

GUÍAS TÉCNICAS DE SEGURIDAD DE PRESAS

AUSCULTACIÓN DE LAS PRESAS Y SUS CIMIENTOS



COLEGIO DE INGENIEROS DE
CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE
GRANDES PRESAS

GUÍAS TÉCNICAS DE SEGURIDAD DE PRESAS

**AUSCULTACIÓN DE LAS PRESAS
Y SUS CIMIENTOS**



COLEGIO DE INGENIEROS DE
CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE
GRANDES PRESAS

Foto portada: Presa de La Baells

Coedita:

Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

ISBN: 84-380-0277-3

Comité Nacional Español de Grandes Presas

ISBN: 84-89567-14-X

Depósito Legal: M-29768-2004

Imprime: *Gráficas Rito*

Arroyo Bueno, 2 - 28021 Madrid

PRESENTACIÓN

Después de casi treinta años de vigencia de la "Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de grandes presas" de 1967, con la que se proyectaron y construyeron más de la mitad de las grandes presas españolas, el Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente aprobó en el año 1996 el "Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses", con el que se ponían al día los conceptos y criterios sobre seguridad de presas, que habían evolucionado de manera muy significativa desde la mitad de la década de los años setenta. Este nuevo Reglamento, de aplicación aun parcial pero progresiva, presenta un enfoque global de la seguridad, y tiene un carácter más general y abierto que la anterior Instrucción, incidiendo más específicamente en los temas relativos a la gestión de la seguridad, y a la vigilancia e inspección de las presas. Por ello es necesario fijar los aspectos más técnicos relativos a la seguridad estructural hidrológica y sísmica, y los referentes a las distintas fases de puesta en carga, construcción y explotación, en otro tipo de publicaciones, como son estas Guías Técnicas que elabora el Comité Nacional Español de Grandes Presas, y que son un complemento esencial y necesario del Reglamento.

En estas Guías Técnicas del Reglamento se presenta el estado del arte en los diversos aspectos relativos a la seguridad de las presas, y se dan unas recomendaciones para la evaluación y consecución de los objetivos de seguridad. Hasta la actualidad el Comité Nacional Español de Grandes Presas ha publicado las Guías Técnicas de Seguridad referentes a la Avenida de Proyecto, Aliviaderos y Desagües, Construcción de Presas y Control de Calidad, Estudios Geológicos-Geotécnicos y de Prospección de Materiales, y Criterios para Proyectos de Presas y sus obras anejas (Tomo1). Ahora publicamos la Guía nº 7, AUSCULTACIÓN DE LAS PRESAS Y SUS CIMIENTOS, que ha sido elaborada bajo la dirección del Ing. D. Ángel Pérez Saiz, al que al igual que a sus colaboradores, el Comité Nacional Español le agradece el esfuerzo y entusiasmo que ha dedicado en su redacción. Igualmente quiero agradecer al Comité de Guías los trabajos de revisión y coordinación, que han dado lugar a esta versión final, aprobada por el Pleno del Comité. Con el esfuerzo de todos hemos conseguido publicar una nueva Guía de Seguridad del Reglamento, y así cumplir con nuestro objetivo de mejorar la tecnología española en el campo de las presas.

Con la presente Guía se continúa la publicación de las Guías Técnicas del Reglamento de Seguridad de Presas y Embalses con la colaboración del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, lo que supone un soporte técnico y de difusión, al que el Comité expresa su más sincero agradecimiento.

Finalmente mi agradecimiento a la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas del Ministerio de Medio Ambiente por su colaboración en esta tarea común de completar el Reglamento con unas Guías Técnicas de Seguridad de Presas.

L. Berga

Presidente del Comité Nacional Español de Grandes Presas

PRÓLOGO

La Guía Técnica sobre la “Auscultación de las Presas y sus cimientos”, parte de la necesidad de ampliar el contenido, necesariamente conciso, del Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses aprobado por O.M. de 12 de marzo de 1996 que regula todas las actividades implicadas en la fase de proyecto, construcción, puesta en carga, explotación y puesta fuera de servicio de una presa.

Esta guía que contempla tanto lo que se refiere a aspectos generales como a técnicos específicos, e incluye algunos ejemplos de aplicación, se ha desarrollado considerando las mediciones que son prácticamente comunes a todas las presas, y aquellas que son específicas de las presas de materiales sueltos, las de hormigón y dentro de cada una de ellas, los aspectos relativos a los sistemas de auscultación, sensores, toma de datos, análisis, interpretación y redacción de informes.

Hay que señalar que a la redacción inicial de esta guía, realizada con la colaboración del Prof. Ing. D. Guillermo Bravo y el Ing. D. Jesús Gómez Arruche, se le han añadido los comentarios hechos por el Ing. D. Francisco Blázquez y los miembros del Comité de Guías creado dentro del Comité Nacional Español de Grandes Presas.

A todos ellos nuestro reconocimiento en nombre de los Ingenieros Españoles preocupados por las presas y su seguridad.

Ing. Ángel Pérez Saiz
Presidente del Comité Técnico de Auscultación

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	3
PRÓLOGO	5
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Finalidad y alcance de esta GUÍA	11
1.2. Objetivos de auscultación	12
1.3. Vigilancia, auscultación y seguridad de las presas	13
1.4. La auscultación de las distintas fases de las presas	13
1.5. Auscultación de presas antiguas	14
2. SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN	17
2.1. Criterios y recomendaciones generales para el proyecto, instalación y mantenimiento de los sistemas de auscultación	17
2.1.1. El Proyecto de Auscultación	18
2.2. Magnitudes a medir	21
2.2.1. Variables de control externo (magnitudes de causa)	21
2.2.2. Variables de control interno (magnitudes de efecto)	21
2.2.2.1. En presas de hormigón	21
2.2.2.2. En presas de materiales sueltos	22
2.3. Clasificación y selección de métodos, aparatos y sensores. Centrales de lectura y automatización de la toma de lecturas	23
3. AUSCULTACIÓN DE LAS PRESAS Y SU CIMENTACIÓN	25
3.1. Generalidades	25
3.2. Auscultación de las Cimentaciones de Presas	25
3.3. Presas de hormigón	28
3.3.1. Criterios generales	28
3.3.2. Magnitudes a medir. Puntos de medición	29
3.3.3. Auscultación de las presas de gravedad	31
3.3.4. Auscultación de las presas de arco-gravedad y bóveda	31
3.3.4.1. Generalidades	31
3.3.4.2. Control de juntas de construcción	32
3.3.4.3. Control y determinación de los estados tensionales de la estructura. Esfuerzos transmitidos al cimiento	32
3.3.5. Auscultación de las presas de hormigón antes del inicio de la construcción	32
3.3.6. Auscultación de las presas de hormigón durante su construcción	32
3.3.7. Auscultación de las presas de hormigón durante su puesta en carga	33
3.3.8. Auscultación de las presas de hormigón en la fase de explotación	34
3.4. Auscultación de las presas de materiales sueltos y su cimentación	34
3.4.1. Criterios generales. Magnitudes a medir. Puntos de medición	34
3.4.2. Auscultación de las presas de materiales sueltos antes del inicio de la construcción	38
3.4.3. Auscultación de las presas de materiales sueltos durante su construcción	38

3.4.4. Auscultación de las presas de materiales sueltos durante su puesta en carga	39
3.4.5. Auscultación de las presas de materiales sueltos durante la explotación	39
4.- CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LOS SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN	43
4.1. Generalidades	43
4.2. Medición de las variables exteriores (magnitudes de causa) comunes a todas las presas	43
4.2.1. Variables a medir	43
4.2.2. Auscultación meteorológica y ambiental	43
4.2.3. Auscultación del nivel de agua	44
4.2.4. Auscultación hidráulica e hidrológica	44
4.2.4.1. Caudales	44
4.2.4.2. Niveles freáticos en las laderas	44
4.2.5. Temperaturas del agua del embalse	45
4.2.6. Sismicidad natural e inducida	45
4.2.6.1. Medida de velocidades	45
4.3. Medición de variables internas (magnitudes de efecto) en presas de hormigón y su cimiento	45
4.3.1. Generalidades	45
4.3.2. Criterios generales	46
4.3.2.1. Auscultación deformacional	46
4.3.2.2. Auscultación térmica	48
4.3.2.3. Auscultación volumétrica	48
4.3.2.4. Auscultación tensional	49
4.3.2.5. Auscultación hidráulica	49
4.3.2.6. Medida de aceleración y/o desplazamientos	50
4.3.2.7. Medida de emisiones acústicas	50
4.3.3. Mediciones específicas de presas construidas con hormigón compactado HCR	50
4.3.4. Controles específicos de las presas de gravedad aligerada y de contrafuertes	52
4.3.5. Controles específicos en presas arco-gravedad y bóveda	52
4.4. Medición de variables internas (magnitudes de efecto) en presas de materiales sueltos y sus cimientos	54
4.4.1. Generalidades	54
4.4.2. Variables de Control interno (magnitudes de efecto)	54
4.4.3. Presas con núcleo impermeable	54
4.4.4. Presas con pantalla de impermeabilización	55
4.4.5. Criterios generales	56
4.4.5.1. Auscultación hidrológica e hidráulica	56
4.4.5.1.1. Caudales y filtraciones	56
4.4.5.1.2. Presiones intersticiales y niveles freáticos	56
4.4.5.2. Auscultación deformacional (presa y cimientos)	57
4.4.5.2.1. Desplazamientos horizontales	57
4.4.5.2.2. Desplazamientos verticales	58
4.4.5.2.3. Deformaciones diferenciales	58

4.4.5.2.4. Deformaciones de pantallas impermeables	59
4.4.5.2.5. Movimientos de juntas de pantallas de hormigón	59
4.4.5.3. Control de cargas	59
4.4.5.4. Auscultación sísmica	59
5. AUSCULTACIÓN DE PRESAS ANTIGUAS Y SU CIMENTACIÓN	61
5.1. Generalidades	61
5.2. Presas de fábrica	62
5.3. Presas de materiales sueltos	62
5.4. Envejecimiento y deterioro	63
5.5. Recrecimiento y refuerzo de presas	67
6. AUSCULTACIÓN DE LADERAS	69
6.1. Generalidades	69
6.2. Hidráulica	70
6.3. Deformacional	71
7. ADQUISICIÓN Y PROCESO DE DATOS	73
7.1. La toma de datos	73
7.2. Métodos de adquisición, medición manual y automática	73
7.3. Inspección visual	78
7.3.1. Visitas detalladas	78
7.3.2. Tomas fotográficas	79
8. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	81
8.1. Criterios generales	81
8.1.1. Durante la construcción	82
8.1.2. Durante la puesta en carga	83
8.1.3. Durante la explotación	83
8.2. Informes a realizar. Contenido de los mismos	84
8.2.1. Contenido de cada informe	84
8.2.2. Informes durante la puesta en carga	84
8.2.3. Informe anual de explotación	85
8.2.4. Informes parciales	85
8.3. Estudio de comportamiento de la presa. Modelos	85
8.3.1. Generalidades	85
9. ORGANIZACIÓN Y FORMACIÓN DE PERSONAL	87
ANEJO N° 1: SENSORES Y APARATOS DE AUSCULTACIÓN	89
ANEJO N° 2: EJEMPLOS DE PRESAS INSTRUMENTADAS	109
ANEJO N° 3: BIBLIOGRAFÍA SOBRE AUSCULTACIÓN DE PRESAS	157

1.

INTRODUCCIÓN

1.1. FINALIDAD Y ALCANCE DE ESTA GUÍA

El nuevo "Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses", aprobado por O.M. de 12 de marzo de 1996, dedica la sección tercera de su capítulo IV a la explotación, estableciendo en el artículo 29.1 que la finalidad de la presa es su explotación y que, por tanto, todas las actuaciones de proyecto y construcción deben ir orientadas a este fin.

En sucesivos artículos de este capítulo del Reglamento se expone la necesidad de contar, además de con las Memorias de Construcción y de Puesta en carga de la Presa, que deben incorporarse al Archivo Técnico de la Presa una vez autorizada su entrada en explotación, con los siguientes documentos, debidamente aprobados:

- El Plan de Emergencia de la Presa en aquellas que, en función de su riesgo potencial hayan sido clasificadas en los grupos de riesgo A o B.
- Las Normas de Explotación, que han de incluir necesariamente las de Seguridad para la Presa y el embalse, y que como mínimo deberán contener los siguientes extremos:

- Programa normal de embalses y desembalses.
- Resguardos mínimos estacionales
- Actuaciones específicas en caso de avenidas.
- Programa de auscultación e inspecciones periódicas.
- Programas de mantenimiento y conservación.
- Sistema de preaviso en desembalses normales.
- Estrategia a seguir en situaciones extraordinarias.
- Sistemas de alarma.

Además, el titular viene obligado a encargar periódicamente a un equipo técnico (especializado y distinto del equipo de explotación) una revisión y análisis general de la seguridad de la presa y del embalse.

Vemos pues que, dentro de la organización general del Control de la Seguridad de las Presas y Embalses, que es un concepto mucho más amplio, tiene un importante papel el Programa de auscultación, importancia que se destaca en los artículos 5.2, 5.3, 5.5, 5.8,6, 21, 29, 30 y apartados 33.1 y 33.2 del artículo 33 del Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses. Estos dos apartados se detallan a continuación.

33.1. *Dentro de las Normas de Explotación existirá un Plan coordinado de auscultación e inspecciones periódicas de la presa y el embalse orientado a la comprobación de su seguridad y estado de funcionamiento. El Plan señalará el alcance y periodicidad de las inspecciones, así como la composición del equipo encargado de la toma de datos del sistema de auscultación, indicando la frecuencia de lectura de cada aparato, las especificaciones relativas a la recogida y procesado de la información y el método para su interpretación.*

33.2. *El Director de explotación redactará un informe anual en el que recogerá los resultados de las inspecciones realizadas y de la auscultación, identificará las deficiencias observadas y propondrá las acciones de corrección oportunas. Este informe se incorporará al Archivo Técnico de la presa.*

En el caso de las presas de categoría A, este informe deberá ser enviado por el titular a la Administración, que en el ejercicio de las funciones de Vigilancia e Inspección realizará las observaciones y propuestas que estime pertinentes.

Este Reglamento marco de referencia para que las presas españolas se proyecten, construyan y exploten con seguridad, se está complementando con unas guías técnicas que dan unas RECOMENDACIONES para la aplicación del reglamento y que además ayuden a los Ingenieros responsables a conocer las ideas básicas y el estado del arte de una serie de temas, entre ellos los que se incluyen en esta Guía Técnica nº 7 sobre la auscultación de las presas y sus cimientos.

En resumen esta Guía Técnica de Auscultación, pretende dar a conocer las ideas básicas que deben regular esta actividad. Su aplicación y sus recomendaciones se consideran como una herramienta útil, que formando parte del conjunto de normas de control y vigilancia, ayude a profundizar en el conocimiento de la seguridad de cada presa en particular, y de ahí su interés e importancia.

1.2. OBJETIVOS DE AUSCULTACIÓN

Entenderemos como Auscultación el "*Conjunto de actividades destinadas a conocer el comportamiento real de una presa, durante una determinada época o a lo largo de toda su vida útil, que se llevan a cabo mediante técnicas especiales de medición, con aparatos o sensores determinados y que, con un posterior proceso de depuración y análisis de los datos obtenidos, permiten profundizar en la seguridad global de una presa*". Asimismo se incluye en la auscultación la observación de determinados aspectos no medibles: como estado del terreno

aguas abajo (vegetación, erosiones) humedades o fisuras en paramentos, color del agua filtrada, estado de conservación de los aparatos de auscultación, accesos, medios de comunicación etc.

La auscultación de una presa y su cimiento deben de tener como fin último alcanzar todos o algunos de los objetivos siguientes:

- Prevenir con suficiente antelación, y por tanto evitar, que una situación futura pueda acarrear roturas, accidentes e incidencias no deseadas.
- Controlar ciertos parámetros que tengan una influencia importante en el comportamiento y seguridad de la presa.
- Reducir las incertidumbres sobre las hipótesis simplistas realizadas, de forma que pueda aumentar la confianza sobre el comportamiento futuro.
- Economizar, o al menos racionalizar, la construcción y/o explotación partiendo de datos reales medidos "in situ".
- Conocer, desde una información real, el comportamiento satisfactorio o no de la presa construida o en explotación.

Cada uno de estos cinco objetivos, y por supuesto el conjunto, hacen bien patente la necesidad de Auscultar las presas y sus cimientos siendo la finalidad de esta Guía Técnica ayudar a su consecución, recomendando los criterios técnicos que han de seguirse a la hora de implantar una auscultación, distribuir los sensores tanto en la estructura como en el cimiento, definir su número y características.

1.3. VIGILANCIA, AUSCULTACIÓN Y SEGURIDAD DE LAS PRESAS

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.

Una auscultación adecuada permite, además de cumplir su fin principal de conocer el estado de seguridad de la Presa evitando accidentes, obtener informaciones que enriquecen el conocimiento sobre el comportamiento real de las obras y a fin de cuentas, afinar las técnicas experimentales y los métodos de cálculo para lograr una concepción mejor y más segura de las presas futuras.

1.4. LA AUSCULTACIÓN DE LAS DISTINTAS FASES DE LAS PRESAS

La auscultación de una presa no debe ceñirse a una fase concreta de la obra, sino abarcar todo un período amplio, que va desde el momento que se inicia la construcción hasta que finaliza su vida activa.

De esta forma, las fases que siempre deben considerarse son:

1ª Auscultación a realizar durante los estudios previos y el proyecto.

2ª Idem durante la construcción.

3ª Idem durante la primera puesta en carga.

4ª Idem durante la explotación.

5ª Idem durante el abandono.

En cada una de ellas, la auscultación tendrá unas características propias que habrá que estudiar según se indica en los capítulos siguientes, pero todas forman un conjunto único de lo que es la auscultación de una presa y sus cimientos.

Los estudios y reconocimientos durante el Proyecto facilitarán información para la preparación del proyecto de Auscultación.

En la fase de construcción, algunos equipos de la auscultación se puede utilizar como una herramienta más del control de calidad.

En la puesta en carga, que puede ser la fase mas delicada, el programa de llenado se ajusta partiendo de la información básica, suministrada por los equipos instalados, así como de los resultados de los ensayos de laboratorio realizados en los materiales realmente colocados y en los ensayos de campo y, por supuesto, de los problemas generales de la presa y el nivel de riesgo aguas abajo.

Durante la explotación, toda la información anteriormente obtenida debe servir para fijar el comportamiento esperado en el tiempo, las magnitudes de control más importantes y frecuentes, los valores máximos admisibles, las velocidades estimadas de evolución, todo ello con objeto de fijar los cuidados a tener durante esta fase.

1.5. AUSCULTACIÓN DE PRESAS ANTIGUAS

A medida que pasa el tiempo es mayor el número de presas antiguas que han sido construidas con criterios distintos de los que se admiten en el momento presente, (que en gran parte han quedado obsoletos) o bien presas que no se dotaron de equipos de auscultación.

La auscultación de presas antiguas tiene el inconveniente de que, en general, los aparatos, para que puedan ser instalados en el cuerpo de la presa, necesitan la ejecución de taladros e incluso de obras auxiliares importantes, como pueden ser galerías de acceso. La ventaja de estas obras es que además de ayudar a la implantación de una instrumentación adecuada a la problemática que se desea controlar, permitan la instalación de otros equipos necesarios como pueden ser válvulas de desagüe y/o tomas y ayuden a la ejecución de tratamientos que mejoren la seguridad de la presa.

Por ello, para la auscultación de presas antiguas se dedica un apartado específico y diferenciado del resto.

En el proyecto de actualización de los dispositivos de auscultación de una presa antigua, debe analizarse con detenimiento su historia, ya que ciertas incertidumbres que podrían existir antes de la construcción de una presa, y que obligan a disponer de determinados equipos de control, pueden no serlo en presas antiguas, con un comportamiento satisfactorio durante años. Por tanto la auscultación de una presa antigua se debe basar en el análisis detallado de la evolución en el tiempo y en los reconocimientos que se practiquen.

2.

SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN

2.1. CRITERIOS Y RECOMENDACIONES GENERALES PARA EL PROYECTO, INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN

El desarrollo de este análisis parte de las normas básicas siguientes:

- 1^a) Cada presa es un conjunto único e indisoluble, constituido por la estructura y su cimiento.
- 2^a) La finalidad fundamental del sistema de auscultación es la seguridad de una presa.
- 3^a) Cada sensor que se coloque debe suministrar datos que ayuden a la interpretación del conjunto y como tal debe preverse.
- 4^a) La altura de la presa no es el único parámetro que fija la importancia de la auscultación. Esta debe venir regulada fundamentalmente por las características del cimiento, por la calidad de los materiales a usar y por la experiencia obtenida en precedentes similares.
- 5^a) Los sensores han de ser leídos inmediatamente después de colocados y con un programa previamente establecido.
- 6^a) Algunos parámetros deben obtenerse por sistemas redundantes (Por ejemplo: Desplazamientos en estructuras de fábrica, comportamiento hidráulico del cimiento etc.)
- 7^a) No se deben instalar sensores cuya función no esté claramente definida.
- 8^a) Hay que tener siempre presente, como ya se ha indicado al definir lo que es la auscultación, que ésta no consiste solo en instalar sensores, sino en leerlos debidamente

y con un programa previamente definido, procesar su información, analizarla e interpretarla y emitir un diagnóstico fiable sobre su comportamiento y estado de seguridad.

2.1.1. El Proyecto de Auscultación

Esta es una fase importante de la auscultación ya que, aunque después se pueda y deba ajustar de acuerdo con los problemas y cambios que vayan surgiendo, la metodología implantada en esta fase marcará todo el proceso posterior.

El proyecto de cualquier auscultación debe ser realizado por un Ingeniero cualificado que forme parte del equipo técnico responsable del proyecto de la presa, el cual, tendrá un conocimiento global y completo de los problemas relacionados con ella.

Por tanto la realización del proyecto de Auscultación es una parte del proyecto de la presa y consta de dos fases.

- 1º) Determinar “qué” magnitudes o parámetros deben considerarse para tener un conocimiento claro, en todo momento del estado de seguridad de la Presa.
- 2º) Determinar “cómo” se deben controlar estas magnitudes o parámetros.

En la determinación de los parámetros o magnitudes que deben medirse, es fundamental conocer profundamente las características de la presa y su cimentación, sus condiciones y accidentes particulares que introducen una diferenciación de la auscultación requerida por otras presas de similar tipología. Por este motivo, esta parte del proyecto debe ser dirigido y coordinado por el Ingeniero Director del Proyecto de la Presa.

Con estos criterios previos se diseñará un Proyecto Inicial de Auscultación en el que habrá que tomar las siguientes decisiones sucesivas:

- 1.a) Selección y clasificación, según su importancia, de los tipos de observaciones necesarios.
- 1.b) Definición de la ubicación y distribución de las observaciones a realizar.
- 1.c) Definición del período de tiempo en el que se deberán realizar las observaciones.
- 1.d) Selección de los métodos de auscultación.
- 1.e) Selección de los sensores y equipos adecuados para satisfacer las exigencias anteriores.
- 1.f) Estimación primera del coste tanto de los equipos, como de instalaciones y obra civil auxiliar.

Como resultado de todo lo anterior podremos disponer ya de un Proyecto inicial de los sistemas de auscultación con prescripciones y presupuestos.

Al mismo tiempo, deberá realizarse un estudio de los sistemas de auscultación en presas similares existentes y de las posibilidades y dificultades de suministro de los equipos seleccionados.

Con todo ello se pasará a la redacción del Proyecto Final de Auscultación. Ésta tendrá las siguientes fases:

- 2.a) Confirmación y ajuste de todas y cada una de las decisiones del proyecto previo.
- 2.b) Definición completa de los procedimientos y programas de auscultación.

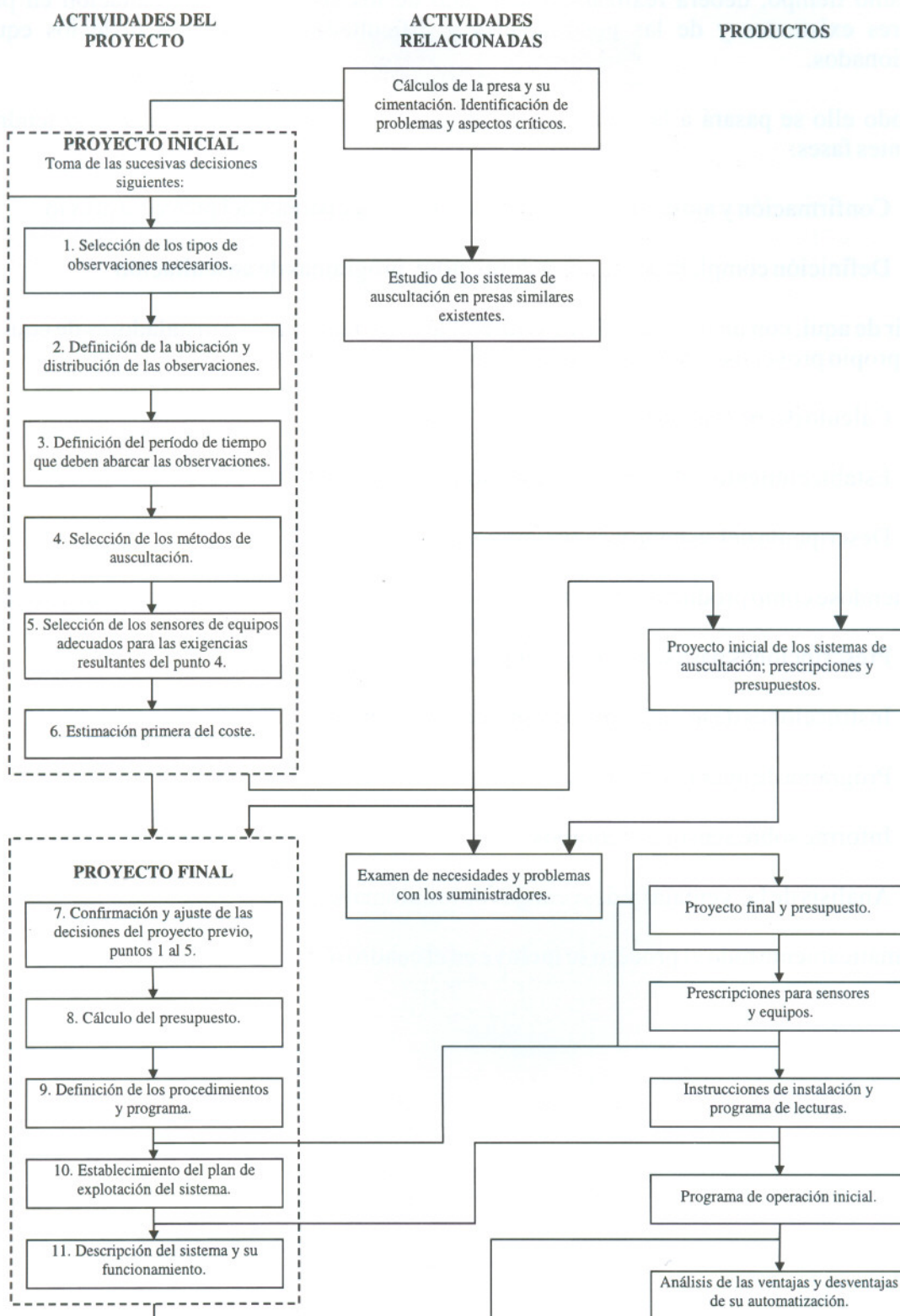
A partir de aquí, con un intercambio de información con fabricantes e instaladores de equipos y con el propio proyectista de la estructura, habrá que continuar:

- 2.c) Cálculo del presupuesto.
- 2.d) Establecimiento del Plan de Explotación del Sistema.
- 2.e) Descripción del sistema y de su funcionamiento.

