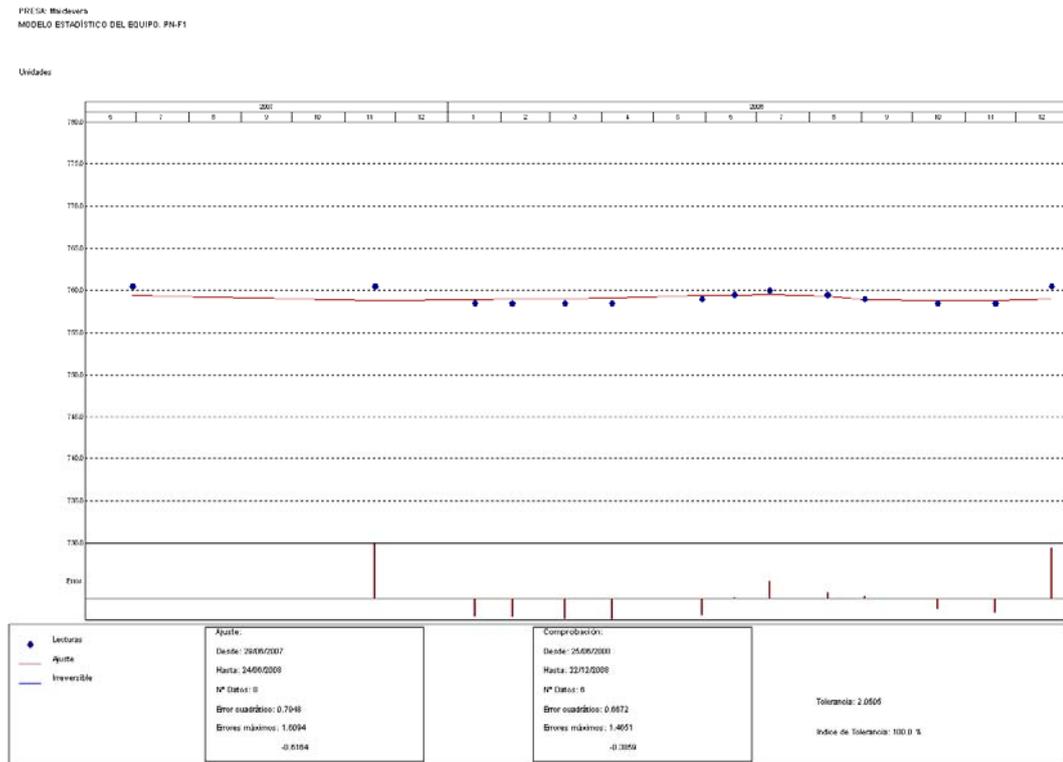
PRESA: Maidevera. MODELIZACIÓN DE: PCV-C2		Fecha Origen de cálculo: 07/05/1984
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	29/06/2007 al 24/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 8
1-e <sup>^</sup> (-tiempo/365)	0.000	Nivel embalse mínimo: 781.00
HC	0.26953	Nivel embalse máximo: 799.92
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.4660582
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 0.4561157
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -0.7935791
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 1.20243
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	25/06/2008 al 22/12/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 7
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 0.9031016
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 1.104797
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: 0
LL	0.000	Indice de Tolerancia: 100 %
LLMM	0.000	
T. independiente	785.707	

PCV-C3

No hay registros en el período 2007-2008

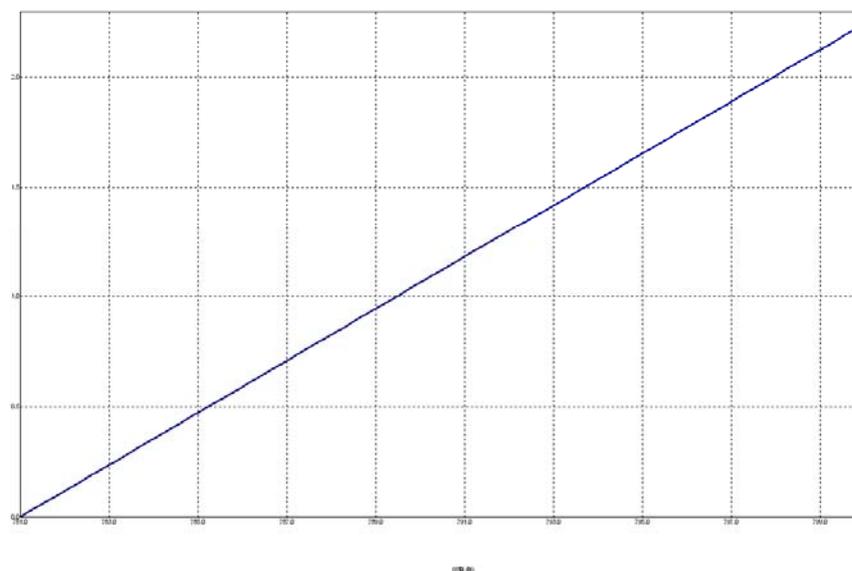
## 4.2. PIEZÓMETROS NEUMÁTICOS.

### PN-F1



PRESA: Maidevera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PN-F1

Unidades

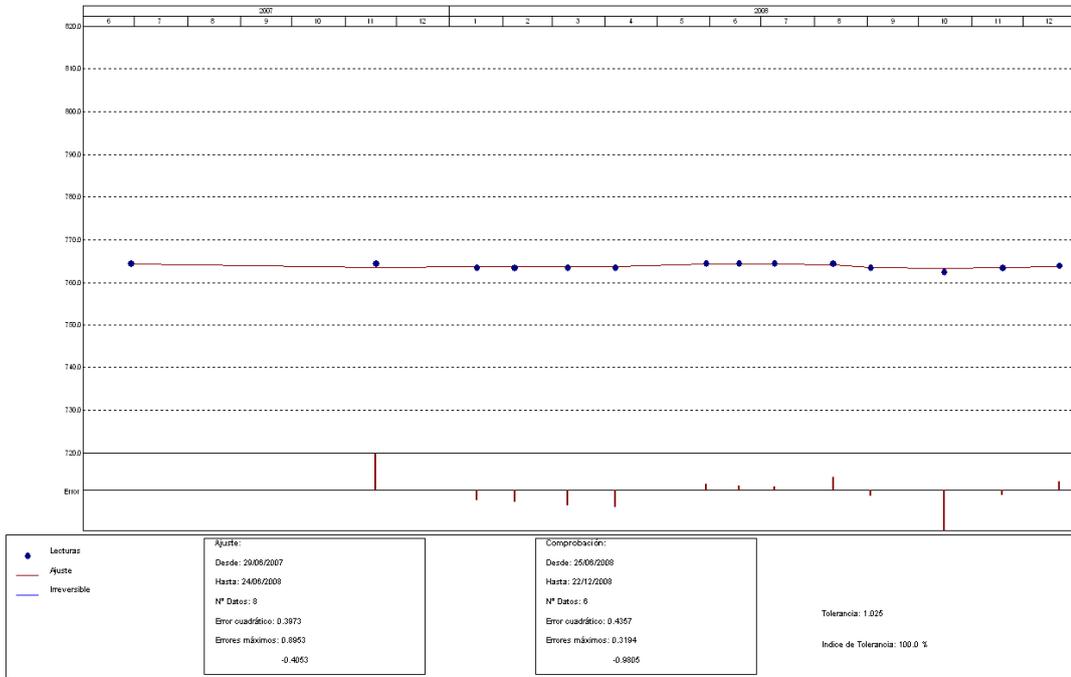


PRESA: Maidevera. MODELIZACIÓN DE: PN-F1		Fecha Origen de cálculo: 07/05/1984
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	29/06/2007 al 24/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 8
1-e <sup>^</sup> (-tiempo/365)	0.000	Nivel embalse mínimo: 781.00
HC	2.23709	Nivel embalse máximo: 799.92
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.7947552
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 1.609436
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -0.616394
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 2.050468
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	25/06/2008 al 22/12/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 6
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 0.6672016
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 1.465149
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: -0.3858643
LL	0.000	Indice de Tolerancia: 100 %
LLMM	0.000	
T. independiente	757.2672	