Obteniéndose como producto final, el Proyecto Final de Auscultación en el que han de figurar:

- i) Prescripciones para sensores y equipos.
- ii) Instrucciones de instalación y programas de lecturas.
- iii) Programa de operación inicial.
- iv) Informe sobre sensores y equipos.
- v) Análisis de las ventajas y desventajas de la automatización

Esquemáticamente todo el proceso se incluye en el cuadro nº 1.



Cuadro 1. Proyecto de los sistemas de auscultación

2.2. MAGNITUDES A MEDIR

Las magnitudes a medir se dividen usualmente en variables de control externo o interno de la presa.

2.2.1. Variables de control externo (magnitudes de causa)

En la planificación del sistema de auscultación de la presa se incluirán las principales variables externas que pueden influir de una forma significativa en su comportamiento. Las principales variables de control externo a considerar en la planificación de todas las presas se recomiendan sean las siguientes:

- Meteorológicas y ambientales.
 - . Temperaturas en el aire.
 - . Temperaturas en el agua del embalse.
 - . Precipitaciones de lluvias y nieve.
 - . Viento.
- Hidráulicas (carga hidrostática).
 - . Nivel del embalse.
- Dinámicas (sismicidad inducida y ambiental).
 - . Velocidades.

2.2.2. Variables de control interno (magnitudes de efecto)

2.2.2.1. En presas de hormigón

Las principales magnitudes que generalmente se miden en las presas de hormigón para conocer la respuesta de la presa en su conjunto ante las acciones externas son:

- Hidráulicas.
 - . Filtraciones recogidas en las galerías de la presa.
 - . Filtraciones aguas abajo de la presa.
 - . Subpresiones y niveles piezométricos.
- Deformacionales (estructura y cimiento).
 - . Desplazamientos absolutos horizontales y verticales.
 - . Desplazamientos relativos entre bloques y zonas claramente diferenciadas (estructura y cimiento, etc.).
 - . Movimientos en juntas y fisuras.
 - . Giros.
 - . Movimientos y deformaciones en fallas y otros accidentes geológicos.
 - . Deformaciones en el hormigón
- Térmicas.
 - . Temperaturas internas en el hormigón.
 - . Temperaturas en los paramentos de la presa, de aguas arriba y de aguas abajo.

- Tensionales.
 - . Tensiones en la estructura y esfuerzos transmitidos al cimiento.
- Volumétricas.
 - . Cambios volumétricos del hormigón (expansión y/o retracción).
- Dinámicos (efectos sísmicos en estructura y cimiento).
 - . Aceleraciones.
 - . Desplazamientos.

2.2.2.2. En presas de materiales sueltos

En este tipo de presas, las magnitudes que generalmente se miden son:

- Hidráulicas.
 - . Filtraciones recogidas en las galerías de la presa.
 - . Filtraciones aguas abajo de la presa.
 - . Presiones intersticiales en núcleos impermeables.
 - . Presiones intersticiales en filtros y manto drenante de aguas abajo.
 - . Presiones intersticiales en filtros de disipación de presiones.
 - . Niveles piezométricos en el contacto de núcleos impermeables con la cimentación.
 - . Niveles piezométricos en la cimentación.
- Deformacionales.
 - . Desplazamientos horizontales y verticales absolutos y relativos.
 - . Deformaciones diferenciales entre núcleo y espaldones.
 - . Deformaciones diferenciales en contactos núcleo-estribos en zonas de fuerte pendiente.
 - . Deformaciones verticales y horizontales.
 - . Deformaciones de la cimentación.
 - . Movimientos y deformaciones en fallas y otros accidentes geológicos.
 - . Deformaciones de la pantalla impermeable (si existe).
 - . Movimientos de las juntas entre pantalla de hormigón-plinto soporte.
 - . Movimientos de las juntas del plinto.
 - . Movimientos en núcleos de productos asfálticos.
- De cargas.
 - . Presiones totales en núcleo.
 - . Presiones efectivas en núcleo.
 - . Empuje efectivo en zonas de contacto de núcleo con aliviadero o en zonas singulares.
- Tensiones en pantallas de hormigón.
 - . Tensiones en la pantalla y zonas de empotramiento.

2.3. CLASIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE MÉTODOS, APARATOS Y SENSORES. CENTRALES DE LECTURA Y AUTOMATIZACIÓN DE LA TOMA DE LECTURAS.

Como se describirá más adelante, existe una gran variedad de métodos de auscultación, que deben aplicarse en función de las necesidades de cada caso concreto.

Igualmente, dentro de cada método pueden utilizarse distintos aparatos en función, normalmente, del rango, sensibilidad y precisión de las medidas que se necesiten.

Para seleccionar, en cada caso concreto, los equipos más adecuados se ha preparado el Anejo N° 1. "SENSORES Y APARATOS DE AUSCULTACIÓN" donde se hace una reseña de los principales tipos de aparatos y sensores más utilizados, su posible centralización para la toma de lecturas, las ventajas e inconvenientes de su automatización así como el tipo y número de sensores a automatizar si se considera beneficiosa su automatización.

3.

AUSCULTACIÓN DE LAS PRESAS Y SU CIMENTACIÓN

3.1. GENERALIDADES

Las presas constituyen una unidad con su terreno de cimentación, produciéndose entre los dos múltiples interacciones, que obligan a considerar su conjunto de una forma unitaria en cualquier problema que se pueda presentar tanto en los estudios, como durante construcción y el resto de la vida de la presa.

Sin embargo las técnicas de auscultación presentan algunas diferencias, por lo que pasamos a exponerlas sucesivamente.

Los conceptos de precisión, sensibilidad, rango etc que se indican en los cuadros incluidos en esta apartado se definen en el Anejo nº 1.

3.2. AUSCULTACIÓN DE LAS CIMENTACIONES DE PRESAS

La auscultación de cimentaciones de presas, sean difíciles o no, fijando su dificultad en función del comportamiento que deseamos y esperamos de este cimiento, es importante por varias razones:

- 1.- La construcción de la estructura somete al cimiento a esfuerzos que, a lo largo de su proceso geológico de formación, nunca han soportado y, por tanto, en la fase de proyecto es difícil estimar su reacción y, para conocerla, debemos recurrir a técnicas experimentales.
- 2.- La auscultación de la cimentación no trata de obtener información sobre el comportamiento de materiales cuyo proceso de colocación definimos y controlamos nosotros mismos, sino de medios muy heterogéneos.

- 3.- Durante la construcción, a estas cimentaciones se las somete a nuevos procesos como la excavación (por muy cuidadosa que sea), las inyecciones de consolidación e impermeabilización, la apertura de drenes, etc., que vuelven a alterar las condiciones iniciales.
- 4.- Para obtener cualquier dato en la cimentación, debemos, en general, perforar y por tanto volver a alterar, en mayor o menor medida, zonas del cimiento que deseamos controlar. Por ello, este control debe planificarse cuidadosamente y con bastante antelación, con objeto de que esa posible alteración se haya estabilizado en el momento de realizar la toma de datos.

Estas cuatro razones indican que, en las cimentaciones, la auscultación es una técnica muy delicada e importante que hay que estudiar en la fase de proyecto y, por supuesto, en las fases siguientes: construcción, puesta en carga y posterior explotación.

La auscultación en la fase de proyecto, (independientemente de los ensayos, toma de datos y pruebas, que se puedan realizar "in situ"), no sólo está justificada en el caso de laderas inestables, cimentaciones deformables, o en presas ubicadas en zonas de sismicidad alta según NSCE-94, sino en todas aquellas en que, por la importancia de los esfuerzos futuros a los que van a ser sometidas las cimentaciones, se inducirán cambios en sus condiciones iniciales que aconsejen este control.

Durante la construcción, puesta en carga y explotación, esta auscultación generalmente debe ir dirigida a obtener información sobre los siguientes aspectos:

- 1º) El conocimiento, lo más detallado posible de la deformabilidad puntual y global del cimiento y diferencial de estructuras o formaciones rocosas concretas a medida que se va construyendo la presa y por tanto cargando el cimiento.
- 2º) Los cambios de la permeabilidad del cimiento y por lo tanto a la relación presión intersticial-filtración.
- 3º) La relación entre los esfuerzos transmitidos al cimiento y los movimientos diferenciales que se puedan producir en los labios de una falla o unas diaclasas y, por tanto, puedan indicar un agotamiento de la resistencia al corte en planos preferenciales.
- 4º) Las filtraciones que puedan acarrear erosiones en el cimiento y especialmente en zonas próximas a los paramentos de aguas abajo.

Como ilustración de esta auscultación, en el Cuadro nº 2, se incluye información resumida de los sistemas de auscultación y sensores que normalmente se implantan para controlar con cierta eficacia la cimentación de una presa donde se indican además su precisión, sensibilidad y rangos recomendados.

SISTEMA O TIPO DE AUSCULTACIÓN	PARÁMETRO O MAGNITUD QUE SUMINISTRA	SENSOR O ELEMENTO DE MEDICIÓN	PRECISIÓN, SENSIBILIDAD Y RANGO MÍNIMO		
			P	S	R
HIDRÁULICA	Caudal effluente	Estaciones de aforo y curvas de gasto	SN	SN	SN
	Caudal evacuado	Idem	SN	SN	SN
	Filtraciones	Aforo y/o caudalímetro	$\pm 1/100 R$	$1/100 R$	SN
	Subpresiones o presiones intersticiales	Piezómetro cerrado	$\pm 1/800 R$	$1/800 R$	SN
	Niveles piezométricos	Piezómetro abierto	$\pm 5 \text{ mm. c.a.}$	$2,5 \text{ mm. c.a.}$	SN
DEFORMACIONAL	Desplazamientos absolutos				
	- Horizontales	Péndulo invertido	$\pm 0,1 \text{ mm.}$	$0,01 \text{ mm.}$	SN
		Triangulación geodésica	$\pm 0,3 \text{ mm.}$	$0,05 \text{ mm.}$	SN
	- Verticales	Nivelación geodésica	$\pm 0,2 \text{ mm.}$	$0,05 \text{ mm.}$	SN
	Giros	Inclinómetro o clinómetro	$\pm 10^{-5} R_a$	$10^{-5} R_a$	SN
	En juntas, fisuras o grietas	Extensómetros diferenciales (de hilo o de varilla)	$\pm 0,1 \text{ mm.}$ $\pm 0,02 \text{ mm.}$	$0,05 \text{ mm.}$ $0,01 \text{ mm.}$	SN SN
	En fallas o accidentes geológicos	Extensómetros de gran longitud	$\pm 0,1 \text{ mm.}$	$0,01 \text{ mm.}$	SN
	Cimiento	Extensómetros diferenciales (de hilo o de varilla)	$\pm 0,01 \text{ mm.}$	$0,01 \text{ mm.}$	SN
TENSIONAL	Esfuerzos transmitidos al cimiento	Células de presión total (método directo)	$\pm 1 \% R$	$\pm 1 \% R$	$0 - 60 \text{ kp/cm}^2$
		Extensómetros para medir deformaciones unitarias en zonas próximas al cimiento (método indirecto)	$\pm 1 \mu / \text{m.}$	$\pm 1 \mu / \text{m.}$	$\pm 1.500 \mu / \text{m.}$
SÍSMICA (en zonas de sismicidad media y alta según NSCE-94)	Aceleraciones en cimiento	Acelerógrafos	$\pm 0,01 \text{ g}$	$\pm 0,005 \text{ g}$	$0 - 1 \text{ g}$
	Sismos inducidos por el embalse	Sismógrafos	10^{-4} mm / s	10^{-4} mm / s	$0,02 \text{ mm / s}$
	Emisión acústica	Detectores de ondas acústicas	-	46 pc / g	$15 - 200 \text{ kHz}$
HIDROLÓGICA	Precipitación (lluvia - nieve)	Pluviógrafo	$0,3 \text{ l / m}^2$	$0,1 \text{ l / m}^2$	SN
		Pluvionivógrafo	$0,3 \text{ l / m}^2$	$0,1 \text{ l / m}^2$	SN
		Radar meteorológico	Según tipo de precipitación		
	Nivel de embalse	Limnógrafo	$< 1 \text{ cm}$	$< 1 \text{ cm}$	SN
METEOROLÓGICA	Temperatura del aire, velocidad y dirección del viento	Estación meteorológica	Según normas del INM		
	Evaporación, humedad, radiación solar				

P = precisión; S = sensibilidad; R = rango; R_a = radianes; SN = Según necesidades; INM = Instituto Nacional de Meteorología

Cuadro n° 2.- Sistemas de auscultación y sensores para control de los cimientos de presas

3.3. PRESAS DE HORMIGÓN

3.3.1. Criterios generales

Este apartado trata de la Auscultación de las presas cuyo material de fábrica sea el hormigón. En él se separan las presas de gravedad (hormigón vibrado o compactado), las aligeradas y de contrafuertes y de las arco-gravedad y bóveda, porque la filosofía y enfoque de la auscultación son diferentes

Si bien en todas ellas hay que controlar también lo indicado en el cuadro nº 2 del apartado 3.2, relativo a la auscultación de cimentaciones; es decir, filtraciones, subpresiones, deformaciones o sismicidad ambiental y/o inducida (este último parámetro solamente si el volumen de embalse es de gran importancia, la geología del vaso complicada o la altura supera los 100 m.), en el control de la propia estructura se dan algunas diferencias destacables.

- En las presas de gravedad debe primar el control de desplazamientos, especialmente con péndulos, la auscultación térmica, el control de los cambios volumétricos del hormigón, la auscultación de las propiedades mecánicas y químicas del mismo por variación de las características mineralógicas de los materiales constituyentes y la auscultación deformacional e hidráulica (filtraciones y especialmente las subpresiones).
- En las presas de hormigón compactado es normal, además de los controles de una presa de gravedad, realizar ensayos en losas construidas "in situ" para determinar las dosificaciones del hormigón a emplear y conocer con anterioridad a la ejecución de la presa el posible comportamiento de las juntas entre tongadas.
- En las presas arco-gravedad y especialmente en bóvedas, además de las observaciones anteriores hay que auscultar el comportamiento de las juntas de construcción, el estado tensional de la estructura y los esfuerzos transmitidos al cimiento.

Pero no sólo en cuanto a los sistemas de auscultación se diferencian las presas de gravedad de las de arco-gravedad y bóveda, sino también en cuanto a la homogeneidad de la auscultación, ya que en las primeras los bloques trabajan con cierta independencia, mientras que en las segundas los equipos a instalar deben tener fundamentalmente una distribución armónica, por tratarse de estructuras hiperestáticas donde las juntas entre bloques deben estar bien inyectadas para permitir el mantenimiento de esa hiperestaticidad.

Los tipos y número de los controles a realizar en una presa de hormigón dependen de sus características geométricas -altura, espesor, longitud en coronación, etc-, condiciones topográficas y geológicas del emplazamiento etc.

Siendo una peculiaridad de las presas de hormigón el hecho de que sus deformaciones están muy influenciadas por los fenómenos térmicos, la técnica de medición de movimientos y deformaciones unitarias deberá tomar en consideración estos fenómenos y establecer un control interrelacionado de los mismos.

Las presas de hormigón pueden deformarse, localmente o en su conjunto, de modo sensible y con rapidez. En consecuencia, será necesario que las medidas u observaciones se realicen con

la suficiente celeridad para que los movimientos que pudieran generarse durante dichas operaciones de observación sean de un orden de magnitud inferior a la precisión exigida en la medición.

El sistema de auscultación a instalar, en este tipo de presas, debe servir tanto para la fase de construcción, como durante la fase de puesta en carga y en la fase de explotación y deberá analizar alguna o todas las variables que se enumeran a continuación.

3.3.2. Magnitudes a medir. Puntos de medición

Los cuadros n° 3, 4 y 5 recogen los sistemas de auscultación, los sensores a instalar, precisión, sensibilidad y rango mínimo y los parámetros que normalmente se obtienen con la auscultación y cuyo conocimiento permite realizar análisis sobre el comportamiento y la seguridad de una presa de hormigón. Para su implantación y explotación hay que tener en cuenta lo indicado en el apartado 3.2 para las cimentaciones de presas.

En el Anejo n° 2 se incluyen proyectos de auscultación de presas que pueden dar ideas sobre como realizar la distribución de los sensores y su número, así como cuales son los sistemas y equipos que pueden utilizarse.

La funcionalidad del Proyecto de Auscultación y las observaciones a realizar serán diferentes según la fase en que se encuentre la presa: construcción, puesta en carga y posterior explotación. En alguna de ellas habrá que tener en cuenta, además, las observaciones a realizar antes de la construcción e indicadas en los apartados 3.6 y 4.

SISTEMA O TIPO DE AUSCULTACIÓN	PARÁMETRO O MAGNITUD QUE SUMINISTRA	SENSOR O ELEMENTO DE MEDICIÓN	PRECISIÓN, SENSIBILIDAD Y RANGO MÍNIMO		
			P	S	R
DEFORMACIONAL (ESTRUCTURA)	Desplazamientos absolutos				
	- Horizontales	Péndulo invertido	$\pm 0,1$ mm.	0,05 mm.	SN
		Triangulación geodésica	$\pm 0,3$ mm.	0,05 mm.	SN
	- Verticales	Nivelación geodésica	$\pm 0,1$ mm.	0,05 mm.	SN
	Desplazamientos relativos				
	- Horizontales	Colimación, Péndulo directo o invertido	$\pm 0,1$ mm.	0,05 mm.	SN
		Péndulo óptico	$\pm 0,1$ mm.	0,1 mm.	SN
	- Verticales	Nivelación geodésica	$\pm 0,1$ mm.	0,05 mm.	SN
	Giros	Inclinómetros o clinómetros	$\pm 5 \cdot 10^{-5}$ R _a	$\pm 10^{-5}$ R _a	SN
	Desplazamientos locales relativos				
	- En juntas fisuras y/o grietas	Medidor interno y/o externo, extensómetro diferencial (De hilo o de varillas)	$\pm 0,1$ mm. $\pm 0,01$ mm.	0,05 mm. 0,01 mm.	SN SN
	En elementos estructurales diferenciados	Nivelación, triangulación, trilateración	$\pm 0,1$ mm	0,1 mm	SN
	- Cuerpo de la Presa	Extensómetros diferenciales	$\pm 0,02$ mm	0,01 mm	SN

P = precisión; S = sensibilidad; R = rango; R_a = radianes; SN = Según necesidades

Cuadro n° 3.- Sistemas de auscultación comunes a todas las presas de hormigón (Además de lo indicado en el Cuadro n° 2)

SISTEMA O TIPO DE AUSCULTACIÓN	PARÁMETRO O MAGNITUD QUE SUMINISTRA	SENSOR O ELEMENTO DE MEDICIÓN	PRECISIÓN, SENSIBILIDAD Y RANGO MÍNIMO		
			P	S	R
TÉRMICA	- Temperatura del aire	- Termómetro eléctrico	$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$	$0,1^{\circ}\text{C}$	$-20/+50^{\circ}\text{C}$
	- Temperatura del agua	- Termómetro eléctrico (fijo o móvil)	$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$	$0,1^{\circ}\text{C}$	$-20/+50^{\circ}\text{C}$
	- Temperatura del hormigón del cuerpo de la presa	- Termómetro eléctrico	$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$	$0,1^{\circ}\text{C}$	$-20/+50^{\circ}\text{C}$
VOLUMÉTRICA	- Cambios volumétricos del hormigón (expansión o retracción)	- Termómetro y extensómetro corrector para medir, además de las temperaturas, las deformaciones unitarias en el hormigón, no debidas a tensiones.	$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$	$0,1^{\circ}\text{C}$	$0/-20^{\circ}\text{C}$
			$\pm 10^{-6}$	10^{-6}	$-500/+1500 \times 10^{-6}$
MECÁNICA	- Propiedades mecánicas del hormigón (Módulo de Young, Poisson, Fluencia)	- Prensa de laboratorio con sistema de medición de deformaciones unitarias	$\pm 2\%$	2%	
QUÍMICA	- Variación de las características de los materiales (Análisis mineralógico)	- Laboratorio de ensayos	Según normativa en vigor		

P = precisión; S = sensibilidad; R = rango; R_a = radianes; SN = Según necesidades

Cuadro nº 4.- Sistemas de auscultación comunes a todas las presas de gravedad
(Además de lo indicado en el Cuadro nº 2 y 3)

SISTEMA O TIPO DE AUSCULTACIÓN	PARÁMETRO O MAGNITUD QUE SUMINISTRA	SENSOR O ELEMENTO DE MEDICIÓN	PRECISIÓN, SENSIBILIDAD Y RANGO MÍNIMO		
			P	S	R
TENSIONES	Tensiones en la estructura, esfuerzos transmitidos al cimiento y evolución de las características del hormigón	Rosetas Extensométricas para medir deformaciones unitarias en el hormigón (método indirecto).	$\pm 10^{-6}$	10^{-6}	$500/-1.500 \cdot 10^{-6}$
		Células de presión total (método directo)	$\pm 1\% \text{ R}$	$\pm 1\% \text{ R}$	$0 - 60 \text{ kp / cm}^2$

P = precisión; S = sensibilidad; R = rango

Cuadro nº 5.- Sistemas de auscultación en presas bóvedas y arco-gravedad.
(Además de los indicados en los Cuadros nº 2, 3 y 4)

3.3.3. Auscultación de las presas de gravedad

Los cuadros nº 2, 3, 4 y 6 recogen los sistemas de auscultación, los sensores a instalar, los parámetros que normalmente se obtienen con la auscultación en este tipo de presas, precisión, sensibilidad y rango mínimo, así como la frecuencia de lecturas a realizar en distintas presas.

Asimismo, en el apartado 4 se incluyen las consideraciones generales de los sistemas de auscultación a instalar en presas de gravedad que junto con lo indicado en los capítulos anteriores (1 a 3.3.2) y los ejemplos incluidos en el Anejo nº 2 permitirán proyectar e implantar el sistema de auscultación más idóneo.

Se detecta en estas presas la gran importancia de la Auscultación hidráulica, tanto filtraciones como subpresiones y la necesidad de comprobar frecuentemente el funcionamiento de aforadores y piezómetros.

3.3.4. Auscultación de las presas de arco-gravedad y bóveda

3.3.4.1. Generalidades

Además de los controles indicados para el conjunto de las presas de fábrica, en estas presas tendrán gran importancia el conocimiento del estado tensional del hormigón, especialmente en las bóvedas, así como los empujes transmitidos al cimiento y zonas de estribos.

En este tipo de presas, la auscultación se distingue del resto de presas de hormigón fundamentalmente por tres aspectos concretos, cuyo control hay que añadir a los normalmente realizados en el conjunto de presas de gravedad. Estos controles son:

- a) Estado y evolución de los movimientos (aperturas y deslizamientos) de las juntas de construcción (antes de su inyección, durante la ejecución de las mismas y en la explotación) y por tanto su monolitismo.
- b) Fenómenos tensionales en la estructura y evolución del material.
- c) Distribución e importancia de los esfuerzos transmitidos al cimiento.

Si existe simetría en el diseño, la auscultación debe ser simétrica para comprobar que el comportamiento también lo es.

La hiperestaticidad de la estructura obliga, a su vez, a comprobar que las juntas han sido bien inyectadas y los bloques continúan unidos en fases posteriores a la de inyección de juntas.

En el Anejo nº 2 se incluyen los proyectos de auscultación de algunas presas, que junto a los cuadros 2, 3, 4, y 5 ayudan a implantar, en una presa en proyecto y de futura construcción, la auscultación más ajustada a los problemas generales de la misma.

El cuadro nº 6 incluye un programa orientativo de la frecuencia e intensidad de la toma de datos en las distintas fases, programa que generalmente es común con el resto de presas de fábrica.

3.3.4.2. Control de juntas de construcción

Controlar el comportamiento de las juntas de construcción, especialmente en las presas bóveda, es muy importante, fundamentalmente para conocer en fases posteriores a las de construcción, la evolución de la hiperestaticidad de la estructura.

Para conseguir esta hiperestaticidad hay que realizar una buena inyección de las juntas y ejecutarla en la época más apropiada. Por tanto la programación de esta inyección es importante y como consecuencia su control también lo es.

3.3.4.3. Control y determinación de los estados tensionales de la estructura. Esfuerzos transmitidos al cimiento

La medida de tensiones tiene gran importancia en el control de las presas bóveda y arco gravedad, especialmente en las primeras.

En presas arco-gravedad y bóvedas de alturas superiores a 30 ó 40 m, deben instalarse sensores para determinar el estado tensional al menos en la ménsula central y el arco de coronación. A medida que la importancia de la estructura crece (altura del orden de 100 m o superior), debe incrementarse el número de ménsulas y arcos a controlar hasta alcanzar una red de puntos suficientes para poder comparar el estado tensional global calculado con el medido. En estos casos también deben obtenerse los esfuerzos transmitidos por la estructura al cimiento tanto en dirección como en magnitud.

Ambas determinaciones pueden hacerse por métodos directos (medir tensiones con células de presión total) o indirectos (medir deformaciones unitarias del hormigón mediante extensómetros y pasar a tensiones utilizando las ecuaciones de la teoría de la elasticidad).

La experiencia ha demostrado que la medición indirecta de tensiones es más fiable y por tanto la disposición de grupos de extensómetros (unidireccionales, en coronación y bidimensionales en el resto) es la mejor solución. En este caso es necesaria la obtención de constantes mecánicas del hormigón, teniendo en cuenta la fluencia del mismo.

3.3.5. Auscultación de las presas de hormigón antes del inicio de la construcción

Las auscultaciones previas a la construcción se deben dirigir, fundamentalmente, al análisis del comportamiento de laderas inestable, variaciones de niveles piezométricos, estados tensionales naturales del macizo rocoso o bien al conocimiento de la sismicidad ambiental de la zona próxima a la presa, auscultaciones que serán parte del sistema de auscultación final.

3.3.6. Auscultación de las presas de hormigón durante su construcción

Los controles a realizar durante la construcción en este tipo de presas deben ir encaminados fundamentalmente a conocer los siguientes aspectos:

- a) Comportamiento térmico del hormigón colocado (Temperaturas máximas de fraguado, incrementos térmicos, tiempo transcurrido desde el hormigonado hasta alcanzar la temperatura máxima, etc.).

- b) Cambios volumétricos del hormigón (retracciones o expansiones autógenas).
- c) Características mecánicas y térmicas del hormigón (Modulo Elástico, fluencia, coeficiente de dilatación térmica, difusibilidad, etc.).
- d) Movimiento de las juntas de hormigonado (aperturas o cierres y deslizamientos).
- e) Movimientos de la cimentación, especialmente asientos.
- f) Comportamientos de obras auxiliares, como pudieran ser túneles de desvío, laderas en las que sea posible cierta inestabilidad durante la excavación, o en obras cuya importancia así lo aconsejara.
- g) Estados tensionales en presas bóveda y arco-gravedad y esfuerzos transmitidos al cimiento.

Para que esta auscultación suministre información útil hay que establecer un programa de lecturas de los sensores, tal como se indica en el cuadro nº 6. Este programa, aunque es orientativo, se ajusta bastante bien a las necesidades reales que suelen plantearse en la mayoría de las presas de hormigón.

Hay que destacar en esta fase de la auscultación que la información que se obtenga, no solo debería ser útil durante la construcción, sino utilizable en toda la vida de la obra. Para ello se deben seleccionar y archivar los datos de los ensayos de laboratorio realizados en los materiales realmente colocados y próximos a los equipos de auscultación instalados.

Asimismo hay que registrar una serie de datos auxiliares de obra para el proceso posterior; entre ellos: replanteo de la situación de los sensores, proceso de instalación, características de los materiales que rodean a los sensores, señalización y numeración de cables y centrales de lectura, etc. Estos datos que constituyen un gran volumen de información deben ser analizadas e interpretadas conjuntamente con los datos de auscultación.