PN-F2

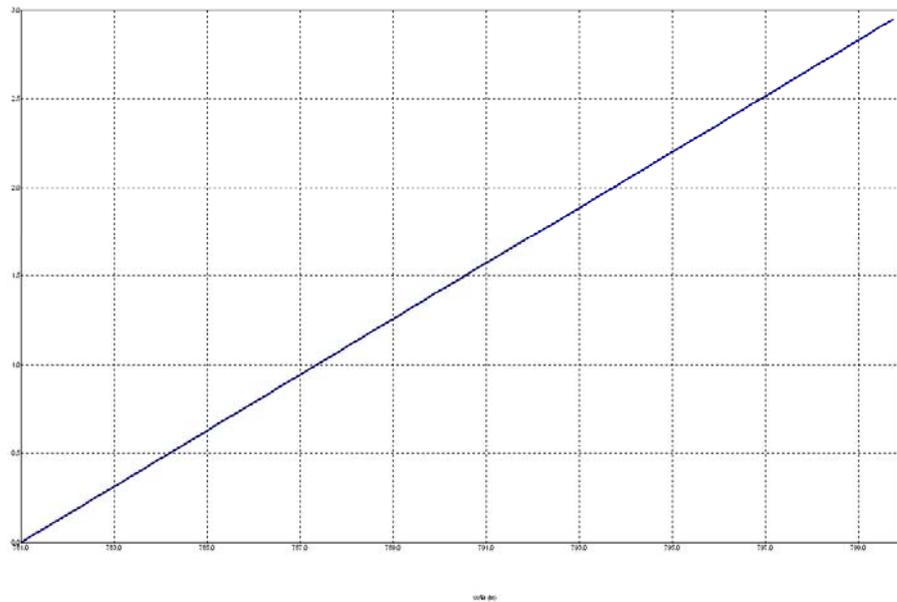
PRESA: Maidevera  
 MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: PN-F2

Unidades



PRESA: Maidevera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: PN-F2

Unidades



PRESA: Maidevera. MODELIZACIÓN DE: PN-F2		Fecha Origen de cálculo: 07/05/1984
Función de Ajuste	Coeficiente	Período de Ajuste
Ln(tiempo)	0.000	29/06/2007 al 24/06/2008
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nº de datos: 8
1-e <sup>-tiempo/365</sup>	0.000	Nivel embalse mínimo: 781.00
HC	2.97681	Nivel embalse máximo: 799.92
HC <sup>2</sup>	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>3</sup>	0.000	Tiempo de efecto diferido (días): 3
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error cuadrático: 0.3972934
sen(PT)	0.000	Error Máximo positivo: 0.8952637
cos(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -0.4052734
sen(2*PT)	0.000	Tolerancia: 1.025017
cos(2*PT)	0.000	Período de Comprobación
TD-TDC	0.000	25/06/2008 al 22/12/2008
TMM-TMMC	0.000	Nº de datos: 6
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error cuadrático: 0.4356515
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 0.319397
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo negativo: -0.9804688
LL	0.000	Indice de Tolerancia: 100 %
LLMM	0.000	
T. independiente	761.4445	

PN –F3

El piezómetro se encuentra averiado desde su instalación.

### **4.3. CÉLULAS NEUMÁTICAS DE PRESIÓN TOTAL.**

No se elaboraron modelos estadísticos de ninguna de las células de presión total, ya que la serie de datos no suficientemente extensa como para poder caracterizar correctamente el comportamiento de la variable. No contemplan más de un ciclo anual de carga en el embalse.

## **5. DESPLAZAMIENTOS VERTICALES.**

### **5.1. CÉLULAS HIDRÁULICAS DE ASIENTO - CHA**

Únicamente se disponen de datos de auscultación de las células hidráulicas de asiento medidas una vez al mes aproximadamente desde el 29 de junio de 2007 hasta el 22 de diciembre de 2008.

No se elaboraron modelos estadísticos de ninguna de las células de presión total, ya que la serie de datos no es suficientemente extensa como para poder caracterizar correctamente el comportamiento de la variable. La serie de registros sólo contempla un ciclo de carga anual del embalse.

## 5.2. DESPLAZAMIENTOS VERTICALES EN CORONACIÓN MEDIDOS MEDIANTE NIVELACIÓN TOPOGRÁFICA.

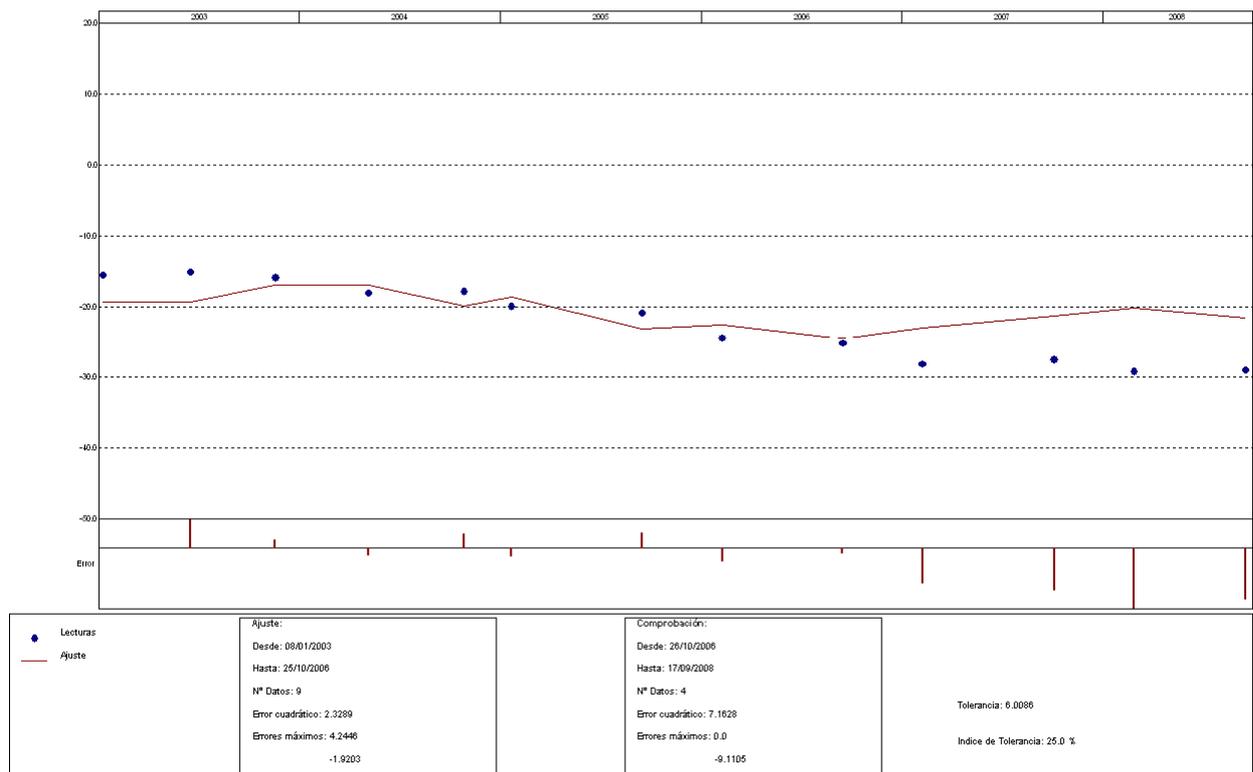
Los valores de asientos más elevados se miden en la zona central de la presa (CHE 1983, CHE 1984, CHE 1985). El máximo valor registrado de asiento en el periodo de estudio del informe es de -31.44 mm. en el punto de control CHE 1983, asiento registrado el día 27 de febrero de 2008.

La modelación estadística se plantea sólo con los datos suministrados por el punto de control CHE 1984. Se eligió este por ser representativo de los mayores asientos producidos en la presa.

### CHE 1984

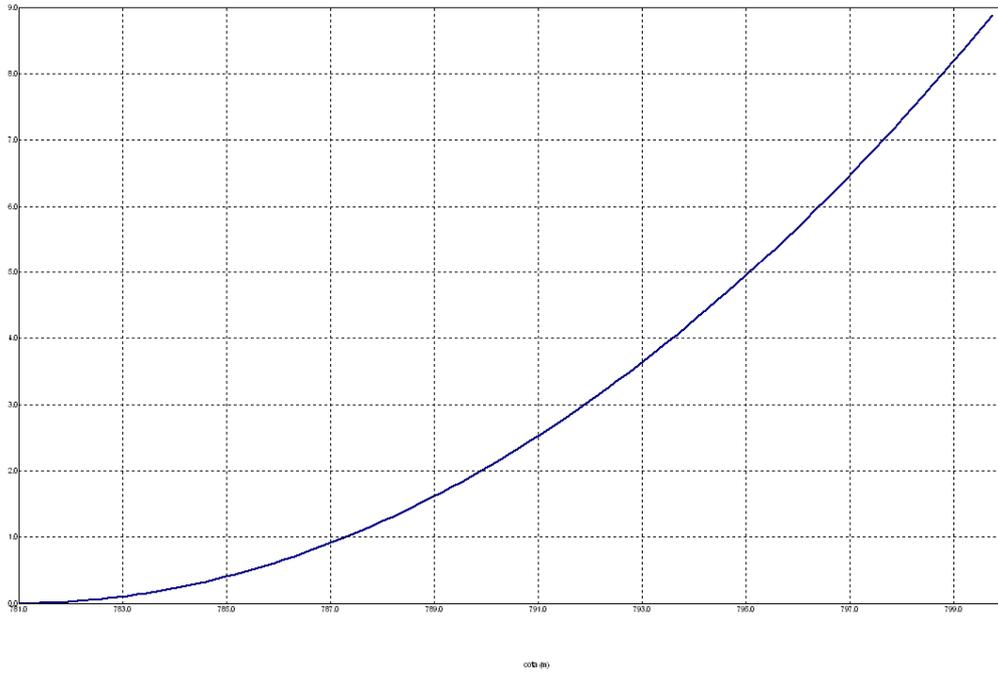
PRESA: Maidevera  
MODELO ESTADÍSTICO DEL EQUIPO: CHE1984

Unidades



PRESA: Maidevera. EFECTO CARGA HIDROSTÁTICA SOBRE LA VARIABLE: CHE1984

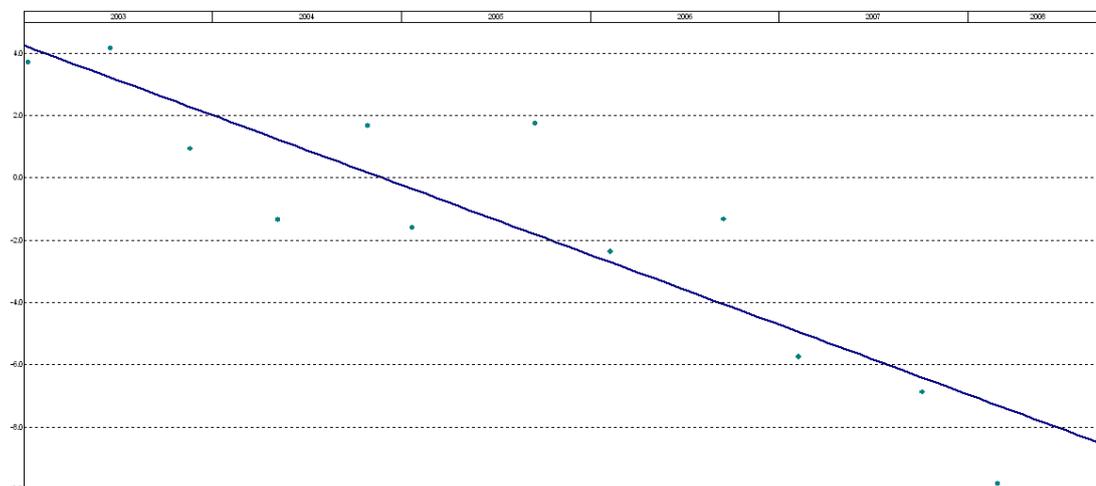
Unidades



PRESA: Maidevera. MODELIZACIÓN DE: CHE1984		Fecha Origen de cálculo: 07/05/1984
Función de Ajuste	Coefficiente	Período de Ajuste 08/01/2003 al 25/10/2006
Ln(tiempo)	-2.85868	Nº de datos: 9
1-1/Ln(tiempo)	0.000	Nivel embalse mínimo: 781.00
1-e <sup>-tiempo/365</sup> )	0.000	Nivel embalse máximo: 799.92
HC	0.000	Tiempo de media móvil (días): 30
HC <sup>2</sup>	9.06354	Tiempo de efecto diferido (días): 3
HC <sup>3</sup>	0.000	Error cuadrático: 2.328897
(HC-HCA)*HC <sup>2</sup>	0.000	Error Máximo positivo: 4.244561
sen(PT)	0.000	Error Máximo negativo: -1.920307
cos(PT)	0.000	Tolerancia: 6.008555
sen(2*PT)	0.000	Período de Comprobación 26/10/2006 al 17/09/2008
cos(2*PT)	0.000	Nº de datos: 4
TD-TDC	0.000	Error cuadrático: 7.162751
TMM-TMMC	0.000	Error Máximo positivo: 0
TMM-TMMCA+TMM-TMMC	0.000	Error Máximo negativo: -9.110533
sen(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	Indice de Tolerancia: 25 %
cos(PT)*HC <sup>2</sup>	0.000	
LL	0.000	
LLMM	0.000	
T. independiente	0.000	

PRESA: Maidevera  
TENDENCIA DE ACUMULADOS EN EL TIEMPO DE: CHE1984

Unidades



## 6. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Respecto de los resultados obtenidos cabe mencionar algunos factores de especial relevancia:

- Se realizaron modelos estadísticos con los aforadores manuales debido a que la serie de datos no presenta períodos sombra. En los resultados obtenidos se pudo constatar la influencia del nivel de embalse sobre la variable auscultada.
- Los modelos estadísticos del aforador AF-4 explican mejor el comportamiento de la variable auscultada con la lluvia que con la evolución del nivel de embalse. Se destaca que para niveles en torno a los 800.00 m.s.n.m., se registran filtraciones máximas de hasta 120 ltr/min e iguales a cero para niveles por debajo de este.
- El aforador AF-5 evoluciona según los niveles de embalse aunque muestra una dependencia relacionada con la lluvia. En este punto de control se registran las mayores filtraciones (entre 100 y 250 ltr/min).
- En ninguno de los modelos estadístico se presentan comportamientos irreversibles con el paso del tiempo.
- La serie de datos correspondiente a los piezómetros de cuerda vibrante presentan una sombra sin registros, de aproximadamente 17 años. La modelación estadística sólo contempla el período 2007-2008, el resto no es considerado ya que una parametrización del comportamiento bajo ese esquema resulta poco fiable y no caracteriza lo sucedido en la etapa sombra.
- Los datos registrados por los piezómetros de cuerda vibrante PCV-A3 y PCV-B6 no permiten obtener una modelación estadística consistente.
- En el resto de los piezómetros (de cuerda vibrante y neumáticos) modelados y pese a que la serie de registro es corta, es posible constatar la influencia del nivel de embalse sobre la variable auscultada. Sin embargo, estos modelos son sólo una primera visión del comportamiento ya que sólo contempla un ciclo anual de carga en el embalse. No se consideran los efectos irreversibles por lo ya comentado.
- Con los datos disponibles de las células hidráulicas de asiento no es posible establecer, en ningún caso, una adecuada parametrización del comportamiento.

- En relación a los desplazamientos verticales absolutos en coronación medidos mediante nivelación topográfica (CHE 1984), se observan comportamientos irreversibles de - 2.23 mm/año, el cual representa un asiento menor al 0.02% de la altura de la presa.

## **APÉNDICE 1: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MODELACIÓN ESTADÍSTICA**

### **A1.1 INTRODUCCIÓN.**

AUSMODEL es un programa informático de modelización estadística de datos de auscultación enfocado fundamentalmente a presas desarrollado por OFITECO, y especialmente concebido para el tratamiento de los datos históricos, el control y la previsión de los fenómenos relacionados con las presas, donde la complejidad en el manejo de las variables que intervienen hace imprescindible el apoyo de las herramientas informáticas.

El modelo estadístico AUSMODEL permite obtener las ecuaciones empíricas que rigen el comportamiento de cada variable de control de la presa (movimientos, subpresiones, temperaturas del hormigón, deformaciones, filtraciones, etc.), en función del tiempo transcurrido desde una fecha origen, los niveles de embalse y las temperaturas de referencia medidas "in situ". Estas ecuaciones proporcionan un sistema de control de los distintos parámetros medidos en la presa, poniendo de manifiesto los fenómenos anómalos que produzcan desviaciones respecto de lo esperado.

Como apoyo a la modelización de las variables de control, AUSMODEL permite aislar los distintos efectos que intervienen en la modelización, esto es: efecto térmico, efecto del nivel de embalse y efecto temporal o irreversible.

AUSMODEL también permite aislar los fenómenos que dependen exclusivamente del tiempo y de los sucesos no contemplados en la modelización, realizando un tratamiento específico de los mismos, consistente en la obtención de las tendencias que siguen las variables de control por estos motivos.

Además, AUSMODEL permite visualizar e imprimir los gráficos generados por las ecuaciones deducidas, así como los resultados numéricos obtenidos en el cálculo.

### **A1.2 DATOS**

Para el funcionamiento del programa son necesarios dos tipos de datos:

De variables exteriores

De variables de control

El fichero de variables exteriores será común a todos los aparatos de una misma presa, cuyos datos se van a modelizar. Este fichero contendrá los siguientes datos:

Fecha de toma de datos

Cota del nivel del embalse (m) en la fecha correspondiente

Temperatura ambiente (°C)

Precipitación (mm)

En el caso de no disponer de alguna de las variables indicadas, se podrá prescindir de ella, sustituyéndola por una ficticia.

AUSMODEL toma estos datos mediante la importación de ficheros ASCII, ficheros DAMDATA, ficheros de versiones anteriores de Ausmodel, o por el procedimiento de cortar y pegar, desde cualquier aplicación Windows estándar, como puede ser Excel, Access, Word u otros editores de datos o texto.

Para modelizar los datos de la variable de control obtenidos mediante uno de los aparatos de auscultación de la presa, es preciso introducir un fichero que contenga la siguiente información:

- Fecha de toma de datos.
- Valor de la variable de control medida en la fecha correspondiente.

La estructura y el procedimiento para este tipo de ficheros son los mismos que los explicados para las variables exteriores.

### A1.3 JUSTIFICACIÓN Y METODOLOGÍA DE APLICACIÓN

El proceso de localización de comportamientos anormales en una presa exige conocer las leyes de respuesta de la misma frente a las acciones exteriores. Estas leyes se pueden obtener fundamentalmente por dos vías:

- Efectuando los cálculos teóricos para determinar la respuesta de la presa a las acciones exteriores, supuestas conocidas las características mecánicas y geológicas de los materiales. Es lo que se conoce como "modelo determinista".
- Basándose en las observaciones realizadas sobre los distintos parámetros características del comportamiento de la presa y obteniendo de ellas un "modelo estadístico".

Esta segunda opción puede resultar más razonable cuando se dispere de una amplia información sobre la historia de la presa, puesto que basa los resultados del modelo sobre datos reales, eliminando así la posibilidad de utilizar hipótesis erróneas, incluyendo además factores que podrían considerarse despreciables en un modelo determinista.

El objetivo del modelo estadístico será, en consecuencia, encontrar una relación suficientemente estable y precisa entre las variables exteriores y las variables de control registradas durante la historia pasada de la presa, permitiendo realizar una interpretación de la misma que, de otra forma podría tener un carácter especulativo, intuitivo o incluso erróneo.

La metodología seguida por AUSMODEL se fundamenta, como en otros modelos estadísticos, sobre la consideración de tres componentes básicas aditivas en la variable de control.

- La correspondiente a la parte irreversible derivada de las deformaciones y otros fenómenos progresivos debidos a la evolución de las propiedades del hormigón, cimentación, etc. o a fenómenos más o menos bruscos de acomodación, función todo ello del tiempo cronológico transcurrido desde una fecha origen.
- La correspondiente al efecto del nivel de embalse, que podría llamarse "componente elástica" en el caso de tratarse de los movimientos sufridos por la presa de obra de fábrica, aunque esta componente también afecta a otro tipo de fenómenos, tales como caudales drenados, temperaturas del hormigón, etc.
- La correspondiente al efecto del ciclo térmico anual

El proceso de obtención de un modelo estadístico es habitualmente el siguiente:

- Creación del modelo
- Identificación de los coeficientes
- Contraste del modelo
- Establecimiento de tolerancias y análisis del modelo

Además AUSMODEL añade un paso nuevo a este proceso:

- Obtención de tendencias en valores acumulados en el tiempo

### A1.3.1 Creación del modelo

La expresión general del modelo estadístico es la siguiente:

$$V(t, H, T) = a_1 + \sum a_i \cdot f_i(t) + \sum a_j \cdot f_j(H) + \sum a_k \cdot f_k(t, T) + \sum a_l \cdot f_l(t, H)$$

Donde:

\*  $a_1$  : Término independiente

\*  $f_i(t)$  : Funciones del tiempo cronológico (t). Dentro de éstas se incluyen:

$\ln(t)$   
 $1 - 1/\ln(t)$   
 $1 - 1/e^{(t/365)}$   
 $\text{sen}(PT)$   
 $\text{cos}(PT)$   
 $\text{sen}(2PT)$   
 $\text{cos}(2PT)$

Las 3 primeras tratan de representar el efecto irreversible sobre la variable de control, y las 4 siguientes el efecto del ciclo térmico anual. En estas últimas,  $PT (2\pi/365)$  es el ángulo equivalente al tiempo transcurrido del año para cada fecha.