3.3.7. Auscultación de las presas de hormigón durante su puesta en carga

En esta fase, la presa va a ser sometida a su prueba más importante. La misma se realiza en un plazo de tiempo que puede ser de difícil regulación y por ello durante este tiempo la auscultación debe estar perfectamente preparada para recoger y suministrar una información rápida y fiable.

En este período, todas las variables (causas y efectos) tanto en la estructura y cimiento deben controlarse con mayor o menor intensidad según su importancia. Entre ellas y especialmente se destacan:

Variables exteriores (magnitudes de causa)

- Niveles de embalse
- Temperaturas en el aire y en el agua
- Precipitaciones (lluvia y nieve)

- Sismicidad inducida (en embalses que por sus características se prevea que puedan producirse sismos durante el llenado)
- Radiación solar

Variables de control interno en Estructura y Cimiento (magnitudes de efecto)

- Caudales de filtración en cimiento y contacto estructura-cimiento
- Subpresiones
- Movimientos absolutos de zonas de cimiento próximas al contacto estructura-cimiento y en coronación.
- Aceleraciones generadas por sismos.
- Gradientes térmicos en cuerpo de presa.
- Tensiones y esfuerzos transmitidos al cimiento.

Al control de estas magnitudes se le deben añadir el resto de las incluidas en los cuadros nº 2, 3, 4 y 5 y su intensidad dependerá de la complejidad e importancia de la presa, no solo desde el punto de vista estructural y geológico-geotécnico del cimiento, sino del nivel de riesgo aguas abajo.

El programa de lecturas que se seguirá en esta fase debe ser establecido en el informe final de construcción, que obligatoriamente deberá ser realizado antes de iniciar la puesta en carga. Como programa orientativo puede ser válido el presentado en el cuadro nº 6.

Asimismo para esta puesta en carga se tendrá en cuenta, lo indicado en la Guía Técnica nº 6 “Construcción de Presas y Control de Calidad”.

3.3.8. Auscultación de las presas de hormigón en la fase de explotación

El plan de auscultación en esta fase dependerá del comportamiento de la presa durante el período de puesta en carga, que se supone conocido y por tanto dependerá de si existen o no anomalías o problemas que es necesario seguir muy de cerca.

En general será suficiente adaptar el programa de lecturas incluido en el cuadro nº 6 completado con las indicaciones incluidas en el cuadro nº 10 que recoge no solo el número de observaciones rutinarias para presas de hormigón sino que también puede aplicarse a presas de materiales sueltos. Es evidente que en situaciones excepcionales estas medidas y observaciones se multiplicarán y el número de lecturas también se puede y debe variar según las condiciones de explotación y los problemas detectados durante la puesta en carga.

3.4. AUSCULTACIÓN DE LA PRESAS DE MATERIALES SUELTOS Y SU CIMENTACIÓN

3.4.1. Criterios generales. Magnitudes a medir. Puntos de medición

En este capítulo se consideran las presas de materiales sueltos, en las cuales los elementos impermeables pueden ser un núcleo impermeable (inclinado o no, delgado o grueso) o bien una pantalla aguas arriba (de hormigón o flexible). Las presas con núcleo asfáltico o bien

singulares, requerirán una auscultación, también singular, cuyo diseño habrá de realizarse siguiendo las ideas generales aquí expuestas.

En las presas de materiales sueltos los aspectos puntuales y por tanto su auscultación, juegan un papel importante en el comportamiento de la presa, por ejemplo: contacto de núcleos impermeables con estribos, empotramiento de pantallas impermeables de hormigón en presas de gran altura y valles estrechos, pero su gran variedad, de difícil sistematización, impide establecer unas reglas generales de auscultación. Ello no quiere decir que estos aspectos singulares no deban controlarse, sino todo lo contrario. Sin embargo no es posible incluirlos en esta guía técnica que por necesidad debe ser general.

En el Anejo N° 2, se incluyen proyectos de auscultación de distintas presas de materiales sueltos, cuya información junto a la de los cuadros n° 2, 7 y 8 da ideas generales respecto a los parámetros o magnitudes a medir, los sistemas a utilizar, los sensores a instalar y su distribución en el cuerpo de presa y cimiento.

En general, estos sensores y sistemas se colocan en mayor número en la sección de más altura, y en la sección que se considere más delicada, completando esta información en alguna sección más, buscando siempre un equilibrio entre la necesidad de auscultar y la funcionalidad e importancia de la información que se persigue.

Los tipos y número de controles a realizar en una presa de materiales sueltos dependerán de su tipología, elementos funcionales, características geométricas (altura, espesores, longitud en coronación, geometría de la planta, etc.), condiciones geológicas y topográficas del emplazamiento, así como consideraciones de orden social y económico.

El sistema de auscultación a establecer permitirá la toma de datos reales en la obra de forma que el modelo determinista previo de la presa pueda ser ajustado.

El tipo de impermeabilización de que disponga la presa puede hacer variar sensiblemente la auscultación a realizar.

Variables		Tipo de control o aparato	Fase de observación			OBSERVACIONES	
			Construcción	Puesta en Carga	Explotación normal		
Exteriores		Nivel del embalse Temperatura ambiente Temperatura del agua Pluviometría Evaporación Humedad Radiación solar Sismicidad natural e inducida Aceleraciones en cimentación	- Diaria - Diaria - - - Control permanente (**)	Cada 12 horas (*) Diaria Semanal Diaria Diaria Diaria Diaria Control permanente (**)	Diaria Diaria Semanal Diaria Diaria Diaria Diaria Control permanente (**)	LOS PROGRAMAS DE LECTURA PUEDEN Y DEBEN VARIARSE SEGÚN LAS CONDICIONES DE EXPLOTACIÓN Y LOS PROBLEMAS DETECTADOS	
De control	Aparatos embebidos en el hormigón					(1) Programa especial de fraguado	
		Temperaturas en hormigón	Especial de fraguado (1)	Semanal	Quincenal	Antes de cubrir el sensor	
		Deformaciones en hormigón	Id	Diaria o semanal	Semanal o mensual	Después de cubrir el sensor	
		Medidores internos de junta	Id	Semanal	Quincenal o mensual	A las 4,8,12 y 24 h. después de cubrir el s.	
		Directo de tensiones	Id	Diaria o semanal	Semanal o mensual	2 diarias hasta alcanzar la MTF de la tongada	
		Cambios volumétricos del hormigón	Id	Quincenal	Mensual	2 diarias durante un mes	
	Aparatos no embebidos en el hormigón	<u>MOVIMIENTOS</u>					
		De la presa con péndulos	Semanal	Diaria (*)	Semanal (*)		
		De la presa topográficos	-	Semanal o mensual	Trimestral o anual		
		De la cimentación	Semanal o mensual	Diaria o semanal	Semanal o mensual		
		Medidores externos de juntas	Semanal	Diaria o semanal	Quincenal o mensual		
		De fisuras	Semanal	Diaria o semanal	Quincenal o mensual		
		<u>SUBPRESIONES</u>	-	Diaria o semanal (*)	Semanal o quincenal		
		<u>FILTRACIONES</u>					
		En el cuerpo de presa	-	Diaria o semanal (*)	Semanal		
		En la cimentación	-	Diaria o semanal (*)	Semanal		
		<u>GIROS</u>	Semanal o mensual	Semanal o quincenal	Mensual		
		<u>AUSCULTACIÓN SÍSMICA</u>					
		En el cuerpo de presa	-	(**)	(**)		
		INSPECCIONES A LA PRESA			Diaria o semanal	Diaria o semanal	

(*) Variable dependiendo de la velocidad de subida del nivel del embalse una vez superado el 80% de MEN y de los problemas en general.

(**) El sensor registra y archiva cuando se rebasa el umbral de aceleración seleccionado

MTF = Máxima temperatura de fraguado MTE = mínima temperatura de estabilización MEN = Máximo nivel normal S = Sensor

Cuadro nº 6.- Programa general orientativo para toma de lecturas en presas de hormigón

SISTEMA O TIPO DE AUSCULTACIÓN	PARÁMETRO O MAGNITUD QUE SUMINISTRA	SENSOR O ELEMENTO DE MEDICIÓN	PRECISIÓN, SENSIBILIDAD Y RANGO MÍNIMO		
			P	S	R
HIDRÁULICA	- Presiones intersticiales del núcleo impermeable y entre filtros de disipación de presiones (si los hay)	- Piezómetro cerrado	$\pm 1/800 R$	$1/800 R$	SN
	- Presiones intersticiales en filtros y manto drenante aguas/abajo	- Piezómetro cerrado	$\pm 1/800 R$	$1/800 R$	SN
	- Filtraciones parciales y totales a través del núcleo y cimiento	- Aforo en pie de presa aguas/abajo y en puntos diversos	$\pm 1/800 R$	$1/800 R$	SN
DEFORMACIONAL	- Desplazamientos absolutos y diferenciales de núcleos y espaldones				
	· Horizontales	- Triangulación topográfica	$\pm 1 \text{ mm.}$	$0,5 \text{ mm.}$	SN
		- Distanciometría	$\pm 1 \text{ mm.}$	$0,5 \text{ mm.}$	SN
		- Colimación topográfica	$\pm 1 \text{ mm.}$	$0,5 \text{ mm.}$	SN
		- Inclinómetro	$\pm 0,05 \text{ mm.}$	$0,05 \text{ mm.}$	SN
	· Verticales (*)	- GPS(**)	$\pm 10 \text{ mm.}$		
		- Nivelación topográfica	$\pm 0,5 \text{ mm.}$	1 mm.	SN
		- Tubos telescópicos	$\pm 2 \text{ mm.}$	1 mm.	SN
		- Células hidráulicas de asiento	$\pm 1 \text{ mm.}$	1 mm.	SN
		- GPS(**)	$\pm 20 \text{ mm.}$		
DE LAS CARGAS	- Deformaciones diferenciales en contactos núcleo-estribos en fuerte pendiente	- Medidor de desplazamientos	$\pm 0,02 R$	$0,01 R$	SN
	- Giros	- Inclinómetro	$\pm 5? 10^{-5} R_a$	$5? 10^{-5} R_a$	$\pm 35^\circ$
DE LAS CARGAS	Presiones totales y efectivas (núcleos y contactos de núcleos con cimentaciones y estructuras)	Células de carga /Piezómetros	$\pm 1 \% R$	$1 \% R$	SN
SÍSMICA	Aceleraciones en el cuerpo de la presa	Acelerógrafos	$\pm 0,01 \text{ g.}$	$0,01 \text{ g.}$	$0-1 \text{ g.}$

P = precisión; S = sensibilidad; R = rango; R_a = radianes; SN = Según necesidades; (+) Es de especial importancia el control de las deformaciones diferenciales entre núcleo y espaldones

(**) Estos controles tendrán una aplicación cualitativa esperando que con los avances de la técnica actual permitan ser utilizados como sustitutos o complementos de los sistemas hoy en día en uso.

Cuadro nº 7.- Sistemas de auscultación en presas de materiales sueltos. (Además de lo indicado en el Cuadro nº 2)

a) con núcleo impermeable

SISTEMA O TIPO DE AUSCULTACIÓN	PARÁMETRO O MAGNITUD QUE SUMINISTRA	SENSOR O ELEMENTO DE MEDICIÓN	PRECISIÓN, SENSIBILIDAD Y RANGO MÍNIMO		
			P	S	R
TENSIONAL EN PANTALLAS DE HORMIGÓN	- Tensiones en la pantalla y zonas de empotramiento	- Extensómetro para medir deformaciones (método indirecto en el hormigón)	$\pm 10^{-6}$	10^{-6}	$\pm 1500? 10^{-6}$
DEFORMACIONAL (Cuerpo de presa y pantalla)	- Deflexiones de la pantalla	Inclinómetro	$\pm 10^{-4} R_a$	$10^{-6} R_a$	SN
	- Módulos de deformabilidad vertical y horizontal (método indirecto) en el cuerpo de presa	Tubos telescópicos de asientos y células hidráulicas de asientos	$\pm 2 \text{ mm.}$	1 mm.	SN
		Extensómetros de gran longitud	0,02 R	0,01 R	SN

P = precisión; S = sensibilidad; R = rango; R_a = radianes; SN = Según necesidades

Cuadro nº 8.- Sistemas de auscultación en presas de materiales sueltos. (Además de lo indicado en el Cuadro nº 2)

b) Con pantalla impermeable aguas arriba

Dadas las características físicas de estas presas, tendrá una consideración básica, el control de las presiones intersticiales y de las deformaciones que, en todos los casos, deberá intensificarse.

Tanto si la presa es del tipo de núcleo impermeable o de pantalla de impermeabilización, la auscultación hidráulica del cimiento será también decisiva para el control de su estabilidad, así como de su comportamiento.

El sistema de auscultación debe servir para la fase de construcción, tratamientos de la cimentación, primer llenado y fase de explotación.

Los controles de deformabilidad a establecer en la presa aumentarán proporcionalmente a la altura y a las pendientes en las laderas de apoyo de la presa.

Los controles de auscultación se establecerán por perfiles transversales y por cotas; de esta forma se facilitará la instalación de los aparatos, cables y tubos, así como la interpretación de las mediciones realizadas.

3.4.2. Auscultación de las presas de materiales sueltos antes del inicio de la construcción

En general la auscultación durante este período debe dirigirse, fundamentalmente, al análisis de: comportamiento de laderas inestables, variaciones de niveles piezométricos, estados tensionales naturales del macizo rocoso. También al conocimiento de la sismicidad ambiental de la zona próxima a la presa.

3.4.3. Auscultación de las presas de materiales sueltos durante su construcción

Como norma general, con las excepciones que deban hacerse, las presas de materiales sueltos están apoyadas en cimentaciones de peor calidad, más deformables y problemáticas que las utilizadas en presas de fábrica. Por ello, el control de presiones intersticiales, asientos y desplazamientos horizontales en cimiento debe implantarse durante la construcción.

Además de estos controles debe medirse:

a) En Presas con núcleo impermeable:

- Presiones intersticiales y totales en núcleo
- Asientos absolutos y diferenciales de núcleo y espaldones.
- Movimientos horizontales de núcleo y espaldones.
- Deformaciones diferenciales en contacto de núcleo con cimientos de pendientes acusadas.

b) En presas con pantalla impermeable aguas arriba:

- Comportamiento de la pantalla y zona de empotramiento.
- Módulos de deformabilidad horizontal y vertical del cuerpo de presa.

El programa de lecturas puede ser el que se presenta a título orientativo en el cuadro nº 9.

3.4.4. Auscultación de las presas de materiales sueltos durante su puesta en carga

Si en cualquier presa esta fase es importante, en las presas de materiales sueltos lo es mucho más, por distintas causas entre las que se destacan: movimientos en coronación y taludes, fenómenos de saturación del núcleo, movimientos diferenciales entre núcleo y espaldones que crean esfuerzos cortantes elevados, deformabilidad mayor de la esperada en el cuerpo de presa, que plantean problemas especialmente en presas con pantalla impermeable aguas arriba, etc.

Estos hechos obligan a establecer distintas fases de llenado durante la puesta en carga.

En este período de puesta en carga se controlarán todos los parámetros previstos durante construcción, además de los niveles de embalse, pluviometría y filtraciones. Estas últimas magnitudes deben controlarse intentando separar las que se producen a través del cimiento y del cuerpo de presa.

El cuadro nº 9 recoge el posible programa de lecturas durante este período, programa que debe ser flexible y variable en cada fase y ajustable a la rapidez del llenado y a los condicionantes de explotación.

Para la programación de esta puesta en carga debe tenerse en cuenta además lo que indica sobre esta fase la Guía Técnica nº 6. Construcción de Presas y Control de Calidad.

Asimismo se prestará especial atención a las inspecciones visuales realizadas según lo especificado en el apartado 7.3 de esta Guía Técnica.

3.4.5. Auscultación de las presas de materiales sueltos durante la explotación

Una vez terminada la puesta en carga, y por tanto conocidos los problemas de la presa, se establecerá el programa general de toma de datos de las distintas variables más significativas, entre ellas las filtraciones y subpresiones o presiones intersticiales. El cuadro nº 9, indica un programa orientativo para situaciones normales y presas sin problemas especiales completado con lo indicado en el cuadro nº 10 que tiene en cuenta la edad de la presa.

Núcleo/Variables		Tipo de control o aparato	Fase de observación			OBSERVACIONES
			Construcción	Puesta en Carga	Explotación normal	
Exteriores		Nivel del embalse Precipitación (Lluvia y nieve) Evaporación Sismicidad natural e inducida Aceleraciones en cimentación	- Diaria - Control permanente (**) Control permanente (**)	Cada 12 horas (*) Diaria Diaria Control permanente (**) Control permanente(**)	Diaria Diaria Diaria Control permanente (**) Control permanente (**)	EL PROGRAMA DE LECTURAS PUEDE Y DEBE VARIARSE SEGÚN LAS CONDICIONES DE EXPLOTACIÓN Y LOS PROBLEMAS DETECTADOS
De control	Cuerpo de presa y cimientos	<u>PRESIONES INTERSTICIALES (*)</u> - En núcleo - En filtros - En cimentación o contacto <u>DEFORMACIONES DIFERENCIALES ABSOLUTAS</u> - Verticales (*) - Horizontales (*) <u>DEFORMACIONES ABSOLUTAS POR TOPOGRAFÍA</u> <u>FILTRACIONES (*)</u> - En el cuerpo de la presa - En la cimentación <u>AUSCULTACIÓN SÍSMICA</u> En el cuerpo de presa	(1) Semanal a quincenal Quincenal Quincenal Semanal a quincenal Semanal a quincenal - - - - - -	Diaria a semanal Diaria a semanal Diaria a semanal Diaria a semanal Diaria a semanal Semanal a mensual Diaria Diaria (**)	Quincenal a mensual Quincenal a mensual Quincenal a mensual Quincenal a mensual Quincenal a mensual Semanal a mensual Diaria a semanal Diaria a semanal (**) (**)	(1) COMO MÁXIMO CADA TRES CAPAS O COMO METRO DE ALTURA DE MATERIAL
		<u>PANTALLA IMPERMEABLE AGUAS ARRIBA</u>	- - -	Diaria a semanal Diaria a semanal	Semanal a mensual Quincenal a anual	(2) PANTALLA DE HORMIGÓN Y EMPOTRAMIENTO (3) PANTALLA FLEXIBLE
	INSPECCIONES A LA PRESA			Diaria a semanal	Diaria a semanal	

(*) Dependiendo de la velocidad de subida del nivel del embalse, una vez superado el 80% del NMN

(**) El sensor registra y archiva cuando se rebasa el umbral de aceleración seleccionado

NMN = Máximo nivel normal

Cuadro nº 9.- Programa general orientativo para toma de lecturas en presas de materiales sueltos

Parámetro Observación	Edad de la presa			
	> 5 años		< 5 años	
	Nº Observ. o lect.		Nº Observ. o lect.	
	Mensual	Anual	Mensual	Anual
Movimientos relativos en juntas y fisuras. (base elongámetro y medidores eléctricos)	2		4	
Deformaciones hormigón y Roca (extensómetros)	1		2	
Temperaturas hormigón	1		2	
Movimientos absolutos (péndulos)	4		8	
Caudales } Drenos drenados } Aforadores	2		4	
	8		8	
Subpresiones	4		8	
Movimiento pantallas en escolleras		2		4
Asientos } Internos } (Teleniveles) } Externos } (Nivelación)		6	1	
		2		6
Detectores humedad y presiones intersticiales	1		2	
Nivelaciones y triangulaciones		1		2
Fotografías		2		4
Visitas detalladas con informe de observaciones		2		2
Control del estado de conservación del drenaje	Cada 5 años		Cada 5 años	

Cuadro nº 10.- Programa de medidas y observaciones rutinarias para presas de hormigón y materiales sueltos en función de la edad de la presa y sin problemas especiales en fase de explotación.

4.

CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LOS SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN

4.1. GENERALIDADES

La redacción de este capítulo pretende ampliar lo especificado en el anterior nº 3 y trata sobre las consideraciones generales que deben tenerse en cuenta al proyectar e implantar un sistema de auscultación en una presa concreta.

4.2. MEDICIÓN DE LAS VARIABLES EXTERIORES (MAGNITUDES DE CAUSA) COMUNES A TODAS LAS PRESAS

4.2.1. Variables a medir

Las variables a medir son normalmente aquellas que actúan directamente sobre el vaso del embalse, la estructura y su cimiento, y que influyen en su comportamiento y evolución.

- Meteorológicas y ambientales
- Niveles de agua del embalse
- Hidráulicas e hidrológicas
 - . Caudales entrantes y salientes
 - . Niveles piezométricos en laderas
- Temperaturas del agua del embalse
- Sismicidad natural e inducida

4.2.2. Auscultación meteorológica y ambiental

Convendrá instalar una o varias estaciones meteorológicas en lugares representativos del emplazamiento de la presa; (serán varias estaciones solamente en las presas de gran envergadura). Para la definición e instalación de la estación meteorológica se seguirán las normas que a tal fin establece el Instituto Nacional de Meteorología.

En zonas del territorio nacional donde pueda producirse el fenómeno meteorológico denominado gota fría y originar variaciones bruscas e importantes en el nivel del embalse se procurará instalar, lo antes posible, un radar meteorológico específicamente dedicado al estudio de este fenómeno en la cuenca donde este ubicada la presa.

4.2.3. Auscultación del nivel de agua

La medición de los niveles del embalse se realizará preferiblemente por dos procedimientos independientes, que son:

- Escalas limnimétricas.
- Limnómetro con señal eléctrica de salida analógica o digital, y complementado con un registrador gráfico y al menos un visor digital.

En presas en las que sean previsibles variaciones bruscas del nivel de embalse (entre ellas las presas para laminación de avenidas) se instalarán obligatoriamente indicadores de situaciones límite y de aviso.

4.2.4. Auscultación hidráulica e hidrológica

4.2.4.1. Caudales

Caudales salientes del embalse.-El control de los caudales salientes se comprobará aguas abajo de la presa mediante aforos directos, cuya definición y características serán objeto de un proyecto y mediciones específicas, instalando en estaciones de aforo medidores de nivel y velocidad y calibrando periódicamente las curvas de gasto obtenidas. Datos complementarios pueden obtenerse de la producción de las máquinas hidroeléctricas o con el tarado de las válvulas de desagüe; sin embargo, su precisión es muy relativa. Si es posible la medición en el interior de tuberías, se puede mejorar esta precisión con caudalímetros ultrasónicos o similares.

Caudales entrantes en el embalse.-Los caudales se determinarán, siempre que sea posible, basándose en mediciones realizadas en estaciones de aforo ubicadas en las entradas de ríos y arroyos que afluyen al embalse, que no estén afectados por el remanso del mismo; y si esto no fuera posible, se obtendrán a partir de las curvas de volúmenes embalsados, de los caudales salientes y de los tiempos de referencia.

4.2.4.2. Niveles freáticos en las laderas

Algunos niveles freáticos altos, medidos, antes de la construcción de la presa, en las laderas próximas pueden influir directa o indirectamente, en el comportamiento de la misma, aunque se hayan realizado trabajos y tratamientos anteriores a la primera puesta en carga. Se requerirá el control de estos niveles, independientemente del control general que se establezca. Normalmente estos niveles se miden con piezómetros de tubo y en algunos casos con piezómetros cerrados.

4.2.5. Temperaturas del agua del embalse

Será conveniente obtener la temperatura del agua del embalse mediante termómetros, que pueden ir ligados al sistema de medidas térmicas de la estructura. Esta medida es más importante desde un punto de vista estructural en las presas de hormigón que en las de materiales sueltos. En cualquier caso habrá que determinar las profundidades a que es conveniente medir las temperaturas del embalse desde este punto de vista estructural o desde cualquier otro punto de vista.

4.2.6. Sismicidad natural e inducida

Esta auscultación debe ir enfocada a la medida de las velocidades en zonas próximas de la presa y embalse e independientemente de que ésta sea natural o inducida por la puesta en servicio del embalse.

4.2.6.1. Medida de velocidades

En presas cuya altura sobre el cauce sea superior a los 100 m, tengan un volumen de embalse grande o en cuyo vaso existan importantes discontinuidades o accidentes geológicos de posible actividad microsísmica, o en aquellas asentadas en zonas cuyo índice de sismicidad sea alto, según NSCE-94, se emplazará al menos un sismógrafo antes del inicio de la construcción de la presa; de esta forma se procederá a un análisis de los eventos sísmicos registrados, que permita distinguir entre la sismicidad inducida por el embalse, si la hubiere, y la natural de la zona de ubicación de la presa.

Cuando se trate de comprobar la existencia de sismicidad inducida, se situará un número apropiado de estaciones de medida (preferentemente cuatro y, al menos tres). En estas estaciones se instalarán microsismógrafos triaxiales, que permitan analizar los movimientos producidos, dentro del entorno delimitado por las estaciones, y definir la situación de los epicentros e hipocentros de los sismos, así como su magnitud.

El análisis puede reducirse en situaciones normales a un estudio estadístico del número de movimientos registrados, pasando al análisis de los sismos individualizados sólo en caso necesario.

4.3. MEDICIÓN DE VARIABLES INTERNAS (MAGNITUDES DE EFECTO) EN PRESAS DE HORMIGÓN Y SU CIMIENTO

4.3.1. Generalidades

Las mediciones a realizar en estas presas que se esquematizan en los cuadros nº 2, 3, 4 y 5 se desarrollan en el capítulo 3 de la memoria de esta Guía Técnica, y se complementan en este capítulo 4. Asimismo en el Anejo 2 se incluyen diversos ejemplos de instrumentación en presas de gravedad, de hormigón compactado con rodillo, de contrafuerte, de arco gravedad y bóvedas.

4.3.2. Criterios generales.

4.3.2.1. Auscultación deformacional

Desplazamientos absolutos horizontales

Los desplazamientos absolutos de puntos característicos del paramento de aguas abajo de la presa, y en algunos casos del terreno de cimentación, serán determinados por métodos topográficos de alta precisión (auscultación geodésica), con teodolitos cuyo error medio no supere $\pm 2s$ en el plano horizontal y $\pm 4s$ en el cenital. Se opera por triangulación o trilateración de pilares desde el valle, cuya posición se corrige por referencia a puntos fijos situados aguas abajo de la presa y suficientemente alejados de ella para que permitan admitir que dichos puntos no experimentan movimientos debidos a la influencia de la presa y del embalse.

Los métodos geodésicos clásicos tienen el inconveniente de ser muy laboriosos y exigir unas condiciones atmosféricas especialmente favorables en el momento de realizar las observaciones; pero son los únicos que permiten conocer los movimientos absolutos de la estructura y de su apoyo en el terreno. Por consiguiente, esta observación que no suele realizarse con mucha frecuencia, es aconsejable hacerla dos veces al año -máxima y mínima temperatura ambiente-y en algunas situaciones de carga hidrostática, hasta que el embalse llega a alcanzar su nivel máximo; y, posteriormente, cuando el Director de Explotación lo estime conveniente para contrastar los desplazamientos obtenidos por otros métodos de auscultación. En el caso de que sea necesario realizar una medición rápida, los desplazamientos se pueden realizar por bisección desde dos pilares situados en el terreno aguas debajo de la presa.

El método más simple y práctico para controlar desplazamientos horizontales con relación a una vertical en las distintas cotas de la sección de una presa: es el de péndulo invertido. Si el anclaje del hilo del péndulo se fija a una suficiente profundidad en el terreno de cimentación de la presa (normalmente a 1/3 de la altura de la estructura) los desplazamientos horizontales obtenidos pueden considerarse, a efectos prácticos, como absolutos. Estos aparatos son de gran eficacia y fiabilidad cuando han sido bien instalados y mantenidos. Por ello en presas de hormigón siempre hay que instalarlos al menos en dos o tres secciones de la presa.