\*  $f_j(H)$  : Funciones de la cota del nivel del embalse (H). En ellas quedan encuadradas las siguientes funciones:

HC

HC<sup>2</sup>

HC<sup>3</sup>

$(HC - HCA) \cdot HC^2$

Donde  $HC = (H - H_o)/(H_M - H_o)$

Siendo  $H_o$  la cota mínima establecida para el nivel de embalse y  $H_M$  la máxima, por lo tanto, siempre que  $H$  quede entre los límites  $H_o$  y  $H_M$ ,  $HC$  podrá variar entre 0 y 1.

La suma de las 3 primeras funciones constituye un polinomio que representa el efecto del nivel de embalse sobre la variable de control, mientras que la última incluye también el valor que toma  $HC$  en una fecha anterior a la considerada ( $HCA$ ), contemplando así la repercusión de las variaciones del nivel de embalse sobre la variable de control.

\*  $f_k(t,T)$ : Funciones del tiempo cronológico ( $t$ ) y la temperatura ambiente ( $T$ ). Estas funciones son:

TD - TDC

TMM - TMMC

TMMA - TMMCA + TMM - TMMC

Son el resultado de añadir a las funciones térmicas ya descritas, el efecto de las temperaturas reales medidas en la zona presa. Su importancia reside en que la onda térmica real y con mayor motivo los datos puntuales (diarios) difieren de los valores de la onda térmica calculada.

Existen dos ondas térmicas teóricas que se calculan con los datos aportados correspondientes a las temperaturas ambientales medidas:

$TDC = C1 \text{ Sen}(PT) + C2 \text{ Cos}(PT) + C3 \text{ Sen}(2PT) + C4 \text{ Cos}(2PT)$

$TMMC = C5 \text{ Sen}(PT) + C6 \text{ Cos}(PT) + C7 \text{ Sen}(2PT) + C8 \text{ Cos}(2PT)$

Donde los valores de  $C_i$  son los de los coeficientes obtenidos para las ondas térmicas y PT tiene el mismo significado explicado anteriormente.

TDC representa la onda térmica media anual y TMMC la onda térmica media anual calculada con las medias móviles de  $n$  días, siendo  $n$  el número de días especificado para el cálculo de dichas medias móviles.

TD es la temperatura media ambiental en cada fecha.

TMM es la temperatura media móvil de  $n$  días en cada fecha.

TMMA es la temperatura media móvil de  $n$  días en una fecha anterior a la considerada, distante de ésta  $n$  días y TMMCA es el valor de TMMC en la misma fecha anterior.

\*  $f_i(t,H)$  son las funciones que dependen del tiempo cronológico ( $t$ ) y la cota de la lámina del embalse ( $H$ ). Están incluidas:

$$\text{Sen}(PT) * HC^2$$

$$\text{Cos}(PT) * HC^2$$

En ellas, PT y HC tienen el mismo significado que ya se ha expuesto.

Son las funciones denominadas de "corrección embalse-térmico", resultantes de condicionar el efecto del ciclo térmico sobre la variable de control a través del nivel del embalse. Tratan de reflejar la influencia del efecto de variación térmica del agua del embalse, que hace variar la acción de la temperatura ambiente sobre la presa.

\*  $a_i, a_j, a_k, a_l$  son los coeficientes que multiplican a las funciones descritas.

### **A1.3.2 Identificación de los coeficientes**

Esta parte de la modelización se lleva a cabo por medio de un ajuste por el método de los mínimos cuadrados, de los coeficientes de las funciones. Si llamamos ahora  $f_{ij}$  a los valores de las funciones definidas para la modelización y para la fecha  $j$ ,  $VC_j$  al valor real obtenido mediante la medida de la variable de control en la fecha  $j$  y  $a_i$  a los coeficientes de las funciones  $f_i$ , tenemos que el error cometido en la fecha  $j$ , será:

$$E_j = \sum a_i f_{ij} - VC_j$$

Por lo tanto, habrá que minimizar el valor:

$$\sum E_j^2 = \sum (\sum a_i f_{ij} - VC_j)^2$$

Así pues, para obtener los coeficientes "ai" buscados es necesario resolver el sistema de ecuaciones:

$$\sum (\sum a_i f_{ij} - VC_j) \cdot f_{ij} = 0$$

### **A1.3.3 Contraste del modelo y obtención del índice de tolerancia**

Una vez obtenidos los coeficientes de las funciones de ajuste según la secuencia descrita, se debe proceder a la comprobación del funcionamiento del modelo adoptado utilizando tanto los datos considerados como pertenecientes al período de ajuste como los que se incluyen en el período de contraste.

Para llevar a cabo el contraste se procede de la siguiente manera:

- Aplicación del modelo para los períodos de ajuste y de contraste.
- Obtención de las desviaciones cuadráticas medias producidas en cada uno de los 2 períodos.
- Contraste de las desviaciones cuadráticas obtenidas para ambos casos mediante la relación R:

$$R = S_c / S_a$$

Siendo:

$S_c$  = Desviación cuadrática media del período de contrastación.

$S_a$  = Desviación cuadrática media del período de ajuste.

- Obtención de la banda definida por:

$d = \pm 2,58 SA$  (banda de tolerancia)

Este valor resulta de adoptar la hipótesis de que los errores cometidos (diferencia entre las previsiones del modelo y las medidas reales) se distribuyen aleatoriamente según una función normal con desviación típica igual a la del período de ajuste (SA) y media cero. El valor  $\pm 2,58$  es el que corresponde al intervalo que contiene con probabilidad del 99% los valores del error, según esta función de distribución.

- Obtención del índice de tolerancia. Este índice es el porcentaje de valores del error comprendidos dentro de la banda anterior, para el período de contraste.

En resumen, cuando las desviaciones cuadráticas sean lo suficientemente pequeñas en ambos períodos (del orden del 10% o menores de la diferencia entre los valores máximos y mínimos de la variable de control) y la relación R definida sea cercana o inferior a 1, normalmente se podrá decir que el modelo conseguido es óptimo.

Como complemento, el índice de tolerancia aporta otra forma de medir la bondad del ajuste. Siempre que se cumplan las relaciones anteriores, un índice de tolerancia alto confirma la bondad del ajuste.

Al analizar este índice debe tenerse en cuenta la posibilidad de que existan situaciones excepcionales o infrecuentes que, sin ser alarmantes, responden a circunstancias que no han sido consideradas durante el período de ajuste por no haberse producido con la suficiente frecuencia durante éste o incluso a errores en la toma de datos.