En ocasiones se controlan desplazamientos absolutos en varias cotas de una misma vertical de la presa enlazando un péndulo invertido con uno o dos péndulos directos. Esto se hace en algunas presas bóveda por su curvatura vertical, y en otras presas por la disposición de sus galerías o porque la excesiva longitud del hilo de los péndulos así lo aconsejen. La longitud máxima de hilo aconsejable en un péndulo es de 100 m.

Desplazamientos relativos horizontales

Para los desplazamientos relativos horizontales, de la estructura de la presa, entre zonas o bloques diferenciados, se pueden emplear péndulos directos o invertidos anclados en la cimentación. Asimismo se suelen utilizar observaciones topográficas por alineación, colimaciones y, algunas veces, el método del hilo de cimentación -actualmente poco utilizado- que consiste en un hilo anclado en el interior de un taladro perforado en la roca de cimentación y

el otro extremo fijado a un punto determinado de la estructura. El error medio, en ambos métodos, no suele ser superior a $\pm 0,1$ mm.

En algunas ocasiones las plomadas ópticas pueden jugar un papel importante en el caso de presas delgadas con gran curvatura vertical y sin galerías.

Los desplazamientos horizontales relativos obtenidos podrán considerarse como absolutos si los pilares de observación y señales de referencia de colimaciones y puntos de anclaje de péndulos directos, hilos de cimentación y plomadas ópticas pueden referirse a otros pilares de hormigón, señales de referencia ancladas en puntos fijos situados aguas abajo de la presa.

Desplazamientos verticales

Los desplazamientos verticales suelen medirse por nivelación topográfica de alta precisión. El error medio debe ser como máximo del orden de $\pm 0,2$ mm/km. Los itinerarios de nivelación hay que llevarlos por la coronación de la presa o por galerías, así como en el terreno hasta puntos extremos suficientemente alejados de la presa y del embalse para que puedan ser considerados como fijos.

El control rápido y eficaz de estos movimientos también puede conseguirse instalando extensómetros de gran longitud, en taladros perforados hasta alcanzar una zona profunda de la cimentación de la presa. Estos extensómetros suelen ser de varillas, por la sencillez de colocación y de funcionamiento. La precisión obtenida con estos elementos suele ser de $\pm 0,02$ mm.

Giros

Los giros respecto a ejes horizontales se miden con clinómetros, y también mediante sistemas de nivelación, ambos instalados en el interior de las galerías de la presa. El error medio de una observación con clinómetro es del orden de $\pm 1 \times 10^{-5}$ rad, y $\pm 0,01$ mm. sobre una base de nivelación de 10 m.

Movimientos relativos de juntas y fisuras

La auscultación de los movimientos de las juntas se efectúa solamente en el contacto entre bloques o entre elementos monolíticos que trabajan independientemente. El control interno de las juntas se realiza embebiendo sensores eléctricos en el hormigón durante la construcción de la presa.

El control externo de las juntas, así como de las fisuras importantes o que requieran una especial atención desde el punto de vista de seguridad de la presa, se realiza mediante medidores en superficie, de control unidireccional, bidireccional o tridireccional.

Las operaciones de inyección de las juntas de las presas, en especial en las del tipo arco gravedad y bóveda, se controlaran con los medidores indicados en los párrafos anteriores. En general se estudiarán distribuciones reducidas de medidores en el interior de los bloques, complementadas ampliamente con medidores en superficie, y que permitan controlar los recintos de inyección más importantes.

Para control de las fisuras y su evolución, en algunos casos concretos que se justifiquen, pueden utilizarse equipos más sofisticados y de mayor coste como pueden ser los extensómetros fijos de gran precisión o sistemas móviles introducidos en taladros instrumentados y leídos con periodicidad variable.

Deformaciones y movimientos en fallas y otros accidentes geológicos

En algunas zonas de la cimentación de la presa, y cuando así lo aconsejen los estudios geológicos y geotécnicos realizados, se controlarán las deformaciones mediante grupos de 2 ó 3 extensómetros de gran longitud -en general varillas- que permitan determinar, de forma aproximada, el empuje resultante a la cimentación, así como el módulo de deformabilidad global de la zona de cimentación controlada y su comportamiento en el tiempo.

El control de movimientos de los bordes de una falla o de accidentes geológicos se realizará con extensómetros de gran longitud y de forma similar a la indicada en el párrafo anterior. El error medio que se debe conseguir con estos extensómetros será inferior a $\pm 0,05$ mm.

4.3.2.2. Auscultación térmica

En el cuerpo de la presa, se medirán las temperaturas del hormigón con el fin de conocer la evolución de la temperatura del hormigón y el comportamiento térmico de la estructura. Entre otros objetivos concretos se perseguirán los siguientes:

- Incrementos térmicos y temperaturas máximas alcanzadas durante el proceso de hidratación del cemento del hormigón
- Efectos térmicos del hormigonado de tongadas sucesivas.
- Tiempo en el que se alcanzan las máximas temperaturas en el hormigón.
- Efecto de la refrigeración artificial del hormigón colocado (en el caso de que se instale este sistema), para conocer la temperatura del hormigón y en consecuencia, regular el caudal y la temperatura del agua de refrigeración a través de los serpentines.
- Determinación de los gradientes térmicos importantes.
- Evolución térmica del hormigón de los bloques para fijar las fechas idóneas de inyección de las juntas.
- Determinación de las deformaciones de origen térmico de la estructura.
- Comprobación de las hipótesis térmicas del modelo de cálculo de la presa.
- Obtención de temperaturas para la realización de modelos estadísticos a partir de los datos de las variables de auscultación.
- Obtención de características térmicas del hormigón, entre otras la difusibilidad.

El control térmico del hormigón se realizará con termómetros embebidos en puntos característicos de la estructura y en bloques o perfiles -en particular donde se instalen péndulos-, y distribuidos de modo que permitan obtener, en diversas cotas, la curva de temperaturas entre los paramentos de aguas arriba y aguas abajo de la presa.

4.3.2.3. Auscultación volumétrica

Si fuesen de prever aumentos de volumen o retracciones importantes en el hormigón del cuerpo de la presa (que se verán reflejadas de forma especial en las juntas y galerías existentes) se

instalarán, en algunas tongadas, extensómetros de tipo eléctrico denominados correctores, que se colocarán rodeados del hormigón a controlar y dentro de cubos que los aislen del campo tensional circundante.

4.3.2.4. Auscultación tensional

En las presas bóveda, de arco-gravedad y de gravedad de grandes dimensiones o características especiales, puede ser aconsejable la auscultación de tensiones en el cuerpo de la presa o en su cimentación.

El control tensional, utilizando el método indirecto, consiste en la medida cronológica de las deformaciones unitarias en varias direcciones en el hormigón o en la roca y, a partir de las constantes mecánicas del medio a controlar (módulo de Young, coeficiente de Poisson y características de fluencia) se podrá obtener el estado tensional del punto controlado.

Este control tensional se realiza embebiendo en el hormigón o instalando en la cimentación rocosa grupos de varios extensómetros eléctricos.

La determinación de las constantes mecánicas del hormigón que rodeará a los grupos de extensómetros se efectúa en el laboratorio con métodos no destructivos.

En presas de gravedad, en las que se pretenda controlar efectos tensionales complejos, o los debidos a restricciones de la cimentación, se realizarán controles en planos paralelos a las juntas transversales de contracción. A veces será necesario el control tridimensional, para lo que se colocarán grupos de 10 extensómetros: 9 activos dispuestos según las tres direcciones sus bisectrices y las perpendiculares a estas y 1 corrector.

La auscultación tensional obtenida midiendo deformaciones unitarias en superficie por procedimientos mecánicos u ópticos no es muy recomendable y se debe desechar por la difícil interpretación de los resultados, debido al gran número de factores que influyen en las mediciones.

La medición tensional directa e inmediata se puede realizar con diversas células de carga, que en el caso del hormigón requieren instalaciones cuidadosas y muy estudiadas.

4.3.2.5. Auscultación hidráulica

a) Filtraciones

Las filtraciones en el cuerpo de la presa podrán medirse en pozos calibrados, aforadores de vertedero -en general del tipo triangular (Thomson) automatizables- o bien, si las filtraciones no son importantes, por procedimientos manuales.

La distribución y número de aforadores se realizará de forma que en una sola localización se pueda medir la filtración total de la presa, y en otras varias las producidas en cada ladera o en cada zona del cimientto.

En los sitios donde se prevean o existan filtraciones singulares se instalarán aforadores específicos que en todo momento permitan controlar la evolución de las mismas.

b) Subpresiones y niveles piezométricos

La medida de estos parámetros se realizará con piezómetro de:

- Tubo abierto.
- Tubo con manómetro.
- Tipo cerrado (eléctricos, neumáticos e hidráulicos).

Se procurará obtener la ley de subpresiones en el contacto del hormigón con la cimentación en algunos perfiles o bloques de la zona del cauce así como en aquellas zonas que sea conveniente, debido a las características geológico-geotécnicas y geométricas de la cimentación y/o a las dimensiones de la sección de control.

Para realizar este control se medirán subpresiones en 2 ó 3 puntos del perfil, dependiendo de la longitud de la base de la sección.

Algunos accidentes geológicos de la cimentación de la presa pueden ser vías preferentes de circulación de agua, aunque se hayan realizado tratamientos en la cimentación anteriormente a la primera puesta en carga, y requerirán la medición en ellas de las presiones intersticiales. En estos sitios siempre será recomendable instalar piezómetros cerrados del tipo eléctrico, por su rápida respuesta a las variaciones de la variable a controlar.

4.3.2.6. Medida de aceleración y/o desplazamientos

Si la zona de emplazamiento de la presa tiene un índice de sismicidad medio o alto, según NSCE-94, se controlarán las aceleraciones triaxiales:

- Al menos en un punto de la estructura y donde se prevea una máxima respuesta (zona de la coronación y en zona alta de la presa).
- Y la respuesta en uno o dos puntos de la cimentación, dependiendo de que las características mecánicas de las laderas varíen o no, sensiblemente.

4.3.2.7. Medida de emisiones acústicas

Pueden darse situaciones extraordinarias, en que interese conocer los mecanismos de deformación y fisuración del macizo rocoso de una ladera de la presa, especialmente si se trata de una situación difícil, en cuanto a estabilidad. En estos casos será recomendable instalar uno o varios captadores de emisión acústica, que detecten las ondas elásticas de frecuencias no audibles (15 Hz a 200 kHz) correspondientes a la energía liberada de forma repentina por las tensiones y deformaciones a que está sometida la roca.

4.3.3. Mediciones específicas de presas construidas con hormigón compactado HCR

Los tipos y número de los controles a realizar en una presa de HCR dependerán de sus características geométricas (altura, espesor, longitud en coronación), condiciones topográficas y geológicas del emplazamiento, composición del hormigón y proceso constructivo.

En estas presas se establecerá un control especial de los fenómenos térmicos y deformacionales del hormigón, pues aunque la disipación del calor de hidratación del conglomerante es más fácil que en las presas de hormigón ordinario -por el reducido espesor de las tongadas y por el bajo contenido de cemento-las mayores dimensiones superficiales de los bloques y la rapidez de la construcción, junto a otros factores, pueden favorecer la generación de fisuras, tanto transversales como horizontales.

Por las características generales del HCR, así como por el proceso constructivo de estas presas, las juntas horizontales entre tongadas deben ser objeto de una vigilancia y controles intensos.

El hormigón de estas presas debe ensayarse previamente, en condiciones reales, con el fin de seleccionar y conocer en profundidad sus características, así como las de las juntas y de las operaciones constructivas. Esto implicará entre otras medidas la construcción de "bloques de prueba", que aunque no forman generalmente parte de la presa deberán auscultarse intensamente y realizarse antes de iniciarse la construcción. Por supuesto que su auscultación tampoco forma parte de la auscultación de la presa pero la necesidad de realizarla indica la conveniencia de que sea mencionada en esta Guía Técnica.

Estas losas construidas "in situ" sirven para determinar las dosificaciones del hormigón a emplear y comprobar los equipos de ejecución de obra. Y deben servir también para que, mediante auscultación, se determinen los parámetros definitorios de la deformabilidad y resistencia del hormigón y por tanto de su posible fisuración. Entre estos parámetros figuran: coeficiente de dilatación térmica, difusibilidad, incrementos térmicos durante el fraguado, cambios volumétricos, etc.

Auscultación en los Bloques de Prueba

En los bloques de prueba es conveniente realizar los siguientes controles:

- Variables de control externo (magnitudes de causa):
 - . Temperaturas del aire.
 - . Humedad relativa del aire.
 - . Pluviometría
 - . Velocidad y dirección del viento.
- Variables de control interno (magnitudes de efecto)
 - . Temperaturas en el hormigón.
 - . Variaciones volumétricas del hormigón.
 - . Deformaciones unitarias y globales del hormigón.
 - . Movimientos de juntas encofradas y cortadas (éstas últimas si existen).
 - . Filtraciones en juntas horizontales (ensayos en taladros).
 - . Tensiones generales en el contacto de tongadas.

Tienen especial importancia los controles térmicos y volumétricos. Mediante ellos se determinarán los valores y propiedades de los distintos hormigones ensayados, y que después

debemos confirmar durante la construcción de la presa y, entre otros se consideran, los siguientes:

- La temperatura ambiente durante la colocación del hormigón próximo a la losa de ensayo y en la planta de hormigonado.
- La temperatura máxima de fraguado y primer endurecimiento.
- El incremento térmico máximo en el proceso de hidratación del conglomerante.
- El incremento térmico en las tongadas superiores a la controlada.
- El tiempo en que se alcanza la máxima temperatura.
- Los gradientes térmicos verticales y horizontales en tongadas significativas.
- Los coeficientes de difusibilidad térmica en tongadas intermedias.
- Los coeficientes de dilatación lineal, diferenciando los de núcleo y de paramentos.
- El factor de maduración de los hormigones de tongadas representativas en el momento de colocar la tongada superior.
- Variaciones autógenas de volumen (expansión o retracción autógena si existieran).
- Coeficiente de permeabilidad y expansión hidráulica del hormigón colocado.

Asimismo es conveniente el control deformacional del “bloque de prueba” y su cimiento para:

- Determinación de zonas traccionadas del bloque de hormigón.
- Detección de fisuras.
- Control de juntas encofradas y cortadas
- Determinación de coeficientes de dilatación lineal de grandes longitudes del hormigón en masa.
- Asientos diferenciales en el cimiento.

4.3.4. Controles específicos de las presas de gravedad aligerada y de contrafuertes

En estas presas es muy importante conocer la evolución de las siguientes magnitudes:

- Filtraciones en galerías.
- Filtraciones aguas abajo de la presa.
- Subpresiones y niveles piezométricos en cimiento y contacto roca-contrafuerte.
- Desplazamientos relativos entre zonas diferenciadas.
- Movimientos de juntas y fisuras.
- Temperaturas en el hormigón.
- Movimientos y deformaciones en fallas o accidentes geológicos.
- Deformaciones volumétricas.

4.3.5. Controles específicos en presas arco-gravedad y bóveda

Además de los controles que habitualmente se realizan en las presas de hormigón, en las bóvedas se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- a) El estado y evolución de los movimientos de las juntas de construcción, atendiendo preferentemente a las operaciones de inyección de las mismas, primera puesta en carga y primera descarga.

- b) La medición de las tensiones en la estructura, controlando las zonas de riñones, arranque de la bóveda en la ménsula central, un arco próximo a la coronación, las uniones de la bóveda con los estribos y aquellas localizaciones donde el modelo matemático del Proyecto de la presa así lo recomiende.
- c) La distribución y valoración de los esfuerzos transmitidos al cimiento, considerando los accidentes geológicos, pozos y galerías existentes en el mismo.

Además habría que tener especial cuidado en el control de:

- Los gradientes térmicos y deformaciones volumétricas de las tongadas hormigonadas con gran desfase de tiempo.
- Las variaciones volumétricas del hormigón de tipo autógeno.
- Las simetrías de comportamiento.
- El control de desplazamientos según lo especificado en el apartado 4.3.2.1.

Control de juntas de construcción

En el ejemplo que se incluye en el Anejo nº 2 (Presa de La Baells) se puede observar la distribución de los sensores para control de la evolución de los movimientos de las juntas que después deben ser inyectadas.

Control y determinación de los estados tensionales de la estructura. Esfuerzos transmitidos al cimiento

En el capítulo 3.3.4.3. de la Memoria se establecen los criterios generales para la obtención del estado tensional de la estructura y esfuerzos transmitidos al cimiento.

En estas presas arco-gravedad y bóvedas se obtendrán las tensiones principales en planos paralelos a los paramentos y próximos a ellos, aunque a una distancia que evite influencias térmicas dinámicas de origen ambiental.

Para realizar esta auscultación, generalmente se instalarán grupos de seis (6) extensómetros: coplanarios, es decir, en un plano (4), uno ortogonal a los anteriores (efecto Poisson) y un corrector.

En zonas próximas a la coronación los grupos de extensómetros estarán formados por dos (2) extensómetros, 1 activo con dispersión horizontal y 1 corrector.

Como el método más fiable es el método indirecto medir deformaciones unitarias con extensómetros embebidos en el hormigón es necesaria la obtención de las constantes mecánicas del mismo, teniendo en cuenta su fluencia. Para ello es necesario la realización de ensayos y pruebas de laboratorio en fase de construcción y posterior para introducir el factor tiempo en la evolución de los módulos elásticos del hormigón.

4.4. MEDICIÓN DE VARIABLES INTERNAS (MAGNITUDES DE EFECTO) EN PRESAS DE MATERIALES SUELTOS Y SUS CIMIENTOS

4.4.1. Generalidades

Los principales parámetros o variables que generalmente se miden en las presas de materiales que se resumen en los cuadros nº 7 y 8 del capítulo 3 de la memoria de esta Guía Técnica, se cumplimentan en el Anejo nº 2 con diversos ejemplos de instrumentación.

4.4.2. Variables de Control interno (magnitudes de efecto)

Los principales magnitudes que se miden, ya recogidas en los cuadros mencionados anteriormente y en el capítulo 2.2.2.2 son las siguientes:

- Hidráulicas:
 - . Filtraciones recogidas en galerías.
 - . Filtraciones recogidas aguas abajo de la presa.
 - . Presiones intersticiales en núcleos impermeables.
 - . Presiones intersticiales en filtros y manto drenante de aguas abajo.
 - . Presiones intersticiales en filtros de disipación de presiones.
 - . Niveles piezométricos en el contacto de núcleos impermeables con la cimentación.
 - . Niveles piezométricos en la cimentación.
- Deformacionales
 - . Deformaciones verticales y horizontales (en presa y cimentación).
 - . Desplazamientos horizontales y verticales absolutos y relativos.
 - . Deformaciones diferenciales entre núcleo y espaldones.
 - . Deformaciones diferenciales en contactos núcleo-estribos en fuerte pendiente.
 - . Deformaciones de la cimentación.
 - . Movimientos y deformaciones en fallas y otros accidentes geológicos.
 - . Deformaciones de la pantalla impermeable (si existe).
 - . Movimientos de las juntas entre pantallas y el plinto soporte.
 - . Movimientos de las juntas del plinto.
 - . Movimientos en núcleos de productos asfálticos.
- De cargas
 - . Presiones totales en núcleo.
 - . Empuje efectivo en contacto de núcleo con aliviadero o en zonas singulares.
- Tensiones en pantallas de hormigón
- Tensiones en la pantalla y zonas de empotramiento.

4.4.3. Presas con núcleo impermeable

Los controles internos que esencialmente se establecerán son los siguientes:

- Hidráulicos.
- Deformacionales.
- De cargas.

Dependiendo de la longitud de coronación, altura máxima de la presa y zonas conflictivas de la cimentación, se intensificarán los controles de la estructura, distribuyendo los sensores en tres o más perfiles. La distribución de los sensores en la cimentación dependerá de las características geológicas y geotécnicas de la misma. Con el fin de facilitar la interpretación de los datos a obtener en el cuerpo de la presa, así como la instalación de los equipos de auscultación, se establecerán controles por planos horizontales. Será objeto de control especial la impermeabilidad del núcleo, midiendo no sólo las presiones intersticiales, sino también las filtraciones aguas abajo del mismo.

En las presas con núcleo impermeable arcilloso, en disposición vertical o asimilable, se comprobará la existencia de un efecto de cuelgue del mismo durante la construcción y llenado, lo que ocasionaría que, en alguno de sus puntos, la presión efectiva pueda disminuir e incluso anularse.

Si un conducto atraviesa la presa, la zona próxima a aquel deberá ser objeto de control específico. Serán objeto de control las secciones de zonas que presenten diferencias significativas de la deformabilidad de los materiales.

4.4.4. Presas con pantalla de impermeabilización

En este tipo de presas se podrán establecer los siguientes controles internos:

- Filtraciones recogidas en las galerías.
- Filtraciones por la cimentación (aguas abajo).
- Filtraciones por rotura de la pantalla o desarraigo del plinto o placa perimetral.
- Presiones intersticiales en la cimentación.
- Desplazamientos horizontales y verticales absolutos o relativos.
- Deformabilidad vertical y horizontal.
- Deformaciones de la cimentación.
- Movimientos y deformaciones en fallas y otros accidentes geológicos.
- Deformaciones de la pantalla.
- Tensiones en pantallas de hormigón y zonas de empotramiento.
- Movimientos de la junta entre la pantalla de hormigón y el plinto soporte.
- Movimiento de juntas del plinto de apoyo de la pantalla de hormigón.
- Giros del plinto de apoyo de la pantalla de hormigón.
- Sobrepresiones en el plinto o placa perimetral.
- Cargas en galerías o falsos túneles de hormigón bajo la presa.

En los plintos de apoyo de pantallas, que no estén suficientemente empotrados en la cimentación o no dispongan de una resistencia pasiva estabilizadora, se establecerán los controles indicados en comienzo de este apartado, para los que se aplicarán las prescripciones correspondientes a dichos controles e incluidas para las presas de hormigón.

4.4.5. Criterios generales.

4.4.5.1. Auscultación hidrológica e hidráulica

4.4.5.1.1. Caudales y filtraciones

Para la auscultación de los caudales y para las filtraciones en el cuerpo de la presa se deberá seguir lo indicado en los apartados 4.2.4.1 y 4.2.4.2. En las presas con núcleo impermeable que dispongan de filtros, se procurará implantar aforadores que permitan realizar un control selectivo de los caudales de filtración provenientes de los mismos.

Serán objeto de observación el color y la turbidez, en general, y los materiales en suspensión en particular.

4.4.5.1.2. Presiones intersticiales y niveles freáticos

La medida de estos parámetros se realizará con los piezómetros referidos en el apartado 4.3.2.5. La implantación de los sensores de las presiones intersticiales y niveles freáticos se realizará en:

- El núcleo impermeable.
- El contacto del núcleo impermeable o sección impermeable con la cimentación.
- Inmediatamente aguas abajo de la pantalla impermeable.
- Entre filtros horizontales.
- Entre filtros verticales o subverticales básicos.
- En la cimentación.

En núcleos impermeables, la distribución de puntos de medición de las presiones intersticiales se realizará de forma que se puedan definir las líneas equipotenciales de la red de corriente, durante la fase de puesta en carga y posteriores.

Serán objeto de control especial de las presiones intersticiales en el núcleo:

- Las zonas singulares.
- Las zonas próximas a muros de hormigón o elementos rígidos (posibles vías de agua).
- Las zonas próximas a otros materiales de mayor permeabilidad (filtros y espaldones).

El contacto del núcleo impermeable o semipermeable con la cimentación requerirá gran atención, en especial las zonas próximas al canal o túnel de desvío y en las de rocas fracturadas, fallas, etc.

Se establecerá un control más intenso de las presiones intersticiales en las zonas del contacto entre el cuerpo de presa y el núcleo y cimentación donde hayan existido manantiales, independientemente de que estos hayan sido adecuadamente reconducidos al embalse o al exterior.

Se controlarán las presiones intersticiales en cimentación, de aguas arriba a aguas abajo, y singularmente en:

- Las discontinuidades de permeabilidad
- Zonas de acarreo.
- Zonas de permeabilidad media y alta.
- Zonas de accidentes geológicos
- Aguas abajo de las pantallas de impermeabilización

Se recomienda intensificar la auscultación en los accidentes geológicos que se hayan observado en la cimentación de la presa, aunque se hayan tratado antes de la puesta a carga. Se recomienda la instalación de piezómetros cerrados de tipo eléctricos por su rápida respuesta.

4.4.5.2. Auscultación deformacional (presa y cimientos)

4.4.5.2.1. Desplazamientos horizontales

Los desplazamientos absolutos de puntos característicos de la presa, situados al exterior, especialmente en el talud de aguas abajo, serán obtenidos por métodos topográficos, preferentemente rápidos, en los que en general será suficiente alcanzar precisiones de ± 1 mm.

Los sistemas topográficos utilizados preferentemente en las presas de materiales sueltos y con los que se obtienen desplazamientos horizontales son los siguientes:

- Colimación de plano vertical.
- Bisección.
- Variación de longitudes con distanciómetro de precisión media.

Los desplazamientos horizontales obtenidos con los métodos indicados en el punto anterior, generalmente son relativos. Se convertirán en absolutos corrigiendo la posición de los pilares próximos de observación mediante otros pilares de referencia y puntos fijos situados aguas abajo de la presa y suficientemente alejados de ella, para admitir que dichos puntos no experimentan movimientos significativos debidos a la influencia de la presa o el embalse.

Al igual que en el caso de las presas de hormigón, la auscultación topográfica se deberá realizar con condiciones atmosféricas favorables en el momento de efectuar las observaciones.

En presas y en laderas inestables donde se prevean desplazamientos horizontales importantes, tendrá gran utilidad la utilización de aparatos GPS (Sistema Global de posicionamiento) acoplados de forma precisa a bases unidas con solidez a las zonas a controlar, ya que los controles y resultados en valores ingenieriles se obtendrán con gran rapidez.

El control de los desplazamientos horizontales en una vertical de la presa se realizará con inclinómetro. Este sistema requiere la colocación cuidadosa de un tubo telescópico fabricado a tal fin, que queda inutilizado a largo plazo, sobre todo si atraviesa elementos funcionales distintos y no se coloca cuidadosamente. En general este elemento puede suministrar información valiosa del comportamiento de la presa durante toda su vida.

En el caso de utilizar tubos de inclinómetro anclados profundamente en el terreno de cimentación, generalmente a $\frac{1}{4}$ de la altura de la presa, los desplazamientos horizontales obtenidos en la vertical podrán considerarse como absolutos y, consecuentemente, servirán de referencia y enlace de los movimientos horizontales relativos conseguidos topográficamente.

En laderas inestables o en las que se espere importantes movimientos horizontales, por la influencia de la presa o el embalse, se instalarán tubos de inclinómetro en taladros verticales, en los que la desviación en el fondo del taladro deberá ser inferior al 2,5% de su longitud. Con estos elementos se detectarán los desplazamientos horizontales y planos de deslizamiento en el terreno controlado, si existieran.

4.4.5.2.2. Desplazamientos verticales

Los desplazamientos verticales de la presa y del terreno próximo a ella suelen medirse con nivelación topográfica de precisión. El error medio no deberá sobrepasar ± 1 mm/km. Los itinerarios de nivelación hay que llevarlos por la coronación de la presa y por las bermas, así como en el terreno hasta alcanzar puntos estables, suficientemente alejados de la influencia de la presa y del embalse, que puedan considerarse como fijos.

El control rápido y eficaz de las deformaciones y asientos en una vertical de la presa y su cimentación puede conseguirse instalando tubos telescópicos de gran longitud, empotrados suficientemente en su cimentación. Exteriormente a estos tubos se colocan bastidores o crucetas que acompañan en el asiento al material donde están enclavadas. Las mediciones se realizan introduciendo un "torpedo" en el interior del tubo detectando de forma electrónica o mecánica los referidos desplazamientos verticales. Para que este sistema sea eficaz su instalación y mantenimiento debe ser muy cuidadoso.

Si la cimentación de la presa es compresible, especialmente si el cauce está formado sobre una capa de acarreo de gran potencia, y si el peso propio de la presa es importante, se deberán medir deformaciones verticales con tubos telescópicos o extensómetros de gran longitud, normalmente de varillas con transductores de desplazamiento, de rango y precisión seleccionables según la deformación prevista. Los anclajes o tubo de fondo de estos elementos se fijarán a una profundidad donde las deformaciones se puedan despreciar.

4.4.5.2.3. Deformaciones diferenciales

En las presas heterogéneas tendrá una importancia relevante la medición, a distintas cotas de la presa, de las deformaciones verticales de tipo diferencial entre distintos elementos funcionales de la misma. Será objeto de especial atención el control de las restricciones que sobre el núcleo impermeable ejerzan los espaldones adyacentes, sobre todo cuanto mas delgado y vertical sea el núcleo y más alta sea la presa. Este control se realizará instalando células hidráulicas en los puntos de control y paneles de lecturas en casetas o cámaras situadas aguas abajo de la presa preferentemente, en el propio talud, o en laderas las deformaciones diferenciales pudieran cortar los tubos de unión de la célula con el panel.

Las zonas de contacto de los rellenos de la presa con las estructuras adyacentes serán objeto de control intenso de las deformaciones diferenciales.

Si la cimentación de una ladera de la presa tiene gran pendiente o un cambio brusco en la misma, se implantará un sistema para control de los deslizamientos relativos entre ella y el núcleo.

La deformabilidad horizontal en la dirección longitudinal de las presas de planta curva con núcleo deformable, las construidas en dos fases en las que se pueda originar diferente

compresibilidad, o apoyadas en laderas de gran pendiente, se controlará esta magnitud por medio de extensómetros de gran longitud generalmente enlazados.

En algunos casos se precisará conocer deformaciones horizontales en perfiles transversales de la presa. Con este fin se instalarán tubos telescópicos horizontales con crucetas o bastidores externos a ellos y unidos al material a controlar. Las mediciones se realizan introduciendo una sonda en el interior del tubo y utilizando un cable de arrastre. Este sistema se empleará cuando no sean previsibles grandes asientos diferenciales que pudieran inutilizar la tubería instalada.

4.4.5.2.4. Deformaciones de pantallas impermeables

La medida de deflexiones verticales en uno o varios perfiles de una pantalla deformable de gran superficie o con posibilidad de sufrir deformaciones importantes generadas por la cimentación o el material de la presa, se realizará instalando tubos para inclinómetro detrás de la pantalla impermeable o en la capa drenante subyacente a la pantalla.

El control tensional de las pantallas de hormigón utilizando el método indirecto consiste en la medida cronológica de las deformaciones unitarias en 2 direcciones ortogonales, y a partir del módulo de Young de la armadura de acero controlada se podrá obtener el estado tensional en el punto de control, previa corrección térmica.

4.4.5.2.5. Movimientos de juntas de pantallas de hormigón

Serán objeto de control las juntas entre losas de pantallas de hormigón, así como la longitudinal entre estas y el plinto o la losa perimetral. Para la medida del movimiento de juntas entre losas se utilizarán los medidores utilizados en las presas de hormigón, aunque las dimensiones de estos aparatos serán las apropiadas al espesor de las losas.

El control de la junta longitudinal entre el plinto o losa perimetral y la pantalla tendrá una aplicación fundamental durante la fase de puesta en carga de la presa. Para realizar este control se suelen instalar dos tipos de medidores: unos para medida de la apertura de la junta y otros de sus deslizamientos. Estos últimos serán de aplicación en las zonas de la junta correspondientes a laderas con fuerte pendiente. La precisión de estos medidores deber ser de $\pm 0,1$ mm.

4.4.5.3. Control de cargas

El control de cargas efectivas en elementos de suelos impermeables de disposición vertical o asimilable, sobre la cimentación, tendrá gran relevancia para controlar un posible efecto de cuelgue, ya referido en el apartado 4.3. Los puntos de medición se distribuirán en el contacto de dicho elemento con la cimentación y por perfiles.

Para medir las cargas efectivas en rellenos impermeables de la presa se instalará un piezómetro próximo a cada célula de carga, aunque a una distancia en la que no esté perturbada la presión intersticial del medio a controlar.

4.4.5.4. Auscultación sísmica

Para medir la sismicidad natural e inducida será de aplicación lo descrito en el apartado 4.2.6 y se instalarán acelerógrafos de acuerdo con lo especificado en el punto 4.3.2.6.

5.

AUSCULTACIÓN DE PRESAS ANTIGUAS Y SU CIMENTACIÓN

5.1. GENERALIDADES

En este capítulo se contemplan aquellas presas construidas y en régimen de explotación, que no poseen dispositivos de auscultación o éstos son insuficientes, inadecuados, o total o parcialmente inservibles.

La auscultación a implantar en estas presas se realizará en dos fases:

La primera debe ser lo más practica y sencilla, tendrá como principal objetivo determinar los valores reales de los parámetros más significativos y así poder estimar los coeficientes de seguridad utilizados..

En **una segunda fase** se partiría de los datos obtenidos habitualmente en un período comprendido entre un año y medio y tres años, ampliando o modificando la auscultación establecida.

Se prestará especial atención al proyectar la auscultación de estas presas a:

- a) Su historial, analizando previamente los problemas surgidos (envejecimiento de materiales, evolución de discontinuidades en la estructura y cimentación, anomalías por acciones sísmicas, deterioros por avenidas, altura de sedimentos en el embalse, expansiones del hormigón, etc...).
- b) Los datos de auscultación si los hay.
- c) Una inspección meticulosa visual y mediante ensayos de la estructura , su cimentación y su entorno.

5.2. PRESAS DE FÁBRICA

En el caso de que la presa considerada no presente problemas especiales, se proyectará un sistema básico de auscultación para medir:

- Filtraciones en el cuerpo de la presa y cimiento, determinando el total y separando las procedentes de cimientos, laderas, galerías y algún accidente geológico importante que pudiera haber.
- Subpresiones en tres o cuatro perfiles principales.
- Movimientos de la estructura y cimentación. En este control tendrá gran importancia la implantación de algún péndulo invertido, que se procurará complementar con algún sistema sencillo de auscultación topográfica de precisión (planimetría y altimetría).
- Realización de uno o dos sondeos de reconocimiento de la estructura y cimiento, fundamentalmente para caracterización de los materiales.

Asimismo, siempre es importante comprobar el estado de la red de drenaje, recuperando su eficacia y reperfando nuevos drenes en el caso de que se considere necesario.

Si la presa es importante o de alto riesgo, y se conocen problemas específicos se potenciarán los controles previstos anteriormente y se programarán ensayos especiales utilizando tecnologías de vanguardia, tales como la liberación tensional para determinar tensiones en zonas de concentración, o la tomografía para la identificación de distintos materiales, huecos, porcentaje de sílice, asimetrías térmicas, etc. Siempre se deben evitar los métodos en los que no esté perfectamente clara su eficacia. En los casos en que sea preciso el control exhaustivo debería ser automatizado.

Los sistemas de auscultación, parámetros a medir y sensores son los indicados en los capítulos 3 y 4 y los cuadros nº 2, 3, 4 y 5 de esta Memoria.

Como ejemplos, en el Anejo nº 2 se recoge la auscultación realizada en las presas de Aguilar de Campoó (gravedad, planta recta) y de Bubal (arco-gravedad de gran altura).

Como guía orientativa de los programas de lectura a realizar puede servir el establecido en el cuadro nº 6 para la fase de explotación normal corregido en función de la edad según se puede apreciar en el cuadro nº 10.

5.3. PRESAS DE MATERIALES SUELTOS

En una presa de materiales sueltos los controles a establecer en la primera fase son:

- Filtraciones por el cuerpo de la presa y por la cimentación, con atención singular al caudal, coloración y depósitos. Para alcanzar este objetivo se instalarán varios aforadores zonales y por lo menos uno totalizador.

Deformaciones absolutas y relativas en el cuerpo de la presa y cimiento, para lo que normalmente se utilizarán métodos topográficos de precisión (colimaciones, trisección o bisección, distanciometría y nivelación).

Si los resultados obtenidos en la auscultación de primera fase, indican que la seguridad de la presa está muy ajustada, el sistema de auscultación se complementaría según lo indicado en los capítulos 3 y 4 y en los cuadros n^{os} 7 y 8 de la Memoria. A su vez el cuadro n^o 10 define un programa orientativo de mediciones e inspecciones.

5.4. ENVEJECIMIENTO Y DETERIORO

Cuando en una presa se detecte un deterioro significativo en la estructura o su cimiento, se deberá proceder a:

- Una inspección visual detallada.
- Un análisis profundo de todos los datos obtenidos en la vida de la presa.
- Un estudio del proyecto.

Con toda esta información se proyectará una auscultación que contemplará las siguientes fases:

- * **Inicial** para determinar la causa del deterioro, y la evolución temporal de las variables que tienen una relación más significativa con el mismo.
- * **Por aproximaciones sucesivas** hasta conocer la evolución temporal del deterioro y su paralización, una vez adoptadas las medidas y soluciones de reparación.

En muchas ocasiones la auscultación adoptada en la primera fase será suficiente para los períodos posteriores de explotación en obra.

Para proyectar la auscultación a implantar en estos casos deberá evaluarse si el envejecimiento o deterioro se debe:

- * **A problemas estructurales** (presa y cimiento).
- * **A problemas intrínsecos a los materiales** que forman la estructura y su cimiento entre ellos reacciones expansivas que se suelen manifestar por fisuraciones indicadores del deterioro.

La auscultación inicial se deberá establecer según la anomalía detectada debiéndose considerar los controles y ensayos que se indican en los cuadros n^o 11 y 12.

Se tendrá en cuenta si la anomalía detectada pudiera catalogarse según el documento "Deterioros de presas y embalses. Diciembre de 1.983", elaborado por el ICOLD, o bien según algún catálogo reconocido. En esencia, en la mayor parte de los casos el deterioro o envejecimiento se manifestará por:

- * Un aumento de las filtraciones internas o externas.
- * La aparición de fisuras estructurales u otras como las mapeadas que a veces se definirán con sistemas de detección especiales (acústicos, etc...).
- * La degradación del material constitutivo de la presa o su cimiento (a veces con disolución de material).
- * Un hinchamiento que produce alteraciones estructurales, como pueden ser fisuraciones y cierre de juntas de retracción.

Para detectar el origen de los deterioros de los materiales normalmente se procederá a realizar sobre muestras:

- * Ensayos físicos, mecánicos e hidráulicos.
- * Análisis químicos.
- * Observaciones con microscopio electrónico.

Cuando la estructura presente problemas generalizados puede resultar necesario realizar taladros en la misma o en su cimiento, efectuar ensayos dinámicos, utilizar tomografía e introducir cámaras de TV para la observación del material (microfisuras, aureolas en los áridos, disoluciones, etc...).

En casos especiales en los que se sospeche la existencia de estados tensionales elevados en la estructura o su cimiento, para hacer posible un diagnóstico, podrá ser necesario realizar ensayos especiales (liberación tensional, corte u otros).

Una vez identificado el tipo de deterioro o envejecimiento (causas y efectos) se procederá a proyectar un sistema de auscultación según se indica en los cuadros nº 11 (presas de hormigón y mampostería) y nº 12 (presas de materiales sueltos).

Si el sistema de auscultación instalado en la presa se ha deteriorado, o ha envejecido, de forma que no pueda utilizarse para conseguir los objetivos expuestos en capítulos anteriores de esta guía, se procederá a un reacondicionamiento del mismo que se realizará teniendo en cuenta las conclusiones de comportamiento obtenidas.

Deterioro		Trabajo o control a realizar	Equipo o sistema a utilizar
* Aumento de las filtraciones en interior o exterior (en galerías, entre tongadas, o aguas abajo de la presa). * Alteración física o química de las aguas filtradas		* Aforo Medición de subpresiones Sismicidad inducida o ambiental (***) * Análisis de las aguas filtradas	* Ver cuadro nº 2 * Análisis químicos Análisis de partículas Difractometría
Fisuración		* Medición del ancho y profundidad de las fisuras * Localización de fisuras en la estructura y cimiento * Evolución temporal de los movimientos de fisuras * Ensayos tensionales (*) * Evolución tensional (**) * Expansión del hormigón (*) * Asientos diferenciales * Temperaturas de hormigón * Sismicidad inducida o ambiental (***) * Carbonatación del hormigón próximo a armaduras.	* Detección acústica y observación con lupa graduada. * Detección eléctrica, radioeléctrica y tomografía. Ensayos Lugeon o Lefranc * Ver cuadro nº 3 * Liberación tensional * Extensometría en hormigón * Extensometría de gran base * Auscultación geodésica * Termómetros * Acelerógrafos y sismógrafos * Medidores de resistividad eléctrica
Irreversibilidad de los movimientos de las juntas de construcción o retracción.		* Movimientos de junta * Expansiones hormigón (*) * Retracciones autógenas del hormigón (*) * Deslizamiento de bloques * Sismicidad inducida o ambiental (***)	* Ver cuadro nº 3 * Dispositivos especiales y extensometría de gran base * Ver cuadro nº 2
Irreversibilidad de los movimientos del cimiento		* Movimientos de accidentes geológicos * Deformaciones del cimiento	* Ver cuadro nº 2. * Ver cuadro nº 2.
Alteración de los materiales de la presa y su cimiento	* Carbonatación hormigón * Disolución y disgregación * Expansión del hormigón e hinchamiento del cimiento * Ataque bacterias * Degradación del hormigón * Desconchones y superficie	* Análisis, ensayos y observación visual. * Ensayos y observación visual * Análisis, ensayos y observación visual * Análisis y ensayos * Análisis, ensayos, observación, auscultación hielo-deshielo * Ensayos tensionales (*)	* Análisis mineralógicos, ensayos mecánicos y microscopía electrónica (3) * Coeficiente porosidad y permeabilidad, densidad, constantes mecánicas. * Análisis mineralógicos, ensayos pasta de cemento y áridos. Observación del interface pasta de cemento-árido. * (3) Termómetros

(*) Realizar en algunas estructuras con deterioros transcendentales progresivos

(**) A instalar en zona con posibles tracciones

(***) Realizar en deterioros transcendentales localizados en zonas de sismicidad media o alta según NSCE-94

Cuadro nº 11. Auscultación de presas de hormigón y mampostería con deterioro o en situación de envejecimiento.

Deterioro		Trabajo o control a realizar	Equipo o sistema a utilizar
* Aumento de las filtraciones y fugas en galería y/o exterior * Disminución de la estanqueidad presa. Erosión * Humedades de la presa y cimiento * Rotura de pantallas (*) * Alteración física o química de las aguas filtradas		* Aforos * Presiones intersticiales Detección de vías de agua Ensayos * Presiones intersticiales. Inspeccionar vegetación y color de los materiales * Presiones intersticiales * Análisis de las aguas filtradas	* Ver cuadro nº 2 * Piezómetros a instalar en taladros. Radar. Tomografía. Termometría. Métodos geoelectrónicos. Trazadores * Piezómetros y termografía * Piezómetros * Análisis químicos Análisis de partículas Diffractomía
Fisuración (*)		* Medición del ancho y profundidad de fisuras. Inspección visual. * Evolución temporal de los movimientos de las fisuras y de la presa. * Asientos diferenciales y deslizamientos en laderas * Degradación escolleras * Cavidades, zonas decomprimidas * Subfusión (**)	* Detección acústica. Georradar. Nonius. TV * Auscultación topográfica, Medidores de hilo. Inclinómetros. * Auscultación topográfica, medidor de posicionamiento por satélite. Células hidráulicas en superficie * Auscultación topográfica (asientos). Ensayos de material. * Georradar. * Piezómetros. Ensayos con penetrómetro Inspección visual exterior a la presa.. * Piezómetros * Ver cuadro nº 2
Alteración de los materiales de la presa y su cimiento	* Disolución y disgregación cimiento	* Análisis y ensayos de muestras. Observación visual	* Análisis mineralógicos, ensayos físicos y microscopía electrónica. Diffractomía
	* Disolución de los materiales de núcleos impermeables	* Análisis y ensayos de muestras. Observación de los arrastres en fugas y filtraciones	* Análisis mineralógicos, ensayos geofísicos y microscopía. Diffractomía
	* Degradación de protecciones de paramentos y materiales	* Análisis y ensayos. Observación visual	* Análisis mineralógicos, ensayos físicos y mecánicos

(*) En el deterioro de plintos y galerías de hormigón ver cuadro nº 11

(**) Arrastre de partículas pequeñas entre otras más gruesas, en interior de materiales o en contactos.

(***) Instrumentar en deterioros transcendentales en zonas de sismicidad media y alta según NSCE-94

Cuadro nº 12. Auscultación de presas de materiales sueltos en situación de deterioro envejecimiento

5.5. RECRECIMIENTO Y REFUERZO DE PRESAS

En los recrecimientos y refuerzos de presas se deberá efectuar un proyecto de auscultación, en el que se tenga en cuenta el monolitismo de la estructura, el reacondicionamiento y ampliación de los controles y con frecuencia la automatización de la toma de lecturas. Este proyecto considerará de forma preferente:

- * La junta de unión de la estructura antigua y su recrecimiento o refuerzo. Los conceptos y tipos de control serán claramente diferenciados según los nuevos materiales a utilizar sean coherentes o no.
- * Las variaciones deformacionales y tensionales a que se someterá al cimientado de la presa.
- * La existencia de anclajes activos o pasivos en el recrecimiento o refuerzo.
- * Los efectos de distorsión que las nuevas cargas producirán en la estructura, especialmente los asentamientos diferenciales y las deformaciones en la zona de unión en presas de materiales sueltos.

Si el recrecimiento o refuerzo se realiza con materiales coherentes sobre una presa de hormigón o mampostería, será importante el control de la junta en el interior y exterior. Habitualmente en estas uniones se dispone de una galería de reconocimiento y visita en la que se puede instalar un control tridimensional (X,Y,Z) en la superficie de la junta.

En el caso de disponerse de anclajes activos o pasivos para mejorar las condiciones de trabajo del refuerzo, se controlará la tensión en los primeros mediante células de carga y en los segundos mediante extensómetros o células tensionales.

Los efectos de distorsión de la propia estructura y su cimientado pueden obligar a establecer controles deformacionales, en los que la topografía y extensometría de gran base serán opciones prioritarias. (ver cuadros nº 2, 3 y 7). Asimismo pueden producirse alteraciones en la red de filtraciones que pueden requerir el control de subpresiones o presiones intersticiales mediante piezómetros.

Ejemplo de presa recrecida que ha sido instrumentada es la de Torre del Águila (Sevilla), de la cual puede verse la instrumentación realizada en el Anejo 2 de esta Guía.

6.

AUSCULTACIÓN DE LADERAS

6.1. GENERALIDADES

El proyecto y construcción de una presa contemplará el estudio y cartografía de riesgos de las laderas próximas a ella, considerando la existencia de taludes naturales o artificiales inestables, que produzcan deslizamientos, desprendimientos, vuelcos o flujos. Asimismo hay que destacar la importancia del análisis del estudio geológico inicial y para conocer las discontinuidades etc., sobre todo cuando se trata de macizos rocosos.

De acuerdo con estos estudios, en los que se consideran las características geológicas, geomorfológicas, geotécnicas, medioambientales y funcionales de la zona afectada, podrá ser necesaria la auscultación de la misma, que servirá para la determinación del coeficiente de seguridad de la inestabilidad, así como para controlar su evolución posterior.

En esta auscultación se tendrán en cuenta dos fases:

- Una relativa a la construcción de la obra
- Otra relativa a la primera puesta en carga y fases posteriores en las que se contemplará la influencia de las variaciones del nivel del embalse.

En la auscultación a establecer, será básico considerar:

- Si la zona inestable está constituida por roca dura, blanda o suelo, con especial atención a morrenas activas o rellenos.
- La delimitación del área afectada y del plano principal de deslizamiento, así como otros secundarios que pudieran existir.

- El volumen de material inestable, que permitirá clasificar el riesgo como problema de gran magnitud o de pequeña magnitud.

Como principales acciones exteriores a considerar en los controles a establecer se considerarán:

- Las variaciones de la carga hidrostática en laderas sumergidas.
- Las temperaturas ambientales, que influyen en el deterioro de talud.
- Las precipitaciones de lluvia y nieve.
- Las acciones sísmicas en zonas de riesgo medio o alto.
- La microsismicidad inducida por la creación del embalse.
- El aumento de cualquier carga gravitacional sobre la zona media y superior del talud inestable.

Los controles y equipos a implantar, podrán ser los que se indican en el cuadro nº 2 de esta Memoria, que básicamente corresponderán a variables de control de tipo:

- Hidráulico (niveles freáticos, subpresiones y filtraciones)
- Deformacional

En caso de arrastres por avenidas o penetración de flujos (morrenas) en el embalse será importante la evaluación (potencia, características geométricas, etc...) de éstos por métodos de detección submarina (cadenas, sondas o sonar).

6.2. HIDRÁULICA

En taludes inestables, especialmente los de gran magnitud o media, tendrá gran importancia la auscultación hidráulica del mismo, para lo cual se controlarán:

- a) **El nivel freático** en uno o varios perfiles, su variación con las lluvias y con los niveles del embalse si procediera, así como las presiones hidrodinámicas en el caso de embalses situados en zonas de sismicidad media-alta según NSCE-94.

Para efectuar estas mediciones se instalarán piezómetros de tipo abierto o cerrado. En los casos de difícil acceso o en los que se precisen mediciones frecuentes para un seguimiento intensivo, podrá ser oportuno la implantación de un sistema automático de lecturas, de alarmas así como el accionamiento de bombas que rebajen el nivel freático.

El control de los perfiles establecidos permitirá el trazado del nivel freático de pie a cabeza del talud, y en algunos casos otros perpendiculares a los anteriores en las zonas inferior, media y superior. Estos datos se compararán con los introducidos en los modelos matemáticos establecidos. Estos piezómetros deberán penetrar en el substrato inferior a la superficie principal de deslizamiento.

Si en el talud a controlar existieran o se realizaran drenajes (taladros, pozos de pie, tubos, etc...) la piezometría instalada deberá controlar su eficacia.

- b) **Los caudales y localización** de las filtraciones existentes que puedan tener relación con la inestabilidad, especialmente en el pie del talud, asimismo las procedentes del drenaje realizado, las cuales se relacionarán con las acciones exteriores (precipitaciones y variaciones del nivel del embalse) y los controles de deformacionales establecidos.

6.3. DEFORMACIONAL

El control de deformaciones, desplazamientos y velocidades permitirá conocer la evolución de la zona inestable de una ladera. Se establecerá de acuerdo con el tipo de movimiento esperado (deslizamiento, desprendimiento, vuelco o flujo).

Para conocer y evaluar el volumen de la masa afectada y poder obtener datos de partida para el cálculo de estabilidad será imprescindible determinar el plano principal y los secundarios de deslizamiento o rotura, si existieran. En los deslizamientos y flujos tendrá gran utilidad para esta determinación la instalación de tubos de inclinómetro, empotrados un mínimo de 1 m en el sustrato fijo. Sin embargo, en los desprendimientos y vuelcos serán de la mayor utilidad los extensómetros de gran base de medida (normalmente del tipo de varillas o de hilos).

En presas de altura superior a los 100 m o en laderas con fallas y heterogeneidades importantes se deberá determinar si en la zona del vaso existe microsismicidad inducida, y en caso afirmativo, la relación de la evolución de los movimientos y deformaciones de la masa inestable con los eventos sísmicos.

En el control de movimientos y deformaciones milimétricas en los que el rango total previsible no sobrepase unos 15 cm. se utilizan tuberías de inclinómetro. Para movimientos importantes los controles se establecerán en superficie y podrán ser:

- * Topográficos
- * Fotogrametría en tiempo real
- * Jalones o tubos de referencia alineados en la dirección principal del movimiento y en otras varias perpendiculares a ésta, con referencias externas a la inestabilidad.

Cuando los movimientos sean importantes, (decimétricos), a gran escala, y se prevean controles a largo plazo, podrá ser de gran utilidad para su análisis y control la utilización de fotogramas estereográficos y en especial de los sistemas de referencia detectores de posición mediante satélite.

En los desplazamientos será muy importante el control de las velocidades de la masa afectada así como su evolución temporal.

Otros controles que podrán implantarse en las laderas inestables, podrán ser los siguientes:

- Cargas de anclajes activos o pasivos para sujeción de zonas inestables, mediante la utilización de células de diversos rangos, (normalmente hasta 2000 Tm).
- Tensiones en sistemas de sujeción de hormigón en masa, hormigón armado y pilotes, contruidos para dar estabilidad a taludes. En este control se utilizarán extensómetros eléctricos o mecánicos.

- Giros en cabeza de taludes y muros de pie utilizando clinómetros fijos o móviles.
- Aperturas y deslizamientos en grietas y fisuras, con bases de defómetro, hilos de invar o cables tensados con contrapesos, etc. Su selección se realizará dependiendo de la apertura y longitud de las grietas, así como del rango del movimiento previsto.

En este tipo de inestabilidades es muy normal que se tengan variables estacionales de movimiento, y que los controles se inicien con equipos de gran rango y menor precisión lo que habrá que tener en cuenta al proyectar la auscultación.

7.1. LATOMADE DATOS

La eficacia de un sistema de auscultación especialmente en la puesta en carga crece en relación inversa con el tiempo que transcurre entre la toma de un dato en campo y el análisis por parte del Ingeniero responsable de la seguridad de la presa.

Por lo tanto, realizar una lectura rápidamente y con fiabilidad, transformarla en unidades físicas de ingeniería, validarla y analizarla, y correlacionarla con otras variables, son un conjunto de tareas que debe tener solucionado cualquier sistema de auscultación a implantar.

Si además del tiempo, analizamos los factores que intervienen desde que se toma una lectura hasta que se redacta un informe, veremos que son principalmente tres los que influyen en el resultado final.

Estos factores son:

1. Tipo y calidad de los sensores (ver Anejo nº 1).
2. Métodos de adquisición de datos. Medición manual o automática (ver apartado 7.2).

Optimizar cada uno de estos factores es algo prioritario que todo sistema de auscultación debe programar y conseguir.

7.2. MÉTODOS DE ADQUISICIÓN, MEDICIÓN MANUAL Y AUTOMÁTICA

Los métodos de adquisición de datos dependerán del tipo de sensores utilizados y que en esencia se fundamentarán en los siguientes principios físicos, (ver Anejo nº 1):

- * Eléctricos y electromagnéticos
- * Mecánicos
- * Hidráulicos y neumáticos
- * Ópticos.
- * etc.

De acuerdo con el principio físico utilizado deberá efectuarse la elección del método de medida.

Los sistemas de medición a utilizar pueden ser de dos tipos:

- **De lectura manual**, con equipos fijos o portátiles
- **De lectura automática**

Sobre la utilización del sistema manual ó automático, hay divergencias importantes: algunos países defienden que la automatización sea prácticamente obligatoria, mientras que otros consideran que en el caso de automatizar se perderían parte de las observaciones visuales **que siempre serán necesarias en una presa.**

La opinión más generalizada es que ambos sistemas son compatibles y deben utilizarse conjuntamente.

Los sistemas de adquisición de datos automáticos, son cada día más potentes, el volumen de información que pueden obtener y manejar es un problema menor, la fiabilidad en el tratamiento de la información crece con rapidez, los sistemas de transmisión que llevan incorporados suministran al Ingeniero información prácticamente en tiempo real, la capacidad para incluir alarmas y test de calibración y comprobación es cada día mayor, la posibilidad de relacionar los datos que se van obteniendo con la instrumentación con los calculados mediante modelos, bien sean deterministas o estadísticos, representan una gran ayuda en el momento de interpretar. Es decir ventajas que no pueden ser desechadas.