Un índice de tolerancia cercano al 100% pone de manifiesto una respuesta de la variable de control durante el período de comprobación muy similar a la que tenía durante el período de ajuste y por tanto se puede decir que durante este período de comprobación el modelo es igualmente válido.

#### **A1.3.4 Estudio de tendencias**

Como complemento a la modelización, o cuando no es posible llegar a conseguir a un modelo adecuado, es conveniente el estudio de la tendencia en los valores acumulados en el tiempo.

Llamamos valores acumulados en el tiempo al resultado de restar a cada valor de la variable de control, el resultado de aplicar el modelo obtenido, exceptuando las funciones correspondientes al efecto irreversible.

Para el estudio de la tendencia se realiza un análisis de regresión lineal de la nube de puntos tomando varios intervalos de tiempo en los que se aprecia una tendencia estable o un único intervalo si dicha tendencia es uniforme en todo el período de tiempo.

Si llamamos  $t$  al tiempo cronológico transcurrido, correspondiente al valor acumulado en el tiempo en la fecha  $i$  desde la fecha origen, y  $P$  a dicho valor, la recta de regresión correspondiente al intervalo considerado será:

$$P = LRA + LRB \cdot t$$

Donde:

$$LRB = (n \cdot \sum P_i T_i - \sum P_i \sum T_i) / (n \cdot \sum T_i^2 - (\sum T_i)^2)$$

$$LRA = (\sum P - LRB \cdot \sum T_i) / n$$

$$n = N^{\circ} \text{ de datos del intervalo}$$

De aquí se obtiene también el coeficiente de correlación (CC) que oscila entre 0 y 1 y nos indica la mayor o menor influencia del paso del tiempo sobre los valores acumulados en el tiempo, según este sea mayor o menor. Su expresión es:

$$CC = (n \cdot \sum P_i T_i - \sum P_i \cdot \sum T_i) / (n \cdot \sum T_i^2 - (\sum T_i)^2 \cdot n \cdot \sum P_i^2 - (\sum P_i)^2)$$

Y el valor de  $X_{99}$ , definido como la semiapertura del intervalo que contiene con una probabilidad del 99% los puntos de la nube, el cual permite detectar fácilmente desviaciones importantes en el comportamiento de la variable de control.

$$X_{99} = 2,58 \cdot DT + M$$

Donde  $M$  es el valor medio de las diferencias entre los valores de las ordenadas de los puntos de la nube ( $P_i$ ) y el valor de la recta en la abscisa correspondiente ( $T_i$ ). Es decir, este valor de  $X_{99}$  es el que resulta de considerar la diferencia entre la recta y los puntos como una variable aleatoria que sigue una distribución normal de media  $M$  y desviación típica  $DT$ .

Por último, la deriva o tendencia buscada es la pendiente de la recta, es decir, el valor  $LRB$ , que expresado en unidades/año resulta:

Deriva =  $LRB \cdot n / 365$  (uds/año)

## **REFERENCIAS**

OFITECO, S.A. Ausmodel 2.0. Manual del Usuario, 1.996.

## **B.7. Anejo 7: VISITA A LA PRESA**

## VISITA A LA PRESA DE MAIDEVERA (08.09.2008)

### ASISTENTES

Sr. Ignacio Escuder Bueno

Sr. Luis García Kabbabe

Sr. Carlos Riera Planells

Sr. José Daniel Rosales Maniglia

Vigilante de la presa: Sr. Pedro Cabezas

### DATOS DE INTERÉS

Tipo: presa de de materiales sueltos, con núcleo vertical impermeable de arcilla, recubierto por filtros y protegidos por espaldones de escolleras.

Finalización de la presa: 1983.

Altura máxima de la presa: 53.50 metros.

Longitud de coronación: 317.50 metros.

Volumen de embalse (N.M.N.): 18.33 Hm<sup>3</sup>.

Cota de embalse en el día de la visita: 749.51 m.s.n.m.

### SISTEMA DE AUSCULTACIÓN EXISTENTE

*Variables exteriores:*

- Estación meteorológica.

- Medidor de nivel de embalse en torre de toma.

*Variables de control:*

- Control de desplazamientos verticales absolutos mediante células hidráulicas de asiento. De las 32 células hidráulicas de asiento (asentómetros hidráulicos), 29 están situadas en el cuerpo de presa principal y únicamente tres 3 están en el collado nº1.
- Control de presiones intersticiales. 3 piezómetros neumáticos (F3 no funciona) y 26 piezómetros de cuerda vibrante.
- Células neumáticas de presión total. En la presa de Maidevera se tienen 32 células neumáticas de presión. Están distribuidas de tal forma que 25 están situadas en el cuerpo de presa principal y 7 están en el collado nº1. Como se ha mencionado anteriormente, no hay equipos de auscultación en la presa del collado nº2.
- Control de filtraciones. 5 aforadores Thomson.
- Control topográfico de movimientos. Hay pilares para realizar campañas de colimación y nivelación.

El encargado de presa nos ha grabado en la memoria USB todos los datos de auscultación de los últimos meses.

## **OBSERVACIONES**

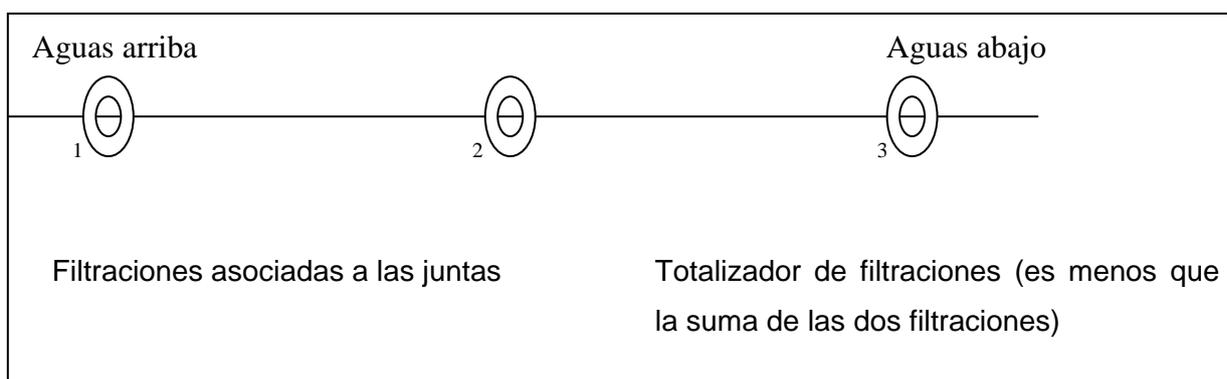
Los datos de auscultación en papel han sido recogidos, según nos ha explicado el vigilante de la presa, por Ofiteco Madrid, aunque nos comenta que han sido extraviados.

El pie de la presa no suele estar encharcado, por lo tanto, no se puede considerar peligroso. La vegetación de la presa no se debe a las filtraciones, sino al agua de la lluvia que allí se estanca.

Se observan asientos en la parte central de la presa y hacia el estribo izquierdo de ésta. En coronación se ven asientos de aproximadamente 25 centímetros.

No se aprecia colapso en las escolleras. Las farolas no marcan movimientos horizontales.

Hay filtraciones a través de dos de las juntas de la cámara de la tubería del desagüe de fondo y la toma, a la altura del contacto con el espaldón de aguas arriba.