No obstante, estos sistemas tienen desventajas como son: necesidad de personal más cualificado, obligatoriedad de establecer un programa de mantenimiento y calibración periódico, tanto correctivo como preventivo, peligro de que las observaciones "in situ" no se realicen con la frecuencia necesaria.

Para evitar las desventajas y potenciar las ventajas, se deben establecer unas normas de explotación claras y rigurosas donde se conjuguen ambos sistemas, empleando por una parte los manuales para obtener algunas de las magnitudes que bien no pueden ser automatizadas o bien otras cuya información interesa a largo plazo.

Los casos en que es más recomendable la implantación de un sistema automático son:

- * Presas de acceso difícil durante todo el año o en el período invernal.
- * Necesidad de medir variables de control que fluctúan con rapidez.
- * Presas de gran altura y normalmente con gran número de sensores.
- * Necesidad de un análisis rápido de las mediciones.
- * Presas con consideraciones particulares de tipo social (especialmente las de riesgo elevado) y ambiental.

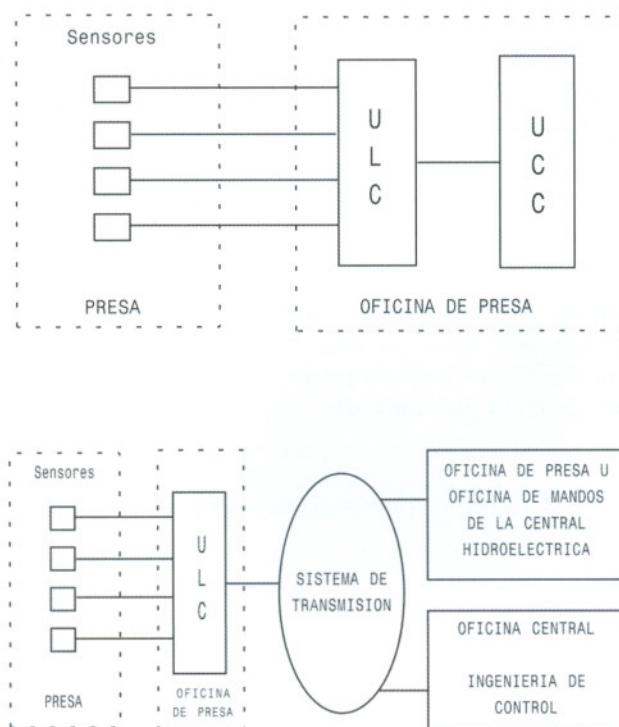
Los sistemas automatizados pueden ser centralizados o distribuidos. En los primeros los cables de los sensores llegan a una entrada de proceso de datos o varias interconectadas entre sí y en los segundos están acoplados directamente a una red, normalmente en anillo, a través de unidades microcontroladoras inteligentes, que se encargan del proceso de medición, almacenamiento de datos y cálculo de las variables en unidades físicas de ingeniería.

Con los sistemas distribuidos se tienen ventajas, como son ahorro de cables, y la no paralización integral del sistema de auscultación automatizado, en caso de averías locales.

En las figs. n^{os} 1 y 2 siguientes se puede apreciar de forma esquemática la arquitectura de ambos sistemas automáticos.

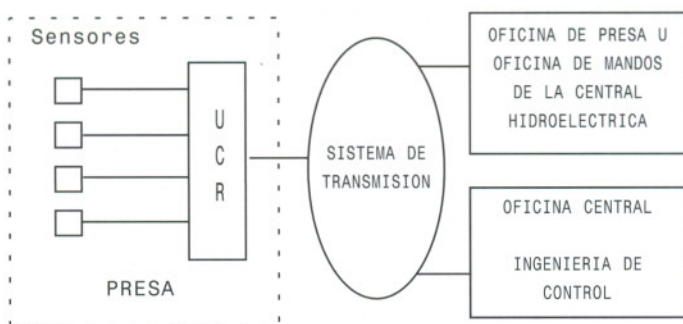
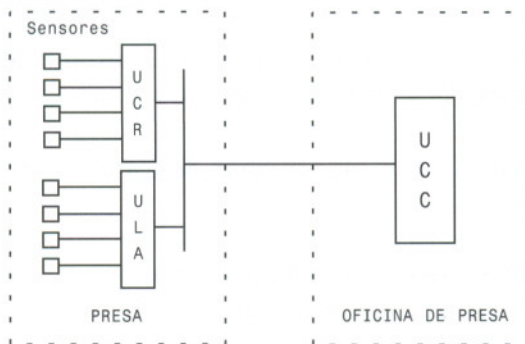
Conjugando la utilización de los sistemas manual y automático, se puede obtener de cada uno lo mejor, garantizando que las presas estén controladas y al mismo tiempo vigiladas y observadas por vigilantes y personal técnicamente preparado, que aportará su experiencia a la mejora de ese control.

En el cuadro n^o 13 se resume la facilidad e importancia de la automatización de algunos de los sensores más utilizados en la auscultación de presas.



ULC = Unidad Local de Control
UCC = Unidad Central de Control

Fig. 1. Esquema del sistema de automatización centralizada



UCR = Unidad de Control Remoto (cada sensor o grupo de sensores, tiene su propia UCR inteligente)
 ULA = Unidad Local de Auscultación
 UCC = Unidad Central de Control

Fig. 2. Esquema del sistema de automatización distribuido

Parámetro	Importancia de la Medición			Método de Instrumentación	Facilidad de Automatización	Importancia de la Automatización
	Presa Arco	Presa Gravedad	Presa Tierras			
Nivel del embalse	1	1	1	Medidor de presión o láser	a	1
Deformaciones, Desplazamientos Asientos	1	1	1	Vigilancia Geodésica Nivel Hidráulico Medición de posicionamiento por satélite. Péndulos Extensómetros Medidores de juntas y grietas Clinómetros	b a(th),b c a a a(th),b a(th),b	3(1-2***) 3 3 1 2-3(1-2*) 3(1-2**) 2-3(1-2*)
Filtraciones, Drenaje, -Flujos	1	1	1	Aforos, medidores de presión, mediciones de velocidad.	a	1
-Turbidez	1	1	1	Turbidímetros	a-b	3
Subpresión Presión intersticial	2	1	1	Piezómetros, tubos abiertos, manómetros, pozos.	a	2-3 ***
Temperaturas -Aire -Agua -Hormigón	1-2	1-2	3	Termo resistencias	a	2 3 2
Precipitaciones	3	3	2	Pluviómetros y pluviógrafos	a	3
Tensiones, deformaciones	3	3	3 (2)	Células de presión total. Medidores de deformación	a	3
Aceleraciones sísmicas	+	+	+	Acelerómetros Sismómetros	a	+
Posición de compuertas y válvulas	1	1	1	Sensores de posición ("apertura/cierre" o grado de apertura)	a	1-2
Calidad del Agua	1	1	1	Análisis químico, medidor de presión	b	1
Caudales afluentes y efluentes	3	3	3	Medidores de nivel por Presión, ultrasonidos y caudalímetros	a	3

ImportanciaAptitud

- 1) Se recomienda siempre
2) Recomendada cuando
no sea muy cara
3) Recomendada en algún
caso

- a) Fácil de automatizar
b) Posible de automatizar
c) No automatizable
a (th) Fácil considerando los valores
límite

- * Recomendada si no hay péndulos.
** Automatización recomendada para
presas de gravedad con bloques
independientes.
*** Automatización que puede ser
recomendada para la auscultación
deslizamientos de laderas.
+ De acuerdo con la sismicidad de la zona de
presa

Cuadro nº 13. Cuadro resumen de las posibilidades actuales de automatización y su importancia.

7.3. INSPECCIÓN VISUAL

7.3.1. Visitas detalladas

Las visitas a presas y la inspección visual detallada es importante, complementa a la adquisición de datos por los sistemas de auscultación implantados y siempre son necesarias.

Estas visitas las realizarán técnicos cualificados (no los técnicos que se dedican a realizar las lecturas normales) y en ellas se observarán y anotarán, entre otros, los siguientes aspectos:

- Estado del terreno aguas abajo de la presa, prestando especial atención a las variaciones en los caudales fluyentes, en la vegetación que puedan indicar posibles filtraciones, humedades o humedales, desprendimientos, movimientos y cualquier otra cosa que pueda indicar algún comportamiento anormal.
- Zona de impacto o salida del agua del aliviadero, con especial atención a posibles erosiones, para esto se utilizarán, como datos comparativos, las fotografías realizadas en fechas anteriores.
- Humedades o fisuras en el paramento, tanto de aguas abajo como de las galerías y cuando sea posible en el de aguas arriba.
- Posibles deslizamientos, huecos, socavones, asientos, etc., tanto en los taludes como en la coronación de las presas de materiales sueltos.
- Variaciones de caudales, color del agua, materia en suspensión, etc., de los caudales drenados, así como los posibles arrastres de material sólido.
- Fisuras o grietas en el terreno.
- Estado de conservación de los distintos dispositivos de auscultación, compuertas, barandillas, escalera y en general de todos los equipos instalados en la presa, tanto de auscultación como de cualquier otro tipo.
- Estado de los accesos, medios de comunicación y dispositivos de seguridad.
- Estado de conservación de la estructura, es decir, posibles muestras de alteraciones en el hormigón o en la escollera visibles en galerías y paramentos.
- En general cualquier otro signo, tanto en el terreno como en la propia estructura, que pueda tener relación aunque sea remota, con el estado de seguridad de la presa, como por ejemplo posibles desprendimientos de rocas que puedan afectar a las instalaciones y sus accesos.

Asimismo estará incluido en estas visitas la comprobación del estado de conservación de los distintos aparatos de auscultación y se prestará especial atención a la existencia o no de anomalías que distorsionen los parámetros medidos, como por ejemplo, aislamiento de los aparatos eléctricos, espacio libre entre el hilo de los péndulos y las paredes del taladro

o pozo en que va instalado, posibles fugas de agua no controladas en los dispositivos de aforo, etc.

7.3.2. Tomas fotográficas

Se tomarán fotografías siempre desde el mismo punto, con objeto de que puedan compararse entre sí en fechas distintas y observar en ellas posibles evoluciones de humedades, erosiones, etc.

Las fotografías deben tomarse de las siguientes zonas:

- Paramentos de la presa.
- Estribos.
- Terreno aguas abajo de la presa (laderas y cuenco), abarcando una zona amplia.
- Canal del aliviadero.
- Zona de influencia del aliviadero en el cuenco, para controlar posibles erosiones.
- Laderas aguas arriba de la presa.

Se indicará la fecha, hora del día y estado del tiempo.

Al realizar las fotografías se tendrá especial cuidado en que tanto el emplazamiento como la orientación de la cámara sean siempre los mismos. También se procurará realizarlas a la misma hora y en la misma fecha del año.

8.

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

8.1. CRITERIOS GENERALES

A partir de la información suministrada por los distintos sensores y adquirida bien manual o automáticamente, debe iniciarse rápidamente la fase de interpretación de datos y la consiguiente redacción de informes, llevándose a cabo en dos etapas claramente diferenciadas.

En la primera, un Ingeniero con experiencia contrastada en el análisis de datos de auscultación, con conocimiento de los problemas y características de la presa, debe realizar un análisis previo de causas y efectos que le permitan apreciar rápidamente, después de relacionarlos entre sí, cuales de los parámetros controlados se desvían de los previstos (por ejemplo la existencia de desplazamientos no esperados, filtraciones importantes, subpresiones o presiones intersticiales altas, etc...), que requieren un análisis más detallado y profundo.

Esto obliga, en el caso de algunos datos, a un nuevo proceso de elaboración para obtener información adicional sobre aspectos concretos y de interés. Por ejemplo:

a) En presas de fábrica.

Isotermas, distribución de la temperatura del agua, estados tensionales y deformacionales, comportamiento hidráulico de la cimentación (ley de subpresiones, filtraciones, etc.)

b) En presas de materiales sueltos.

Estados globales de presiones intersticiales, totales, efectivas, filtraciones y asientos etc...

Estas nuevas informaciones en la primera etapa son muy útiles puesto que, el análisis global de una situación concreta permite obtener conclusiones sobre aquellos aspectos que deben seguir siendo estudiados y aquellos otros cuyos valores indican una estabilización.

La segunda etapa que no es tan empírica se inicia en la comparación de los resultados obtenidos a partir de mediciones reales con las previsiones realizadas mediante modelos.

Para su realización, el Ingeniero responsable de esta segunda etapa debe disponer, además de todos los datos de auscultación medidos, al menos de la siguiente información:

- Proyectos que sirven o han servido de base para la ejecución de la presa, con los informes geológicos, geotécnicos e hidrológicos que se utilizaron para su elaboración.
- Resultados de los ensayos y análisis realizados para comprobar la calidad de las obras.
- Información geológica adicional obtenida durante la ejecución de las obras.
- Cambios introducidos en el proyecto durante la construcción.
- Tratamientos de consolidación, impermeabilización y drenaje.
- Normas, inicialmente previstas de operación y mantenimiento.
- Modelos de cálculo utilizados antes del proyecto, durante el mismo, y en la época de construcción.

Con estos datos se inicia el proceso de interpretación propiamente dicho, variable según la fase.

8.1.1. Durante la construcción

La interpretación de los resultados durante la construcción de la presa atenderá especialmente a:

- * Evolución térmica de las tongadas y bloques en las presas de hormigón, con atención especial al proceso de fraguado de las tongadas, así como a la eficacia de la refrigeración artificial de éstas si existe.
- * Estados tensionales de las presas de hormigón y en especial las de bóveda y arco-gravedad, en distintas situaciones de carga por peso propio y efectos térmicos, comparándolos con los del cálculo de la presa.
- * Evolución temporal de los movimientos de las juntas y bloques, así como los giros de la estructura.
- * Asientos y posible cuelgue de núcleos impermeables de presas de materiales sueltos.
- * Presiones intersticiales en núcleos de presas impermeables, comparándolas con las previstos en proyecto.

- * Evolución temporal de asientos diferenciales de la presa, así como de las grietas y fisuras, si aparecen.
- * Movimientos de fallas y accidentes geológicos.
- * Existencia y evolución de posibles variaciones autógenas de volumen (expansión y/o retracción) y sus efectos.
- * Determinación de constantes físicas y mecánicas del material de la estructura en construcción.

En este período se debe pretender no solo obtener información sobre el comportamiento de la presa, sino contrastar los desvíos de las variables controladas con las previstas en proyecto.

8.1.2. Durante la puesta en carga

La interpretación de resultados durante esta fase será de gran importancia, y por ello el programa de llenado debe ser realizado al finalizar la construcción según se indica en la Guía Técnica nº 6 y teniendo en cuenta el artículo 28 del Reglamento Técnico sobre seguridad de presas y embalses.

En esta fase se prestará especial cuidado a los datos relativos a:

- * Deformadas de la estructura y cimiento.
- * Comportamiento hidráulico tanto en cimiento como en cuerpo de presa en el caso de materiales sueltos.
- * La evolución temporal de las tensiones absolutas.
- * Las posibles leyes que regulan la evolución temporal de las filtraciones internas y externas.
- * El análisis de espectros de desplazamientos, velocidades y aceleraciones, registrados por sismos tanto en cimiento como en cuerpo de presa.

En esta fase, como herramienta principal de comparación entre datos medidos y reales se utiliza un modelo determinista ajustado con los datos obtenidos durante la fase de proyecto, y también con los parámetros obtenidos con los ensayos realizados de los materiales realmente colocados en obra.

8.1.3. Durante la explotación

Durante la fase de explotación se fijarán unas condiciones límites con alarmas preliminares de los distintos parámetros que regulan el comportamiento de la presa.

El análisis de los datos se realizará periódicamente, atendiendo a las mismas variables y elementos indicados en el apartado 8.1.2.

El criterio principal se basará en la comprobación de reversibilidad o no de las variables controladas en la presa y su cimiento, ante situaciones similares de las variables exteriores actuantes. En esta fase será necesaria la utilización de modelos estadísticos, deterministas o híbridos.

Cuanto mayor sea el historial de datos de las variables consideradas, la reiteración de datos de las variables meteorológicas y de la carga hidrostática y la calidad de las mediciones, así será superior la calidad del análisis final y conclusiones sobre el comportamiento de la presa.

Estos modelos estadísticos deberán servir también para establecer los valores límites alarma que deberán utilizarse comparativamente al realizar cada campaña de mediciones.

8.2. INFORMES A REALIZAR. CONTENIDO DE LOS MISMOS.

8.2.1. Contenido de cada informe.

Los informes de Auscultación son aquellos documentos en los cuales se plasma la historia de la presa durante el período de estudio, recoge la historia anterior y estima su comportamiento futuro. Por tanto, su interés e importancia es bastante claro y el mismo viene reflejado en el artículo 33 del reglamento Técnico sobre seguridad de presas y embalses.

Cada informe se recomienda conste al menos de las siguientes partes.

- 1º Una memoria dónde se analizará en detalle, todos y cada uno de los datos tomados y su evolución en el tiempo.
- 2º Un resumen de las observaciones "in situ" y de los posibles ensayos realizados en obra durante el período de estudio.
- 3º Un resumen, explicando el modelo aplicado (bien sea estadístico, determinista o híbrido) para comparar las magnitudes reales medidas con las calculadas mediante este Modelo.
- 4º Unas conclusiones de orden práctico que resuman el comportamiento de la presa durante el período de estudio.
- 5º Recomendaciones y cuidados necesarios que deben tenerse al inicio de la siguiente etapa, entre otros el programa de lecturas aplicable, las magnitudes que deben controlarse de manera especial, los incrementos máximos admitidos, alarmas, etc.
- 6º Un Anejo con los planos de situación de los equipos.
- 7º La evolución de las magnitudes controladas, expresadas en unidades físicas de ingeniería y relacionadas con las variables que influyen en su evolución.

8.2.2. Informes durante la puesta en carga

Estos informes deben realizarse, al menos, para cada escalón de carga previsto en el programa de llenado. En el caso de presas de altura > 50 metros, clasificadas en las categorías A y B (en

función del riesgo potencial), se recomienda que se realicen varios informes parciales según la carga hidrostática.

El contenido de cada informe se especifica en el apartado 8.2.1. y no sólo recogerá toda la historia anterior sino que también fijará las condiciones de control y vigilancia futuras, de acuerdo con las condiciones de explotación de la presa.

8.2.3. Informe anual de explotación

Este informe, que se realizará de acuerdo con lo indicado en el artículo 33.2 del Reglamento Técnico, recogerá la evolución de todas las variables medidas e inspecciones realizadas y se presentarán conclusiones sobre el comportamiento de la presa en el período y sus recomendaciones para la explotación del año siguiente.

8.2.4. Informes parciales

Estos informes se redactarán siempre que se detecte algún problema, o en situaciones extraordinarias (sismos, avenidas excepcionales, etc...), analizando cuidadosamente la situación anterior y posterior. Asimismo se realizará una revisión general de todo el sistema de auscultación después de cualquier situación extraordinaria.

8.3. ESTUDIO DE COMPORTAMIENTO DE LA PRESA. MODELOS

8.3.1. Generalidades

Como se ha indicado en el apartado 8.1, en el proceso de análisis del comportamiento de una presa hay dos etapas, **la primera** que consiste en el análisis de datos por parte de un Ingeniero que fundamentalmente utilice su experiencia en análisis de datos de auscultación y su conocimiento de los problemas específicos de la presa y **la segunda** que conlleva la implantación de modelos de comportamiento fiables.

Este problema no es sencillo, fundamentalmente porque es difícil establecer un modelo del comportamiento esperado. Por ello, aunque en general las recomendaciones de diversos países están de acuerdo en las dos etapas planteadas en esta Guía Técnica, consideran que se deben introducir variaciones o buscar vías diversas, dada la importancia de esta segunda etapa y de los procedimientos que haya que utilizar para establecer las previsiones.

Dentro de los métodos posibles el más simple es el estadístico, que 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.

Otro camino es la utilización de un modelo determinista el cual 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. Esto hace posible deducir los valores previstos de una magnitud determinada, independientemente de la historia de la misma.

La aplicación de uno u otro modelo dependerá de la fase en que se encuentra la presa, ya que al inicio de la primera puesta en carga, la historia de la presa es muy escasa y por tanto

obligatoriamente se tendrá que utilizar un modelo determinista preparado durante el proyecto y ajustado al final de la construcción y vuelto a ajustar con los datos suministrados por el sistema de auscultación instalado en la presa.

Con la presa en fase de explotación y por tanto con una historia conocida, el método más inmediato es el estadístico, aunque pudiera pensarse en la utilización de un método mixto, es decir, utilizar un método estadístico para mejorar los parámetros e introducirlos después en el modelo determinista.

Los modelos estadísticos se fundamentan en identificar de acuerdo con la experiencia pasada, en una relación suficientemente precisa y estable entre las variables de control y las variables exteriores, por medio de funciones matemáticas.

El modelo consiste en determinar las funciones y coeficientes que relacionan las variables exteriores (temperaturas del aire, nivel del embalse, lluvias y tiempo) con las variables de control, y contrastar si los valores determinados con el modelo se ajustan a los reales que se obtengan con los aparatos de auscultación permitiendo separar los efectos debidos a carga hidrostática, temperatura y las que sean debido a fluencia, es decir al factor tiempo.

9.

ORGANIZACIÓN Y FORMACIÓN DE PERSONAL

9.1. ORGANIZACIÓN

Un buen servicio de toma de datos, análisis e interpretación y mantenimiento de un sistema de auscultación requiere un personal bien formado y organizado. Las tareas que una organización de este tipo debe realizar son:

- Recoger y procesar información continua que debe ser altamente fiable y suficiente.
- Tener capacidad y conocimientos para mantener los sensores, equipos electrónicos, algunos de ellos complejos.
- Puesta a punto de sistemas informáticos y programas.
- Sintetizar y analizar toda esta información para extraer de ella conclusiones prácticas sobre el comportamiento y la seguridad de la presa y sus cimientos.
- Decidir sobre como proceder en caso de problemas importantes que conllevan situaciones de emergencia.

Todas estas tareas deben realizarse según un proceso ascendente, con niveles perfectamente definidos hasta llegar al Ingeniero responsable de la puesta en carga y explotación de una presa o de un conjunto de ellas.

La organización del personal para la auscultación puede ser muy variada y en general se adapta a las estructuras organizativas de los diversos titulares de las presas. Aquí se describe uno de los posibles esquemas establecido en cinco niveles:

Nivel 1

Responsable del mantenimiento de sensores, equipos electrónicos, sistemas de adquisición de datos y de transmisión.

Nivel 2

Responsable de la adquisición de datos de la instrumentación interna (estructura y cimientos) y externa (triangulación, colimación y nivelación, datos meteorológicos, pluviométricos e hidráulicos).

Nivel 3

Responsable del análisis previo de toda la información, del archivo técnico de la presa, de la clasificación y tratamiento de los datos, dibujo de gráficos y transmisión de la información al nivel superior.

Nivel 4

Responsable de los modelos a aplicar para análisis del comportamiento de la presa, de la conservación, del banco de datos y del plan de calidad.

Nivel 5

Ingeniero responsable de la realización de inspecciones visuales “in situ”, de la seguridad de la presa y de su gestión, y por tanto de la programación de todo el equipo técnico de mantenimiento, toma de datos, su análisis previo, puesta a punto y aplicación de modelos.

ANEJO N° 1
SENSORES Y APARATOS
DE AUSCULTACIÓN

INDICE:

1.	Definiciones	93
2.	Clasificación de los sensores	94
3.	Tipo y calidad de los sensores	95

Cuadro 1 A1.	Principales sensores utilizados en la auscultación de presas. Nomenclatura. Magnitud de medida y campo de aplicación.	96
---------------------	---	----

Cuadro 2 A1.	Simbología y nomenclatura de los aparatos y equipos de auscultación más utilizados en las presas.	108
---------------------	---	-----

1. DEFINICIONES

Sensor. Elemento con la suficiente precisión, sensibilidad, resolución y rango de medida que, instalado en una obra concreta, permite obtener información sobre un parámetro o magnitud física cuya variación en el tiempo interese conocer, lo que realiza mediante la comparación directa con ciertos patrones de medida.

Transductor. Elemento que transforma una magnitud física tal como la longitud, temperatura, etc. en magnitud eléctrica que puede medirse a distancia.

Precisión. Grado de exactitud que se puede obtener al realizar la lectura de una magnitud física con un equipo o sistema de lectura.

Sensibilidad. Menor valor de la magnitud física que puede medir un equipo o sistema de lectura.

Resolución. Menor valor de la magnitud física que puede observar un operador con un equipo o sistema de lectura.

Rango. Intervalo en el cual un sensor puede medir con fiabilidad un parámetro o magnitud física determinado.

Magnitud física. Parámetro o características físicas. Acción o reacción, causa o efecto que mediante la auscultación se pretende conocer o determinar.

Central de lectura. Punto de reunión de varios sensores para su lectura y control.

Aparato de lectura. Equipo lector o registrador de las variaciones de un parámetro determinado.

Elemento de conexión y/o transmisión. Sistema que permite unir el sensor a las centrales de lectura y transmitir las señales que el aparato de lectura envía al sensor, así como las respuestas de éste.

Centro de presentación de datos. Puntos dónde todos o casi todos los sensores de una obra o de varias obras son centralizados y en el cual se instalan los medios suficientes para leer, archivar, procesar y analizar los datos que estos sensores envían.

2. CLASIFICACIÓN DE LOS SENSORES

a) Por el principio físico de medida

- Mecánico
- Eléctrico
- Electrónico
- Mixto
- Hidráulico
- Neumático. Aire o gas inerte
- De nuevas tecnologías (fibra óptica, láser, etc.)

Por el tipo de control

- Estático
- Dinámico

b) Por el sistema de registro y toma de datos

- Manual, lectura directa o indirecta de la característica
- Analógico o digital
- Centralizado o distribuido

3. TIPO Y CALIDAD DE LOS SENSORES

Los cuadros n^{os} 1-A1 y 2-A2 de este Anejo 1 recogen los distintos tipos de sensores que pueden utilizarse para auscultar una presa. Todos ellos, debieran cumplir las siguientes especificaciones:

- 1^a) Ser robustos y lo más simple posible.
- 2^a) Fiables y estables en el tiempo.
- 3^a) Sensibles.
- 4^a) Fáciles de mantener.
- 5^a) Fáciles de leer.

Al mismo tiempo, y especialmente en presas de cierta importancia, los sensores a instalar debieran ser fácilmente automatizables para aprovechar las grandes posibilidades que ofrecen los sistemas automáticos de adquisición de datos, fundamentalmente por la rapidez en manejar el gran volumen de información que los sensores van a suministrar.

Sin embargo, las cinco primeras condiciones y la de ser automatizables, son a veces difíciles de compatibilizar con lo cual hay que buscar un equilibrio entre todas ellas. Al buscar ese equilibrio debemos ser conscientes que debe primar, sobre todas las demás, una condición: la fiabilidad. Nunca se podrá juzgar el comportamiento de una presa si no se está seguro de que los datos que se manejan son fiables.

Por ello, dentro de cualquier proyecto de Auscultación, y en todo lo relacionado con los sensores, siempre hay que basarse en la experiencia existente tanto a nivel nacional como mundial.

Afortunadamente, hoy en día se conoce bastante bien qué sensores son fiables y estables en el tiempo. Estos sensores no sólo deben seleccionarse cuidadosamente sino que deben ser instalados por personal experto, protegidos adecuadamente y mantenidos suficientemente.

Este conjunto de operaciones es muy importante en todo el proceso de auscultación, ya que su correcta realización llevará implícita la obtención de datos de calidad y útiles para el estudio del comportamiento de la presa y su seguridad.

Los cuadros siguientes incluyen información completa sobre: la magnitud física que se mide, el tipo de sensor, el sistema o principio de medida, la simbología que como norma convendría utilizar, las aplicaciones más importantes y unas observaciones específicas para una correcta utilización.

Cuadro. 1 - A1. Sensores utilizados en la auscultación de presas: nomenclatura, simbología, magnitud medida y campo de aplicación

Magnitud física a medir	Sensor o elemento de medición	Nomenclatura	Símbolo	Definición	Sistema o principio de medida	Aplicaciones más importantes	Observaciones
Inclinaciones y giros	Inclinómetro	I		Equipo utilizado para medir inclinaciones o giros en diversos puntos de una misma línea Está compuesto por torpedo, cable y aparato de lectura. El torpedo, que se introduce en un tubo doblemente ranurado, fijando al medio a controlar, permite medir los giros en puntos determinados previamente	El sensor da una señal proporcional a la desviación angular respecto a una línea. La señal que se mide puede ser: • Resistencia óhmica • Frecuencia • Corriente (servoacelerómetros) • Capacidad • Reluctancia	Control de las deformaciones transversales a una línea de presa y su cimiento, así como, cimentaciones, obras de terraplén y escollera	Debe procurarse que: 1) El elemento sensible, por su estabilidad, fiabilidad y precisión, sea un servoacelerómetro. 2) El tubo doblemente ranurado sea de aluminio. 3) El cable esté graduado y señalizado, al menos, cada 0,5 m Hay inclinómetros para líneas verticales y otros para horizontales
	Clinómetro	CL		Equipo utilizado para medir giros en un punto. Puede ser portátil o fijo según que el elemento sensible (sensor) se una de forma provisional o definitiva al medio a controlar	El sensor da una señal proporcional al giro del sensor respecto a un eje. Puede ser: - Mecánico • Por nivel de burbuja • Comparador - Eléctrico • Frecuencia • Fuerza electromotriz • Resistencia óhmica • Corriente (servoacelerómetros) • Capacidad • Reluctancia	• Obras de hormigón en grandes masas • Estructuras de hormigón armado y pretensado • Estructuras de acero • Cimentaciones	Debe tenderse a utilizar equipos cuyo elemento sensible sea el servoacelerómetro Hay que tener especial cuidado con las influencias térmicas y desajustes eléctricos o mecánicos.

NOTA 1. Para emplear simbología ver cuadro 2-A1

(*)CF = Clinómetro fijo

BC = Base de clinómetro

Cuadro. 1 - A1. (continuación)

Magnitud física a medir	Sensor o elemento de medición	Nomenclatura	Símbolo	Definición	Sistema o principio de medida	Aplicaciones más importantes	Observaciones
Desplazamientos horizontales relativos.	Péndulo directo	PD		Plomada suspendida de un hilo de acero o invar que permite medir, fundamentalmente, desplazamientos horizontales	La posición del hilo en varios puntos se detecta utilizando: - Sistemas mecánicos-ópticos - Planchetas de lectura fijas o móviles con visores ópticos (coordinómetros) - Sistemas eléctricos. Pueden ser: • Por contacto sensor-hilo • Por detección de la distancia entre el hilo y un sensor eléctrico. La distancia se puede medir indirectamente por sistemas: • Electromagnéticos • Potenciométricos • Capacitivos • Inductivos • Diferenciales (LVDT)	• Obras de hormigón en grandes masas • Estructura de hormigón armado y pretensado • Estructuras de acero	• Si se quiere medir desplazamientos verticales debe utilizarse hilo de invar. • En presas de hormigón conviene utilizar conjuntamente sistemas mecánicos y eléctricos combinados de forma adecuada • En los puntos a controlar debe tenderse a instalar sistemas de lecturas fijos.
Desplazamientos horizontales absolutos	Péndulo invertido	PI		Flotador sumergido y aislado que somete a un hilo anclado en un punto considerado fijo, a tensiones verticales. Durante todo el proceso de control el hilo permanece en una posición fija.	La posición del hilo en varios puntos se detecta utilizando: - Sistemas mecánicos ópticos - Planchetas de lecturas fijas o móviles con visores ópticos (coordinómetros) - Sistemas eléctricos. Pueden ser: • Por contacto sensor-hilo • Por detección de la distancia entre el hilo y un sensor eléctrico. La distancia se puede medir indirectamente por sistemas: • Electromagnéticos • Pontenciométricos • Capacitivos • Inductivos • Diferenciales (LVDT)	• Obras de hormigón en grandes masas • Estructura de hormigón armado y pretensado • Estructuras de acero	• Si se quiere medir desplazamientos verticales debe utilizarse hilo de invar. • En presas de hormigón conviene utilizar conjuntamente sistemas mecánicos y eléctricos combinados de forma adecuada • En los puntos a controlar debe tenderse a instalar sistemas de lecturas fijos.

Cuadro. 1 - A1. (continuación)

Magnitud física a medir	Sensor o elemento de medición	Nomenclatura	Símbolo	Definición	Sistema o principio de medida	Aplicaciones más importantes	Observaciones
Desplazamientos verticales absolutos o relativos	Células de asientos • Hidráulica • Neumática	CHA		Elemento que permite medir asientos de un punto respecto al panel o cabeza de lectura. Las células se unen a la cabeza de lectura mediante tubos rellenos de agua, líquido o mercurio. Si el panel o cabeza está fijo o se le da cota en cada campaña se pueden obtener movimientos absolutos	1. Hidráulicos (vasos comunicantes): Se mide la variación de nivel de un líquido entre la célula y la central de lectura. 2. Neumáticos: Se mantiene constante el nivel del líquido en los tubos que unen células y sistema de lectura, normalmente glicol o mercurio, y se mide la variación de presión en la célula utilizando detectores de presión. Estos pueden ser: • De cuerda vibrante • Piezoeléctrico • De galgas extensométricas • Potenciométrico • Piezoresistivo • Reluctivo • Capacitivo • Neumático	• Macizos rocosos • Terrenos de suelos • Obras de terraplén • Obras de escollera • Obras subterráneas	• Debe escogerse muy bien el sistema de medida. • Los hidráulicos deben usarse para grandes rangos y precisiones medias (~ 1 mm). • El detector de las células de los de cuerda vibrante tiene una elevada repetitividad por la baja precisión para medir asientos. • Los piezoeléctricos tienen problemas térmicos. • Las galgas extensométricas son de bajo coste, pero no deben usarse en medidas de gran duración. • Los potenciométricos y piezoresistivos tienen problemas con la temperatura. • Los capacitivos tienen problemas en ambientes duros. • Los neumáticos, así como los hidráulicos son de difícil automatización.
	Tubo telescópico de asientos	TTA		Bastidores o detectores exteriores unidos al material a controlar	Obtención de la distancia de la boca o fondo de la tubería a cada bastidor o detector, utilizando sonda con cinta métrica y torpedo mecánico de patas extensibles o electrónico.		• Hay que cuidar la verticalidad de los tubos. • La sonda de patas extensible se está dejando de utilizar. • Si el tubo de fondo está anclado en una localización fija, los movimientos absolutos se obtienen directamente, sin necesidad de dar cota topográfica a la boca de la tubería

Cuadro. 1 - A1. (continuación)

Magnitud física a medir	Sensor o elemento de medición	Nomenclatura	Símbolo	Definición	Sistema o principio de medida	Aplicaciones más importantes	Observaciones
Desplazamientos horizontales o verticales absolutos o relativos	Sistemas topográficos.	ST		Se obtienen los desplazamientos midiendo:	Optico	Cualquier tipo de obra	Deben definirse muy bien según precisiones, tipo de desplazamientos (horizontal y vertical) y disponibilidades de equipo (técnico y humano)
	• Colimación	ST-C		• Distancia a un plano de colimación			
	• Triangulación	ST-TRIAN		• Angulos desde al menos tres bases fijas			
	• Trilateración	ST-STRIL		• Distancia desde al menos tres bases fijas			
	• Poligonación	ST-P		• Angulos y distancias entre puntos			
	• Plomada óptica	ST-OP		• Desviación respecto a una vertical			
	• Nivelación	ST-N		• Diferencias de cotas respecto a bases fijas.			
	Nuevas Tecnologías	NT		Se obtienen los desplazamientos mediante:	Electro-ópticos		
	• Láser	NT-L		• Interferometría		Sólo en obras muy especiales donde se necesite gran precisión y los rangos sean pequeños	Son de alto coste y de alta tecnología
	• Fibra óptica	NT-FOP		• Cambios de longitud y amplitud de ondas			
	• Detector de posicionamiento	SP		• Sistema compuesto por antena, sensor y unidad de control que permite determinar las coordenadas de posicionamiento X,Y,Z	Se miden en instantes bien definidos las fases de las ondas portadoras L1 y L2 emitidas por 4 satélites espaciales.	• Terraplenes y taludes de movimientos importantes (≥ 3 mm)	Son de alto coste y a veces se utilizan en presas complementarias con sistemas topográficos.

Cuadro. 1 - A1. (continuación)

Magnitud física a medir	Sensor o elemento de medición	Nomenclatura	Símbolo	Definición	Sistema o principio de medida	Aplicaciones más importantes	Observaciones
Deformaciones absolutas o relativas	Extensómetro de gran longitud - De un anclaje - De anclajes múltiples	EGL (**)		Elemento que determina los desplazamientos entre una cabeza exterior a un taladro y uno o diversos anclajes. La transmisión del desplazamiento de los anclajes a la cabeza se realizará a través de hilos o varillas metálicas. Si el anclaje profundo está fijo, los desplazamientos medidos son absolutos.	La medición con estos sistemas puede realizarse con transductores: - Mecánicos - Por comparador a situar en la cabeza del extensómetro. - Eléctricos - Por sensor (bien acoplado a la cabeza o en los anclajes), que puede ser: - LDVT o transformador diferencial. - RVDT o pontenciométrico de inducción - Potenciométrico - Cuerda vibrante - Electromagnéticos	- Macizos rocosos - Terrenos de suelos - Obras de terraplén - Obras de escollera - Obras subterráneas	- Debe escogerse muy bien el sistema de medida. - Los LVDT y RVDT presentan problemas en el rango de la linealidad. - Los potenciométricos tienen problemas de estabilidad de la tensión de referencia y de temperatura. - Los de cuerda vibrante deben utilizarse para rangos pequeños.
Desplazamientos relativos o Convergencias en excavaciones subterráneas	Medidores de convergencia con hilos de invar.	BCH		Equipo utilizado en la medición de convergencias entre puntos discretos, con módulos de hilo de invar (para las diversas distancias) al que se somete a tensión constante	- Mecánico. Hilo y comparador de precisión variable. - Electromecánico, Hilo y motor eléctrico con contador digital de distancia.	- Obras subterráneas. - Obras de hormigón en grandes masas.	Se utilizará sistema electromecánico e hilos de invar cuando se desee una alta precisión en puntos discretos de pocas secciones.
	Medidores de convergencia con cinta extensométrica.	BCC		Equipo utilizado en la medición de convergencias entre puntos discretos con una única cinta metálica a la que se somete a tensión constante.	Mecánico. Cinta metálica y comparador de precisión variable	- Obras subterráneas. - Obras de hormigón en grandes masas.	
	Medidores de convergencia con sistema óptico integrado	MCO		Equipo utilizado en la medición de los movimientos en todo el perímetro de la excavación.	Electro-óptico	Obras subterráneas	

(**) en el cuadro 2-A1 se dan otras nomenclaturas según el extensómetro específico (Ej. Extensómetro de varillas: EV)

Cuadro. 1 - A1. (continuación)

Magnitud física a medir	Sensor o elemento de medición	Nomenclatura	Símbolo	Definición	Sistema o principio de medida	Aplicaciones más importantes	Observaciones
Aperturas o cierres de juntas y fisuras	Medidor interno en juntas de hormigón	MIJ		Sistema formado por 2 elementos instalados en los bloques que forman la junta, en una zona no accesible, donde se miden los movimientos de apertura o cierre de la misma	Eléctrico. El sensor da una señal que es proporcional a la apertura o cierre a medir. Esta señal que se mide puede ser: • Capacidad • Inducción • Resistencia óhmica	Obras de hormigón	Los medidores internos y externos de juntas y fisuras deben usarse conjunta y combinadamente.
	Medidor externo de juntas o fisuras (Deformómetro o elongámetro).	(***) MEJ		Sistema formado por elementos externos, colocados próximos a la junta en su zona externa, que mide los movimientos de apertura o cierre de la junta y los desplazamientos entre los bordes que la forman.	Aunque puede ser eléctrico normalmente se usan equipos mecánicos portátiles	Obras de hormigón	El control puede ser bidimensional o tridimensional (dos o tres bases).
	Medidor interno de aperturas o cierres de diaclasas o fisuras internas.	EI		Sistema formado por un torpedo, un tubo guía y un sistema de lectura que mide los acortamientos en una zona amplia las aperturas y cierres de fisuras internas.	LVDT o transformador diferencial	Macizos rocosos Obras de hormigón en grandes masas Obras subterráneas	Estos medidores tienen un alto coste, son de tecnología avanzada y por tanto deben utilizarse en controles de gran importancia.

(***) En el cuadro 2-A1 se dan otras nomenclaturas según el tipo específico de medidor seleccionado (Ej. Terna de base de deformómetro o elongámetro= TBD)

Cuadro. 1 - A1. (continuación)

Magnitud física a medir	Sensor o elemento de medición	Nomenclatura	Símbolo	Definición	Sistema o principio de medida	Aplicaciones más importantes	Observaciones
Tensiones absolutas/naturales	Gato plano	GP		Equipo que permite recuperar la deformación, producida previamente con una entalladura, mediante presión igual a la tensión natural existente	Neumático	- Estructuras de hormigón armado. - Obras subterráneas	A utilizar en zonas donde el estado de tensiones sea bidimensional. Permite determinar tensiones naturales
	Medidores extensométricos en superficie	MES	 	Conjunto de bandas extensométricas que miden la deformación de liberación tensional, producida por una perforación normalmente circular	Eléctrico de resistencia óhmica	- Estructura de hormigón armado y pretensado. - Obras subterráneas.	A utilizar sólo en zonas donde el estado de tensiones sea bidimensional.
	Célula biaxial	CB		Elemento que, pegado en el fondo de un taladro, mide la deformación que se produce en ese plano al liberar las tensiones naturales por sobreperforación.	Eléctrico de resistencia óhmica	- Macizos rocosos - Obras de hormigón en grandes masas - Obras subterráneas.	Debe aplicarse en medios masivos, isotrópicos y homogéneos. Es conveniente que la célula disponga de termómetro.
	Célula triaxial	CT		Equipo que, instalado y pegado en toda su longitud al medio a controlar, permite medir, en diez direcciones y en tres planos distintos, las deformaciones producidas al liberar el estado tensional mediante sobreperforación	Eléctrico de resistencia óhmica	- Macizos rocosos - Obras subterráneas - Obras de hormigón en grandes masas	Da buenos resultados hasta profundidades medias. Hay que preparar un modelo numérico lo más cerca posible de la realidad. Es conveniente que la célula disponga de termómetro.
	Células dilatométricas	CD		Equipo que mide el cambio de diámetro de un taladro y el alargamiento longitudinal en varias generatrices de un testigo.	Eléctrico - De resistencia óhmica - LVDT (transformador diferencial)	- Macizos rocosos - Obras subterráneas - Obras de hormigón en grandes masas	Da buenos resultados hasta profundidades medias. Hay que preparar un modelo numérico lo más cerca posible de la realidad.
	Fracturación hidráulica	FH		Equipo que permite, mediante presión hidráulica, romper las paredes de un sondeo y medir en las tensiones existentes.	Hidráulico	- Macizo rocosos - Obras subterráneas	Debe usarse a grandes profundidades y siempre como sistema alternativo.

Cuadro. 1 - A1. (continuación)

Magnitud física a medir	Sensor o elemento de medición	Nomenclatura	Símbolo	Definición	Sistema o principio de medida	Aplicaciones más importantes	Observaciones
Tensiones inducidas	Inclusión rígida (Método directo)	IR		Elemento de gran rigidez que, instalado y embebido en el medio a controlar, mide directamente las tensiones o presiones inducidas	Eléctrico de: • Cuerda vibrante • Resistencia óhmica • Piezoeléctrico • Óptico	• Macizos rocosos • Obras de hormigón	Los de cuerda vibrante son sistemas de gran fiabilidad. Debe considerarse la influencia térmica.
	Célula de presión total (Método directo)	CPT		Son elementos planos, huecos y rellenos de un líquido estable que transmite la carga a un elemento sensible.	- Hidráulico - Neumático - Eléctrico de: • Cuerda vibrante • Resistencia óhmica	• Obras de terraplén • Obras subterráneas	Deben instalarse donde los esfuerzos cortantes no sean fuertes. Para determinar presiones efectivas debe instalarse con un piezómetro próximo.
	Extensómetro o medidor de deformaciones unitarias (Método indirecto)	E		Elemento de muy pequeña rigidez longitudinal que, embebido o fijado en el medio a controlar, mide las deformaciones unitarias que las tensiones inducidas crean en el medio	Eléctrico de: • Cuerda vibrante • Resistencia óhmica	• Obras de hormigón • Estructuras de acero	Requieren un trabajo previo auxiliar y la obtención de datos complementarios, que son de gran interés para el conocimiento de la obra. Los de cuerda vibrante son de gran fiabilidad y precisión. Se colocan formando grupos uni, bi y tridimensionales, con corrector extensométrico.
Cargas	Células de carga	CC		Son elementos de gran rigidez que, instalados entre dos medios distintos unen directamente las cargas activas que un medio transmite al otro.	Eléctrico • Cuerda vibrante • Resistencia óhmica	• Estructuras de hormigón pretensado • Estructuras de acero	Las de cuerda vibrante son de gran fiabilidad y precisión.
	Gatos planos	GP		Son elementos planos huecos rellenos de un líquido estable que transmite la carga a un elemento sensible	Neumático de registro directo	• Obras subterráneas • Estructuras de hormigón armado y pretensado	Son de coste inferior a las células de carga y debe utilizarse para auscultaciones repetitivas.

Cuadro. 1 - A1. (continuación)

Magnitud física a medir	Sensor o elemento de medición	Nomenclatura	Símbolo	Definición	Sistema o principio de medida	Aplicaciones más importantes	Observaciones
Cambios de volumen	Extensómetro corrector	EC		Elemento que se instala embebido y aislado del campo tensional; que permite medir cualquier variación volumétrica del medio a controlar originada por causas diferentes de las tensiones (cambios térmicos, imbibición, variaciones autógenas, etc)	Eléctrico de: - Cuerda vibrante - Resistencia óhmica	Obras de hormigón	Deben instalarse siempre en obras de hormigón en grandes masas, cuando se midan tensiones por métodos indirectos, es decir cuando se utilicen extensómetros embebidos en el medio a controlar
Emisiones acústicas	Captador de microruidos	CMR		Elemento que, instalado en zonas concretas, es capaz de captar los microruidos (señales de alta frecuencia próximas a 1 KHz), generados por la deformación del material a controlar durante el proceso de carga	El sensor, de tipo electromagnético, proporciona una señal directamente proporcional a la velocidad de partículas.	- Macizos rocosos - Terreno de suelos - Obras de terraplén - Obras de escolera - Obras subterráneas	Para su posible uso debe instalarse una red muy densa, con registro automático digital. La instalación debe venir precedida de ensayos previos en laboratorio.
Aceleraciones	Acelerómetro (acelerógrafo)	AC		Elemento que, instalado en zonas concretas, proporciona una señal directamente proporcional a la aceleración actuante en una, dos o tres direcciones	Electromagnético Servoacelerómetro	En cualquier obra importante y dónde se esperen son de esperar fuertes aceleraciones por sismos o voladuras próximas.	Debe tenderse a registros digitales, aunque los analógicos también pueden usarse. Los servoacelerómetros son de gran estabilidad y fiabilidad.
Velocidades y/o desplazamientos dinámicos	Sismógrafo	S		Elemento que, instalado en zonas concretas, proporciona una señal directamente proporcional a la velocidad o al desplazamiento actuante sobre una masa sísmica en una dirección determinada (horizontal o vertical)	Electromagnético	- Estudios de microsismicidad - Sismicidad inducida por embalses - Sismicidad ambiental	Debe tenderse a registros digitales, combinados con analógicos, al menos en algunas de las direcciones en las cuales se mide la velocidad o el desplazamiento dinámico.

Cuadro. 1 - A1. (continuación)

Magnitud física a medir	Sensor o elemento de medición	Nomenclatura	Símbolo	Definición	Sistema o principio de medida	Aplicaciones más importantes	Observaciones
Niveles de agua	Limnómetro	L		Elemento que mide directamente la altura de la lámina de agua respecto a un punto fijo Consta de un sensor y elementos de subida y bajada de aquel hasta alcanzar la superficie del agua	Eléctrico con señalizador acústico o visual	Medición de niveles en sondeos o taladros revestidos o no, con entrada del agua en un punto o en toda su longitud	Es un elemento fiable de bajo coste, fácil manejo y muy útil para mediciones secuenciales en el tiempo y en el espacio.
	Limnógrafo	LG		Elemento que consta de un flotador y mecanismos de transformación y registro gráfico o digital de las variaciones de la lámina del agua respecto a un punto fijo	Electro-mecánico con registrador analógico o digital	Medición de niveles del agua en embalses, en canales, en pozos de gran diámetro o en estaciones de aforadores.	Son elementos de registro continuo de gran fiabilidad. Debe tenderse al registro digital por su facilidad de automatización
	Detector ultrasónico	DU		Elemento que detecta por ultrasonidos las variaciones de la lámina de agua respecto a un punto fijo	Ultrasónico con registro digital	- Medición de niveles en embalses, canales o pozos de gran diámetro, con variaciones no inferiores a 10 m y aforadores Thomson - Medición de niveles en embalses, canales o pozos de pequeño o gran diámetro.	Es un sistema de alta tecnología y coste, que se está imponiendo por su precisión.
	Transformador de presión-altura	TPA		Elemento que detecta presión de agua, y que lleva incorporado un sistema digital para transmisión y transformación en alturas	Eléctrico con sensor: - De cuerda vibrante - De resistencia óhmica - Piezorresistivo - De cuarzo	Medición de niveles en embalses, canales o pozos de pequeño o gran diámetro	El de cuerda vibrante y de resistencia óhmica debe utilizarse para precisiones superiores a 5 cm. El piezorresistivo para precisiones entre 1 y 5 cm. La sonda de cuarzo para precisiones de 1 mm. a 1 cm.

Cuadro. 1 - A1. (continuación)

Magnitud física a medir	Sensor o elemento de medición	Nomenclatura	Símbolo	Definición	Sistema o principio de medida	Aplicaciones más importantes	Observaciones
Subpresiones y presiones intersticiales en medios saturados de alta permeabilidad	Piezómetro de tubo abierto y/o convencional	PT		Elemento que mide la presión del agua en la boca de un taladro o la distancia de esta boca a la lámina de agua.	Mediante limnómetro a introducir en el tubo, o manómetro tipo Bourdon o convencional	• Cimiento de presas • Macizos rocosos • Terrenos de suelos • Masas y corrientes de agua	• Debe utilizarse siempre en medios bastantes permeables y cuando no se requieran precisiones altas • Son de bajo coste • Conviene utilizarlos con llave de tres posiciones que permita usar el sondeo o taladro como dren o piezómetro.
Subpresiones y presiones intersticiales en medios saturados o sin saturar de permeabilidad media baja	Piezómetros cerrados	P		Elemento que mide directamente la presión del agua intersticial a través de la variación de una magnitud física proporcional a los cambios de presión	Eléctricos: • De cuerda vibrante • De resistencia óhmica Neumáticos Hidráulicos	• Cimentación de la presa • Macizos rocosos • Terrenos de suelos • Obras de terraplén • Obras subterráneas	Siempre que existan presiones negativas o subatmosféricas deben utilizarse con piedras porosas de alta resistencia a entrada de agua (~ 4 kp/cm ²) Los de cuerda vibrante son los más fiables y estables en el tiempo. En suelos sin saturar de baja permeabilidad nunca deben usarse los neumáticos.
Temperaturas y propiedades térmicas	Termómetro	T		Elemento que capta las variaciones de señal de un sensor, generadas por los cambios térmicos del medio	Eléctrico: 1. F.E.M. • Termopares (cobre constantán) • Termorresistores 2. Resistencia óhmica • Termorresistores (PT-100) • Termistores 3. Ópticos • Piómetros 4. Electrónicos • De circuitos integrados	En cualquier medio	Los más fiables y precisos son los termorresistores y los termopares de cobre constantán. Los de circuitos integrados no están suficientemente contrastados. Distribuidos convenientemente puede obtenerse información sobre la difusibilidad, coeficiente de dilatación térmica, etc.

Cuadro. 1 - A1. (continuación)

Magnitud física a medir	Sensor o elemento de medición	Nomenclatura	Símbolo	Definición	Sistema o principio de medida	Aplicaciones más importantes	Observaciones
Humedades	Higrómetros	H		Elemento que mide el tanto por ciento de humedad de un medio a controlar	- Convencionales: Utilizan elementos higroscópicos para dar una lectura directa de la humedad. - Sensores de punto de rocío: Sensores que miden la temperatura de una superficie enfriada hasta que el rocío se condensa sobre ella. La detección de la condensación se hace por métodos fotoeléctricos. - De nueva tecnología: Utilizan sistemas de emisión de radiofrecuencia sobre una muestra. La humedad se determina en términos de pérdida de energía.	En todos los medios que sea necesario determinar el contenido de humedad	Los sensores de punto de rocío son los más utilizados.
Filtraciones (Masas y corrientes de agua)	Aforadores convencionales	AF		Elemento que permite, aforando directamente o bien midiendo la altura de la lámina de agua, conocer el caudal de la masa de agua que discurre por una zona	- Manual directo (aforos) - Indirecto, utilizando escala Limnímetros	Filtraciones en cualquier medio accesible	Para medios donde el conocimiento del caudal de filtración sea un dato importante, deben utilizarse limnigrafos (ver medidores de nivel)
Filtraciones (Masas y corrientes de agua)	Molinete	M		Elementos que permiten medir la velocidad del flujo de agua por métodos directos, pasando a caudales por medio de una sección conocida.	Portátil y mecánico, con contador de vuelta numérico o digital	Medición de caudales en ríos o grandes masas de agua discurrendo en lámina libre	Debe utilizarse para el tarado de otros sistemas alternativos
Caudales	Caudalímetros	C		Elementos que, midiendo la velocidad en conductos de sección conocida, permiten calcular el caudal que pasa.	- Medidores diferenciales de presión (Venturi, Pitot, etc.) - De Turbina - Magnéticos - De fluido oscilante - Ultrasónicos	Medición de caudales en conductos o tuberías forzadas	Deben utilizarse los medidores diferenciales o los ultrasónicos.
Turbidez del agua	Turbidímetro	TU		Instrumento que permite medir la turbidez del agua en filtraciones con material en suspensión	Comparación continua con célula fotoeléctrica de la luz que pasa a través de la filtración con la de una solución Standard.	- Suministros - Filtraciones importantes	Precisa de suministro continuo de energía, mantenimiento preventivo periódico. Su coste es alto, por lo tanto, únicamente se debe instalar donde sea realmente necesario.

CUADRO. 2-A1. SIMBOLOGIA Y NOMENCLATURA DE LOS PRINCIPALES APARATOS Y EQUIPOS DE AUSCULTACION.