Hay un tubo que parece conectado a la zanja de drenaje al pie de aguas abajo de la presa. El ingeniero Rosales tocó la tubería ya que le interesaba conocer la textura de ésta, lo cual provocó la salida continua de agua. Este hecho ha sorprendido al encargado de presa, que explicó que no veía salir tanta agua de allí desde hacía 20 años.

## **B.8. Anejo 8: DOCUMENTACIÓN RELATIVA A LA AUSCULTACIÓN**

## DOCUMENTACIÓN DISPONIBLE

1. Instalación de los equipos de auscultación durante la construcción de la Presa de Maidevera. (Empresa Auxini, 1982-1983).
2. Presa de Maidevera. Informe general de auscultación relativo al periodo comprendido entre octubre de 1985 y octubre de 1987. (Ofiteco, 1988).
3. Instalación de piezómetros en la zona del aliviadero en el estribo izquierdo (1990).
4. Documento XYZT de la Presa de Maidevera (2000).
5. Normas de explotación de la Presa de Maidevera (intecsa-inarsa, s.a.; diciembre de 2001).
6. Plan de emergencia de la Presa de Maidevera (intecsa-inarsa, s.a.; diciembre de 2001).
7. Acondicionamiento y Ampliación de los sistemas de Auscultación y Control de las Presas de Maidevera y Valdabra (2001).
8. Incorporación al SAIH del Sistema de Auscultación de la Presa de Maidevera (2002-2003).
9. Acondicionamiento y Ampliación del Sistema de Auscultación y Control de la Presa de Maidevera. Documentación Técnica. (Ofiteco; junio de 2003).
10. Proyecto de Acondicionamiento y Ampliación del Sistema de Auscultación y Control de la Presa de Maidevera. (Septiembre de 2004).

11. Acondicionamiento, ampliación, mejora y puesta en servicio del sistema de auscultación y control de las presas del embalse de Maidevera. Documentación Técnica. (Ofiteco; mayo de 2007).



## **Apéndice C**

### **Protocolo para el Análisis de Modos de Fallo en Sistemas Presa-Embalse**



# PROTOCOLO PARA EL ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO EN SISTEMAS PRESA-EMBALSE

Participante:	
Profesión:	
Cargo:	

Facilitador:	
Fecha:	
Lugar:	

## I. ÍNDICE

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
1.- Introducción	516
1.1.- Preámbulo	516
1.2.- Definiciones importantes	517
1.3.- Herramienta de ayuda para describir detalladamente Modos de Fallo	519
1.4.- Importancia de la Auscultación	519
2.- Ficha Técnica de la Presa	520
3.- Revisión y Análisis de la Información	521
4.- Propuesta Individual de Modos de Fallo	522
5.- Factores a Favor y en Contra de la Aparición de los Modos de Fallo Grupales	523
6.- Clasificación de Modos de Fallo Grupales	524
7.- Necesidades de Actuación sobre Modos de Fallo Grupales	525
8.- Necesidades de Reducción de Vulnerabilidad	526
9.- Notas y/o Comentarios	527

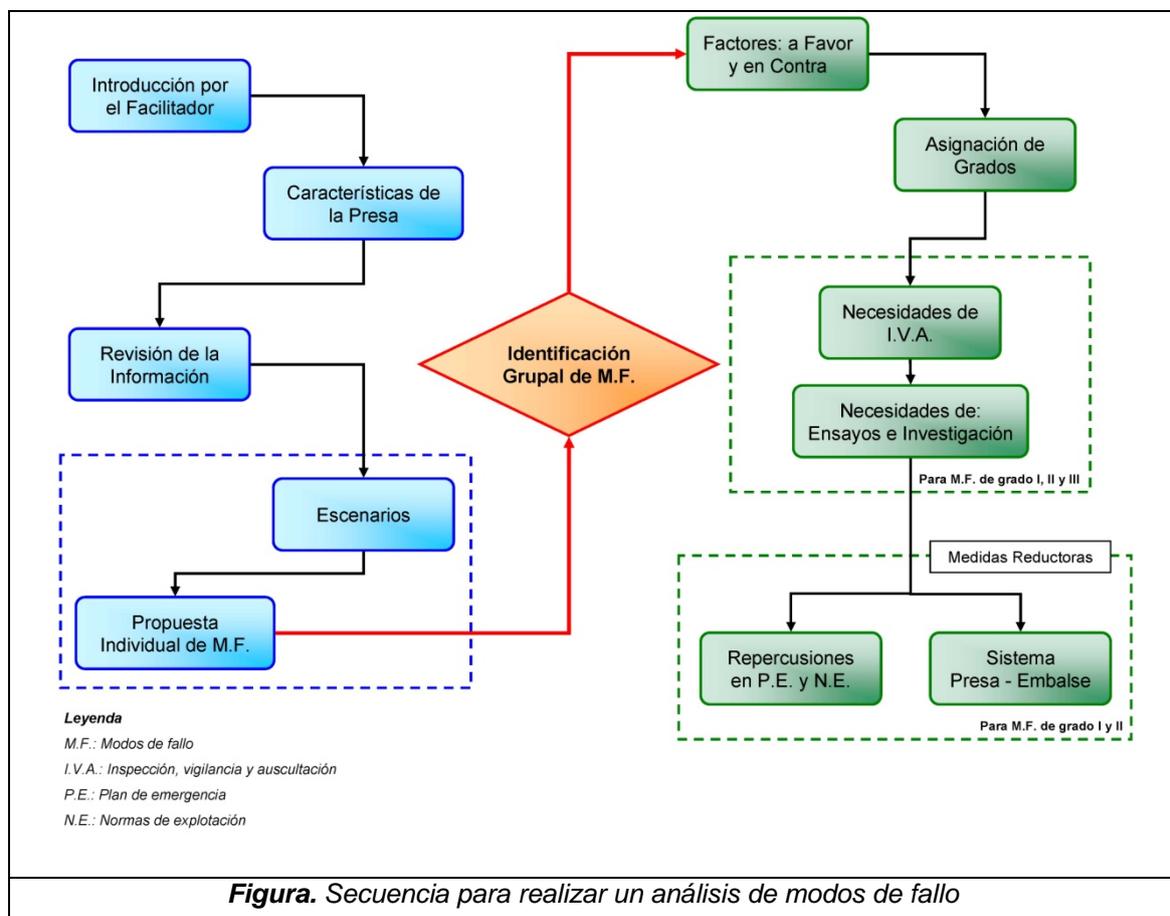
## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Preámbulo

El presente documento pretende servir de ayuda en las sesiones para la identificación, análisis y descripción detallada de los modos de fallo en un sistema presa-embalse.

La finalidad principal de este protocolo es guiar a los participantes, mediante el uso de planillas, en las pautas que se deben seguir para realizar dicho análisis.

En la siguiente figura se presenta un diagrama de flujo donde se muestra la secuencia de pasos para realizar mencionado análisis, cada una de las casillas expuestas corresponde a una planilla que debe ser rellenada de forma individual y posteriormente discutida en grupo.



## 1.2 Definiciones importantes

A continuación se definen algunos conceptos importantes que serán utilizados en el presente protocolo.

### **Modos de Fallo del Sistema Presa-Embalse**

Un modo de fallo constituye una secuencia particular de eventos que puede dar lugar a un funcionamiento inadecuado del sistema presa-embalse o una parte del mismo. Esta serie de sucesos debe estar asociada a un determinado escenario de sollicitación y tendrá una secuencia lógica; la cual constará de un evento inicial desencadenante, una serie de eventos de desarrollo o propagación y culminará por la rotura de la presa.

En principio, se analiza cualquier modo de fallo con potencial para producir un vertido incontrolado de caudales y, por tanto, con potencial para causar daños sobre la vida humana. Así mismo, el análisis de los modos de fallo no se ciñe exclusivamente a las estructuras de retención de un embalse, sino que tiene en cuenta cualquier infraestructura incluida en el sistema presa-embalse.

### **Escenarios de Sollicitación**

Se entiende por escenarios las fuerzas que pueden actuar sobre el sistema presa-embalse debido a sollicitaciones externas. De forma general suele definirse tres escenarios de sollicitación partiendo de: eventos de naturaleza hidrológica, eventos de naturaleza sísmica y condiciones de explotación normal del embalse; aunque no se descarta otras acciones naturales o antrópicas que puedan incidir sobre el correcto funcionamiento del sistema presa-embalse.

A continuación se describen los escenarios de sollicitación generales:

#### ***Escenario Hidrológico***

Se considera como tal, a toda avenida que aporte caudal al embalse, implicando ocasionalmente ciertos empujes hidrostáticos sobre la presa,

aumento de subpresiones o presiones intersticiales y sometiendo a diferentes grados de agotamiento la capacidad de los órganos de desagüe y aliviaderos.

### ***Escenario Sísmico***

Se considera como tal, al que se deriva de la ocurrencia de un sismo que somete a la presa y a sus estructuras anexas a un aumento de aceleraciones y frecuencias, a sobre presiones intersticiales y a sobre empujes dinámicos; es decir a variables diferentes a las del equilibrio estático.

Es importante mencionar que para el análisis se descarta la ocurrencia simultánea de un sismo y una avenida en vista que la probabilidad conjunta de ocurrencia es despreciable.

### ***Escenario Explotación Normal***

Se considera como tal, al que se deriva de la explotación ordinaria del embalse, incluyendo las operaciones rutinarias de explotación (variaciones en el nivel de agua), las operaciones de mantenimiento y las variaciones térmicas.

## **Evaluación cualitativa de Modos de Fallo.**

La evaluación cualitativa consiste en realizar un análisis para ponderar que modos de fallo resultan más o menos factibles que ocurran. Esta evaluación se realiza mediante la siguiente clasificación.

### ***Clasificación de los Modos de Fallo***

*Grado I:* Modos de fallo que claramente se consideren factibles al existir alguna condición o estado sintomático detectado, resultar la serie de eventos probables e implicar consecuencias potenciales importantes.

*Grado II:* Modos de rotura considerados igualmente factibles, aunque con menores posibilidades de ocurrir o consecuencias reducidas.

*Grado III:* Modos de fallo para los que la información disponible resulta, a todas luces, insuficiente aunque se estiman factibles y con consecuencias potenciales de magnitud elevada. Requieren una campaña de investigación urgente.

Grado IV: Modos de rotura descartados y cuya aparición no se considera razonable.

### **1.3 Herramienta de ayuda para describir detalladamente modos de fallo**

Como complemento al proceso de identificación de los Modos de Fallo, se incluye un cuadro orientativo de carácter general, con la finalidad de guiar al participante en la descripción detallada del mismo. La herramienta esta compuesta por las siguientes categorías:

Escenarios: que abarcan las solicitaciones que inciden sobre el sistema presa-embalse

Componentes y Sub-Componentes del Sistema Presa-Embalse: esta categoría identifica los elementos susceptibles a fallo donde se desencadena el mecanismo de rotura

Fenómenos de Inicio o Desarrollo, referidos a los procesos que definen claramente un MF.

Variables Auscultables más Influyentes e Instrumentos: Vinculan los fenómenos de Inicio o Desarrollo con el sistema de instrumentación.

Dicha herramienta se incluye en el Anexo N° 1.

### **1.4 Importancia de la Auscultación**

La auscultación resulta clave en la observación y diagnóstico del comportamiento de las presas, de esta manera ayuda en el establecimiento de un conjunto de umbrales preventivos para los diferentes controles durante la construcción y explotación; además constituye una herramienta importante para ayudar a detectar diversos modos de fallo.

El Anexo N° 2, muestra los tipos de auscultación, los instrumentos de medición y la finalidad de los mismos.

## 2. FICHA TÉCNICA DE LA PRESA

<b>Características de la Presa</b>			
<i>Tipo</i>		<i>Ancho de Coronación (m)</i>	
<i>Planta</i>		<i>Volumen de Fábrica (m<sup>3</sup>)</i>	
<i>Cota de Coronación (m.s.n.m.)</i>		<i>Número de Bermas Aguas Arriba</i>	
<i>Cota de Cimientos (m.s.n.m.)</i>		<i>Número de Bermas Aguas Abajo</i>	
<i>Cota de Cauce (m.s.n.m.)</i>		<i>Talud Aguas Arriba (H:V)</i>	
<i>Altura sobre Cimiento (m)</i>		<i>Talud Aguas Abajo (H:V)</i>	
<i>Altura sobre Cauce (m)</i>		<i>Geología de la Cerrada:</i>	
<i>Longitud de Coronación (m)</i>			

<b>Características del Embalse</b>			
<i>Nivel Máximo Normal NMN (m.s.n.m.)</i>		<i>Superficie de Cuenca vertiente (km<sup>2</sup>)</i>	
<i>Nivel de Avenida de Proyecto NAP (m.s.n.m.)</i>		<i>Superficie de Embalse a NMN (ha)</i>	
<i>Nivel de Avenida Extrema NAE (m.s.n.m.)</i>		<i>Volumen de Embalse a NMN (hm<sup>3</sup>)</i>	

<b>Características del Aliviadero</b>			
<i>Tipo</i>		<i>Vanos</i>	
<i>Situación</i>		<i>Caudal a NAP (m<sup>3</sup>/s)</i>	
<i>Perfil del vertedero</i>		<i>Elemento de Disipación de Energía:</i>	
<i>Longitud Total</i>			

<b>Características del Desagüe de Fondo</b>			
<i>Nº de Conductos</i>		<i>Caudal desaguado a NAP (m<sup>3</sup>/s)</i>	
<i>Dimensiones (mm)</i>		<i>Longitud Total (m)</i>	
<i>Cota de Solera en Embocadura (m.s.n.m.)</i>		<i>Órganos de Control:</i>	
<i>Cota de Solera en Salida (m.s.n.m.)</i>			

<b>Características de la Central Hidroeléctrica</b>			
<i>Nº de Conductos</i>		<i>Órganos de Control</i>	
<i>Dimensiones (mm)</i>		<i>Caudal desaguado a NAP (m<sup>3</sup>/s)</i>	
<i>Cota del Eje en Embocadura (m.s.n.m.)</i>		<i>Longitud Total (m)</i>	

<b>Otros</b>			



#### 4. PROPUESTA INDIVIDUAL DE MODOS DE FALLO

Proponer Modos de Fallo (MF), esquemas gráficos de los mismos y mencionar factores a favor y en contra de la aparición de los MF identificados.

El Anexo N° 1 presenta una herramienta de ayuda para la identificación de los MF.

a.) Propuesta Individual de Modo de Fallo	
Esquema Gráfico de Modo de Fallo	
Factores a Favor	Factores en Contra