N. ORDEN	SIMBOLO	NOMENCLATURA	DENOMINACION	N. ORDEN	SIMBOLO	NOMENCLATURA	DENOMINACION
01		MNE	MEDIDOR DE NIVEL DE EMBALSE	26		AC	ACELEROGRAFO
02		EM	ESTACION METEOROLOGICA	27		S	SISMOGRAFO
03		H	HIGROMETRO	28		CMR	CAPTADOR DE MICRORUIDOS
04		TA	TERMOMETRO DE AIRE	29		ES	EXTENSOMETRO DE SUELOS ELECTRICO (PLANTA / ALZADO)
05		TH	TERMOMETRO DE HORMIGON	30		EV	EXTENSOMETRO DE VARILLAS O HILOS
06		TW	TERMOMETRO DE AGUA	31		ERB	GRUPO BIDIMENSIONAL DE EXTENSOMETROS PARA ROCA CON CORRECTOR
07		PD	PENDULO DIRECTO	32		ERT	GRUPO TRIDIMENSIONAL DE EXTENSOMETROS PARA ROCA CON CORRECTOR
08		PI	PENDULO INVERTIDO	33		MES	MEDIDOR EXTENSOMETRICO EN SUPERFICIE (3 BANDAS / 4 BANDAS)
09		PL	PLANCHETA PARA LECTURA DE PENDULOS	34		CPT	CELULA DE PRESION TOTAL (ELECTRICA / NEUMATICA O HIDRAULICA)
10		TP	TELEPLANCHETAS PARA LECTURA DE PENDULOS	35		CCA	CELULAS DE CARGA PARA ANCLAJES (PLANTA / ALZADO)
11		PO	PENDULO OPTICO	36		PT	PIEZOMETRO DE TUBO (PLANTA / ALZADO)
12		SP	SEÑAL EN EL PARAMENTO O ROCA PARA CONTROL TOPOGRAFICO	37		PCV	PIEZOMETRO DE CUERDA VIBRANTE (PLANTA / ALZADO)
13		P	PILAR DE OBSERVACION TOPOGRAFICA	38		PN	PIEZOMETRO NEUMATICO (PLANTA / ALZADO)
14		CC	CLAVO DE COLIMACION	39		PH	PIEZOMETRO HIDRAULICO TIPO BISHOP (PLANTA / ALZADO)
15		CN	CLAVO DE NIVELACION	40		AF	AFORADOR TIPO THOMSON (CON ESCALA / CON SENSOR ELECTRICO)
16		CCN	CLAVO DE COLIMACION-NIVELACION	41		AT	AFORADOR DE TUBO (MANUAL / CON SENSOR ELECTRICO)
17		BC	BASE DE CLINOMETRO	42		CHA	CELULA HIDRAULICA DE ASIENTOS
18		CF	CLINOMETRO FIJO	43		TTA	TUBO TELESCOPICO DE ASIENTOS
19		MJ	MEDIDOR DE JUNTAS INTERNO	44		I	TUBO DE INCLINOMETRO (PLANTA / ALZADO)
20		TBD	TERNA DE BASES DE DEFORMETRO	45		BCH	PAR DE BASES PARA MEDIDA DE CONVERGENCIAS CON HILO
21		PBD	PAR DE BASES DE DEFORMETRO	46		BCC	PAR DE BASES PARA MEDIDA DE CONVERGENCIAS CON CINTA METRICA
22		XYZ	MEDIDOR DE JUNTAS TRIDIMENSIONAL	47		CCC	CAJA DE CONEXIONES
23		EHU	GRUPO UNIDIMENSIONAL DE EXTENSOMETROS CON CORRECTOR	48		CLM	CENTRAL DE LECTURAS MANUAL
24		EHB	GRUPO BIDIMENSIONAL DE EXTENSOMETROS CON CORRECTOR	49		EA	ESTACION AUTOMATICA DE LECTURAS O UNIDAD DE LECTURA INTELIGENTE
25		EHT	GRUPO TRIDIMENSIONAL DE EXTENSOMETROS CON CORRECTOR				

ANEJO N° 2
EJEMPLOS DE PRESAS
INSTRUMENTADAS

ÍNDICE

1.	PRESAS DE HORMIGÓN	113
1.1.	Presa de gravedad de Cernadilla	113
1.2.	Presa de arco-gravedad de Cortes de Pallás	116
1.3.	Presa de contrafuertes de Salas	119
1.4.	Presa bóveda de La Baells	123
1.5.	Presa bóveda de Albarells	127
1.6.	Presa de hormigón compactado de Sierra Brava	131
1.6.1.	Losas de ensayo	132
1.6.2.	Estructura y cimiento	133
1.7.	Presa antigua de gravedad de Aguilar de Campóo	135
1.8.	Presa antigua de arco-gravedad de Búbal	138
2.	PRESAS DE MATERIALES SUELTOS	141
2.1.	Presa de Huesna, de escollera con pantalla asfáltica	141
2.2.	Presa de El Portillo, de núcleo vertical	145
2.3.	Presa de Caspe, con núcleo impermeable y construida en 3 fases	148
2.4.	Presa recrecida de Torre del Águila. Materiales sueltos	151

1.

PRESAS DE HORMIGÓN

1.1. PRESA DE GRAVEDAD DE CERNADILLA

En la figura 1A se muestra el sistema de auscultación instalado en la presa de Cernadilla (Zamora).

La presa de Cernadilla está situada en el río Tera y en el término municipal de Cernadilla y Manzanal. Su construcción finalizó en el año 1969.

La estructura es de gravedad, planta recta. Sus características básicas son:

- | | | |
|---|---|-----------------------|
| - | Destino: | Producción de energía |
| - | Altura sobre cimientos: | 69 m |
| - | Longitud en coronación: | 388 m |
| - | Espesor de la coronación: | 6 m |
| - | Talud de aguas arriba: | 0 |
| - | Talud de aguas abajo: | 0,70 |
| - | Volumen del embalse: | 256 Hm ³ |
| - | Aliviadero de compuertas sobre los 3 bloques centrales. | |

El cimiento de la presa está constituido por granitos y gneis, siendo la margen derecha de inferior calidad que el resto, lo que determinó la necesidad de prestar mayor atención a los bloques cimentados en dicha margen.

Los controles implantados en esta presa han sido los siguientes:

Variables exteriores

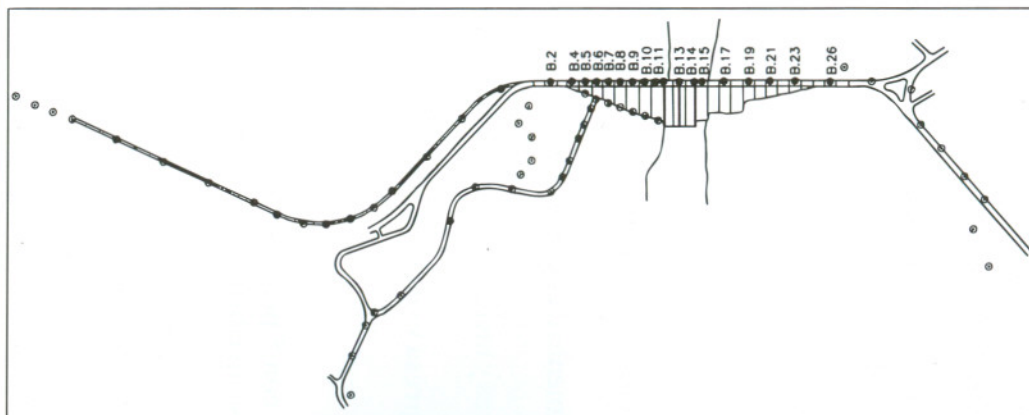
- Meteorológicas, obtenidas con aparatos situados en un recinto próximo a la presa: Temperaturas y humedad relativa del aire y precipitaciones de lluvia.

- Temperaturas del agua del embalse y del aire en el paramento de la presa.
- Niveles del embalse con escalas graduadas y medidor del tipo de balanza hidrostática.

Variables de control interno en el cuerpo de la presa y su cimiento

- Temperaturas en el hormigón.
- Desplazamientos horizontales de la estructura en dos bloques: el central y otro situado en la margen derecha. Se instrumentó esta margen por ser mucho más deformable que la izquierda. Este control se efectúa con 2 péndulos invertidos y a cuatro cotas.
- Movimientos verticales en la coronación, en el pie de presa y en el terreno natural de las dos márgenes mediante nivelación topográfica de alta precisión, controlando de forma especial la margen derecha, donde se implantaron dos itinerarios.
- Movimientos de las juntas de retracción en el interior de la presa (aperturas) con medidores eléctricos y en el exterior (aperturas y deslizamientos verticales en galería) mediante ternas de bases de defórmetro o elongámetro.
- Tensiones en la estructura y en el tercio inferior de dos bloques de la zona del cauce. (Grupos de extensómetros bidimensionales de 5 extensómetros activos y 1 corrector).
- Esfuerzos transmitidos al cimiento en la zona de aguas arriba del cimiento, en el cauce y en ambas laderas, mediante grupos bidimensionales de extensómetros eléctricos de gran longitud que disponen de corrector.
- Subpresiones en el contacto estructura-cimiento, con piezómetros de tubo abierto o con manómetros, todos ellos instalados en la galería perimetral.
- Filtraciones internas, con aforadores de tubo, controlando las de cada ladera, las recogidas en una galería de ensayos y reconocimiento (localizada en el cimiento de la margen izquierda) y las totales de la presa.

CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES Y VERTICALES POR AUSCULTACION TOPOGRAFICA.



LEYENDA	
○	TERMOMETRO PARA MEDICION EN AIRE (2).
●	TERMOMETRO PARA MEDICION EN HORMIGON (55).
⊙	TERMOMETRO PARA MEDICION EN AGUA (2).
■	AFORADOR TIPO THOMSON CON ESCALA (5).
●	CLAVO DE COLIMACION NIVELACION (18).
⊙	CLAVO DE NIVELACION (39).
⊖	PIEZOMETRO DE TUBO (15).
⊖	PENDULOS INVERTIDOS PARA CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS (2).
⊖	PLANCHETAS MECANICAS (8).
⊖	GRUPO BIDIMENSIONAL DE EXTENSOMETROS DE ROCA CON CORRECTOR (3).
⊖	GRUPO BIDIMENSIONAL DE EXTENSOMETROS EN HORMIGON CON CORRECTOR (6).
⊖	MEDIDORES INTERNOS DE JUNTA (8).
⊖	TERNAS DE BASES. MEDICION APERTURAS Y DESLIZAMIENTOS DE JUNTAS (37).

INSTRUMENTACION. ESQUEMA GENERAL DE SITUACION DE APARATOS DE AUSCULTACION.

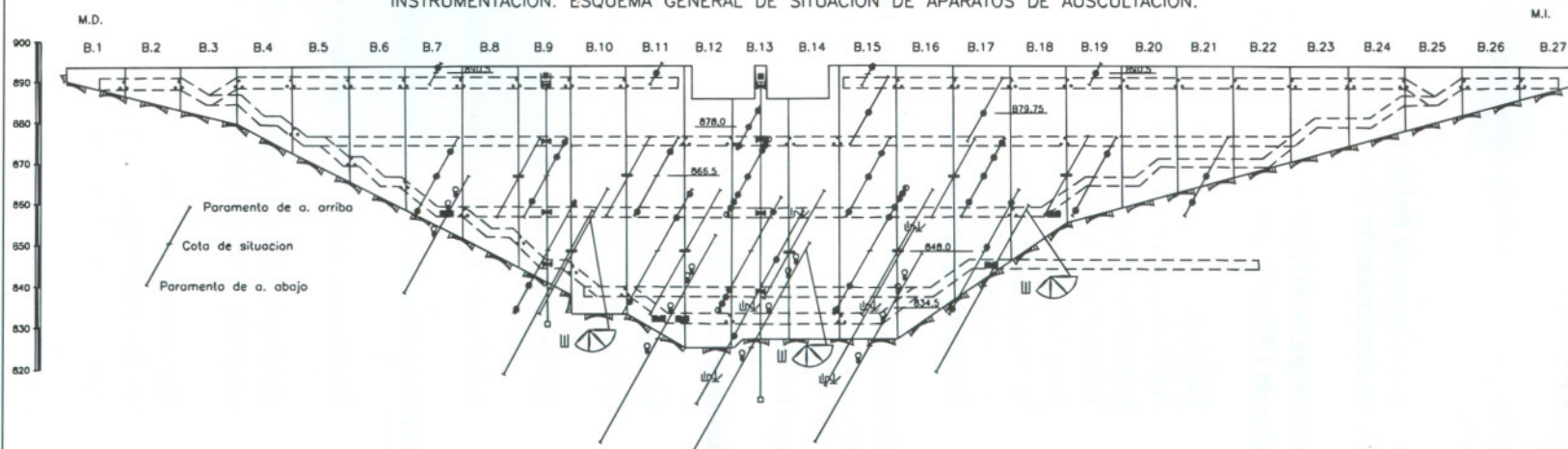


FIG.1A - AUSCULTACION DE LA PRESA DE GRAVEDAD DE CERNADILLA

1.2. PRESA DE ARCO-GRAVEDAD DE CORTES DE PALLÁS

En la figura 2A se muestra el sistema de auscultación instalado en la presa de Cortes de Pallás (Valencia).

La presa de Cortes de Pallás está situada en el río Júcar y en el término municipal de Cortes de Pallás. Su construcción finalizó en el año 1989.

La estructura es del tipo arco-gravedad, cuya superficie de referencia es un cilindro de directriz circular de 190 m de radio. Sus características básicas son:

- | | |
|--|-----------------------|
| - Destino: | Producción de energía |
| - Altura sobre cimientos: | 112 m |
| - Longitud en coronación: | 312 m |
| - Talud de aguas arriba: | 0,5 |
| - Talud de aguas abajo: | 0,15 |
| - Volumen del embalse: | 116 Hm ³ |
| - Aliviadero de compuertas en la zona central de presa | |
| - Tomas de agua (dos) que atraviesan el cuerpo de presa en la margen izquierda | |

La cimentación de la presa es de calizas y calizas margosas que no presenta singularidades importantes. En ella no se esperaban asientos significativos.

Los controles implantados en la presa han sido los siguientes:

Variables exteriores

- Meteorológicas. En la zona de presa se tiene instalada una caseta dotada con termógrafo, termómetro de máximas y mínimas e higrómetro.
- Temperatura del agua en 5 puntos del paramento de aguas arriba.
- Nivel del embalse mediante escalas gráficas y medidor del tipo de balanza hidrostática.

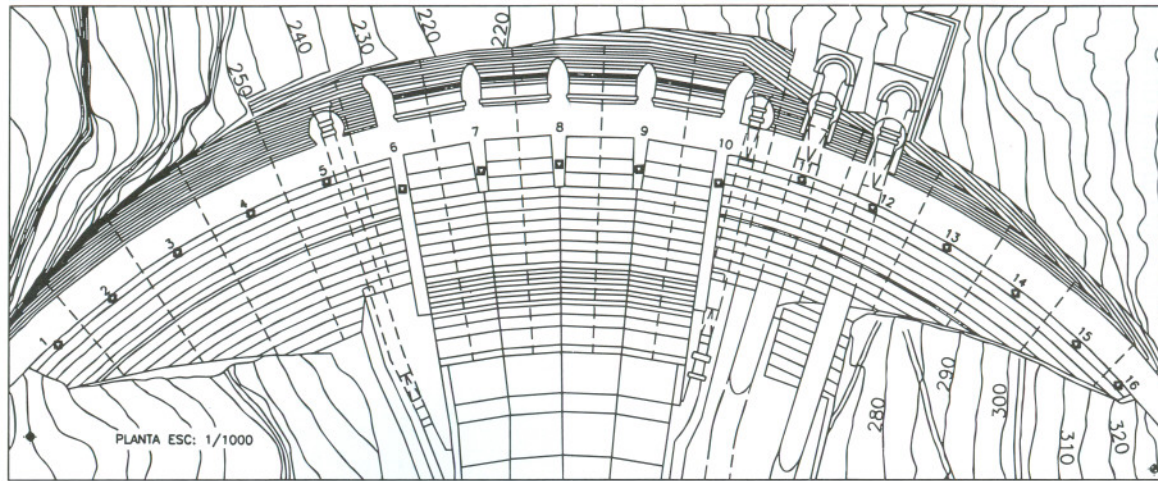
Variables de control interno en el cuerpo de la presa y su cimiento

- Temperaturas en el interior del hormigón.
- Desplazamientos horizontales absolutos con 5 péndulos invertidos (uno en el bloque central y dos en cada margen), adoptándose una distribución simétrica.
- Movimientos verticales en la coronación de la presa, mediante nivelación topográfica de alta precisión, con puntos de referencia fijos, alejados de la influencia del embalse y aguas abajo de la estructura.
- Desplazamientos horizontales relativos en la coronación y en cada uno de los bloques mediante colimación topográfica de precisión, (6 señales en la coronación de la presa, 2

pilares de observación en terreno natural y en la zona de aguas abajo y 16 señales de referencia fija aguas arriba).

- Movimientos de la juntas de retracción, tanto en interior como en exterior. También se controló el interior de las juntas entre sub-bloques.
- Subpresiones en el contacto de la estructura con el cimientto, para conocer la ley de aguas arriba a aguas abajo (3 puntos de control en los bloques más altos).
- Giros radiales de la estructura, obtenidos en interior de las galerías en los bloques y cotas donde se controlan desplazamientos horizontales con péndulos.
- Filtraciones internas, recogidas en cada ladera mediante aforadores triangulares del tipo Thomson. Asimismo, se aforan los caudales de drenaje (dren a dren), por lo que estos disponen de boquillas en forma de T, bien para medir, purgar o drenar. Las filtraciones totales se obtienen en los distintos aforadores situados en la galería perimetral.

CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES Y VERTICALES POR AUSCULTACION TOPOGRAFICA.



LEYENDA	
●	TERMOMETRO DE HORMIGON.
○	TERMOMETRO DE AGUA.
—	MEDIDOR DE JUNTAS INTERNO.
■	AFORADOR TIPO THOMSON.
∞	BASE DE CLINOMETRO.
⊙	PIEZOMETRO DE TUBO.
⊖	PENDULO INVERTIDO.
⊢	PLANCHETA MECANICA.
□	SEÑAL DE CONTROL TOPOGRAFICO.
⊕	PILAR DE OBSERVACION TOPOGRAFICA.

INSTRUMENTACION. ESQUEMA GENERAL DE SITUACION DE APARATOS DE AUSCULTACION.

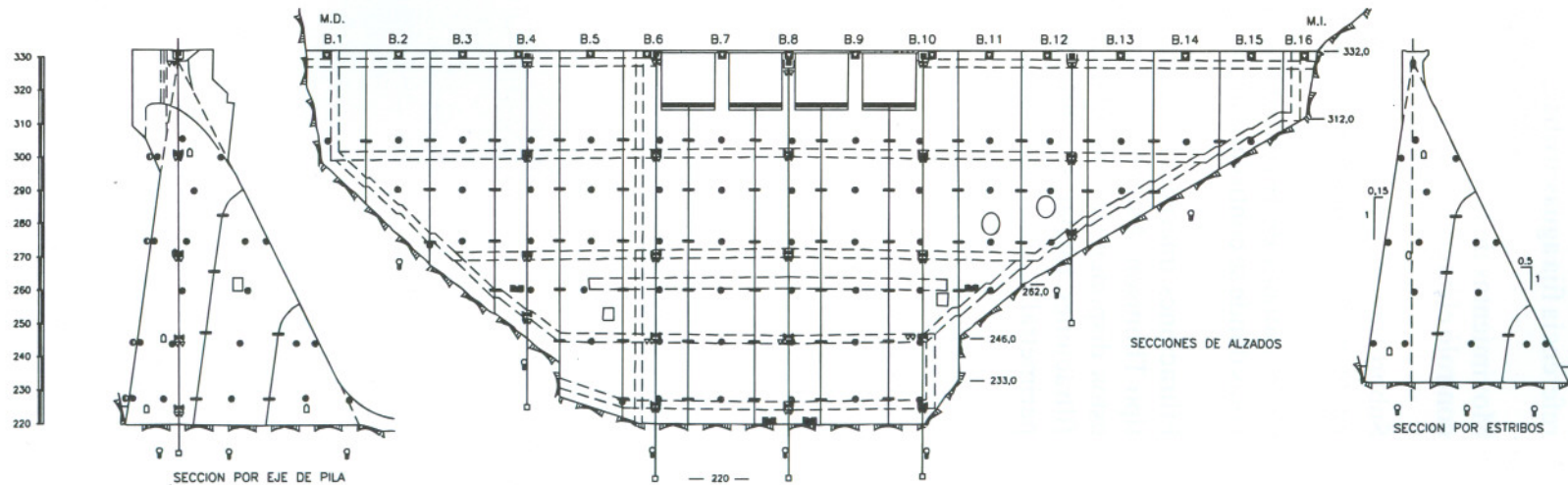


FIG.2A - AUSCULTACION DE LA PRESA DE ARCO-GRAVEDAD DE CORTES DE PALLAS.

1.3. PRESA DE CONTRAFUERTE DE SALAS

En las figuras 3A y 4A se muestra el sistema de auscultación adoptado en la presa de Salas (Orense).

La presa de Salas está situada en el río Salas y en el término municipal de Muiños. Su construcción terminó en el año 1971. La estructura está formada por una presa de contrafuertes, de 240 m de longitud, que se prolonga en su margen derecha con un dique de gravedad de 124,5 m y en su margen izquierda con otro de 585,5 m.

Sus características básicas son:

- Destino:	Producción de energía
- Altura máxima sobre cimientos (contrafuertes):	50 m
- Longitud en coronación:	950 m
- Volumen de la presa:	$76 \times 10^3 \text{ m}^3$
- Contrafuertes:	Macizos
- Talud de los contrafuertes en paramento de aguas arriba:	0,3
- Talud de los contrafuertes en paramento de aguas abajo:	0,55
- Espesor de la coronación:	2,80 m
- Separación entre ejes de contrafuertes:	12 m
- Forma de los contrafuertes:	T

Las cartelas incorporadas a la pantalla, que enlazan con el alma de los contrafuertes tienen 4 m. en la dirección del eje del contrafuerte y 2,5 m en la perpendicular, constituyendo un elemento muy sólido.

Para evitar inestabilidad se dio a los paramentos de los contrafuertes, en planta, una divergencia del 2 por 100, lo cual mejora el ancho resistente en el paramento de aguas abajo.

La presa de contrafuertes está asentada sobre granito en general sano, con algunas localizaciones fisuradas y pequeñas zonas de granito descompuesto, según se puede observar en la Figura 4A.

Los controles implantados en la presa de contrafuertes han sido los siguientes:

Variables exteriores

- Meteorológicas. Temperaturas en el aire mediante termógrafo y precipitaciones de lluvia con pluviómetro.
- Niveles del embalse con escalas graduadas y medidor de balanza hidrostática.
- Temperaturas del agua y del aire en los paramentos del contrafuerte central de la presa.

Variables de control interno en el cuerpo de la presa y su cimiento

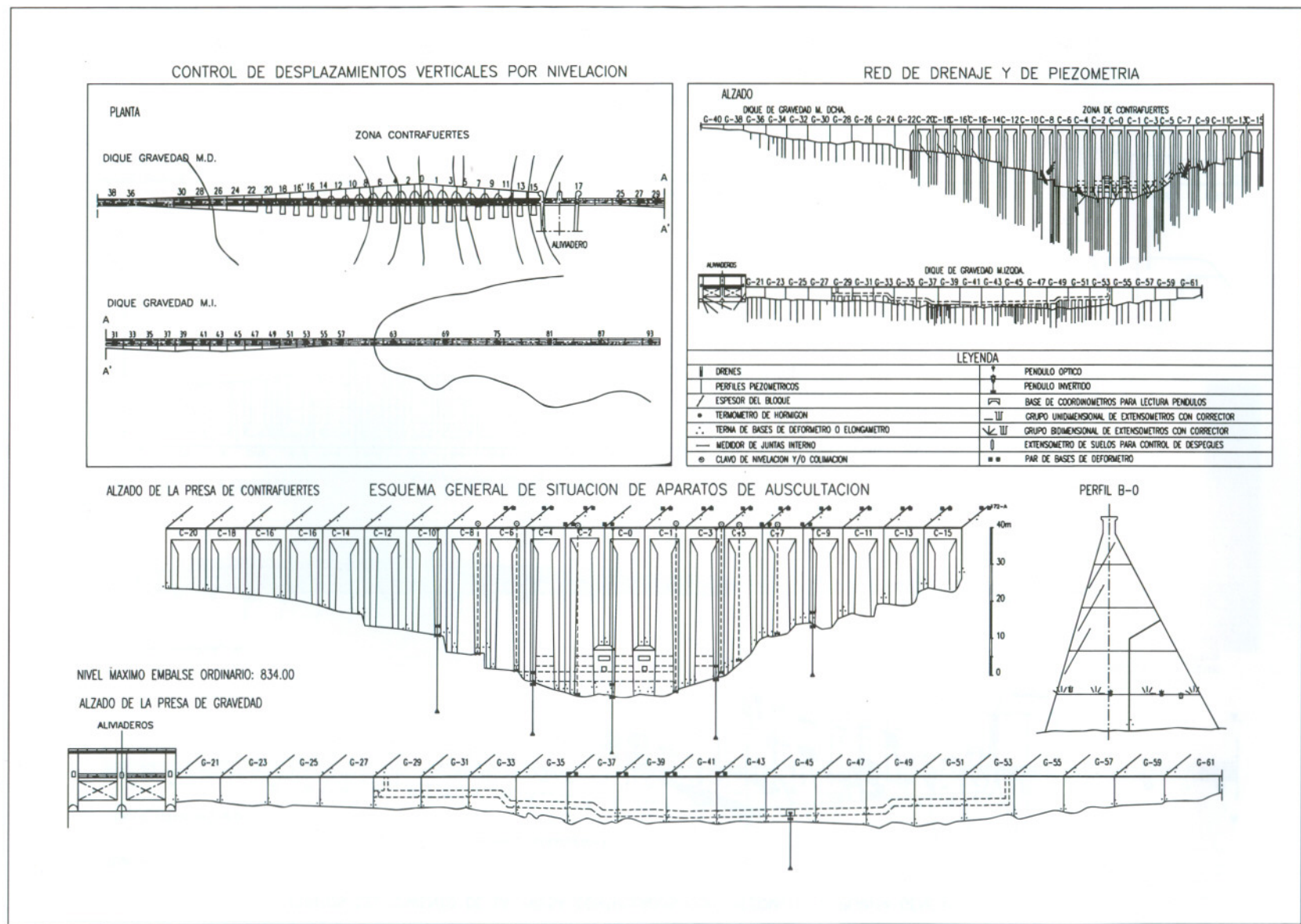
a) En contrafuerte central, como representativo del comportamiento de los demás:

- Temperaturas en el hormigón, con atención preferente a la evolución térmica de las tongadas y del conjunto del contrafuerte, con el fin de permitir el trazado de isotermas.
- Tensiones en el plano vertical por el eje principal de cada contrafuerte auscultado, a 1/5 de su altura, controlando de forma especial su comportamiento estructural con la carga hidrostática, así como las restricciones del cimiento y las variaciones volumétricas del hormigón, incluyendo las de tipo autógeno.
- Movimientos de la junta entre los 2 sub-bloques del contrafuerte, medidos en el hastial de galería con ternas de bases de defórmetro o elongómetro.

b) Del conjunto de la estructura de contrafuertes

- Desplazamientos horizontales absolutos en la coronación y la proximidad del cimiento, en 5 contrafuertes, por medio de conjuntos de péndulos directo-invertido.
- Desplazamientos horizontales relativos de la coronación de la presa con relación al contacto presa-cimiento, en 7 contrafuertes mediante péndulos ópticos, (con plomada topográfica nadiral-cenital).
- Desplazamientos verticales en la coronación de la presa, mediante nivelación topográfica de precisión.
- Movimientos superficiales de las juntas de unión de contrafuertes (aperturas y deslizamientos), en la coronación de la presa y en la zona próxima al cimiento, mediante ternas de bases de elongómetros o defórmetro.
- Movimiento vertical de las juntas en coronación, mediante pares de bases para toma de lecturas con aparato comparador.
- Niveles piezométricos en el cimiento de los principales contrafuertes.

FIG.3A - PRESA DE SALAS (PRESA DE CONTRAFUERTES)



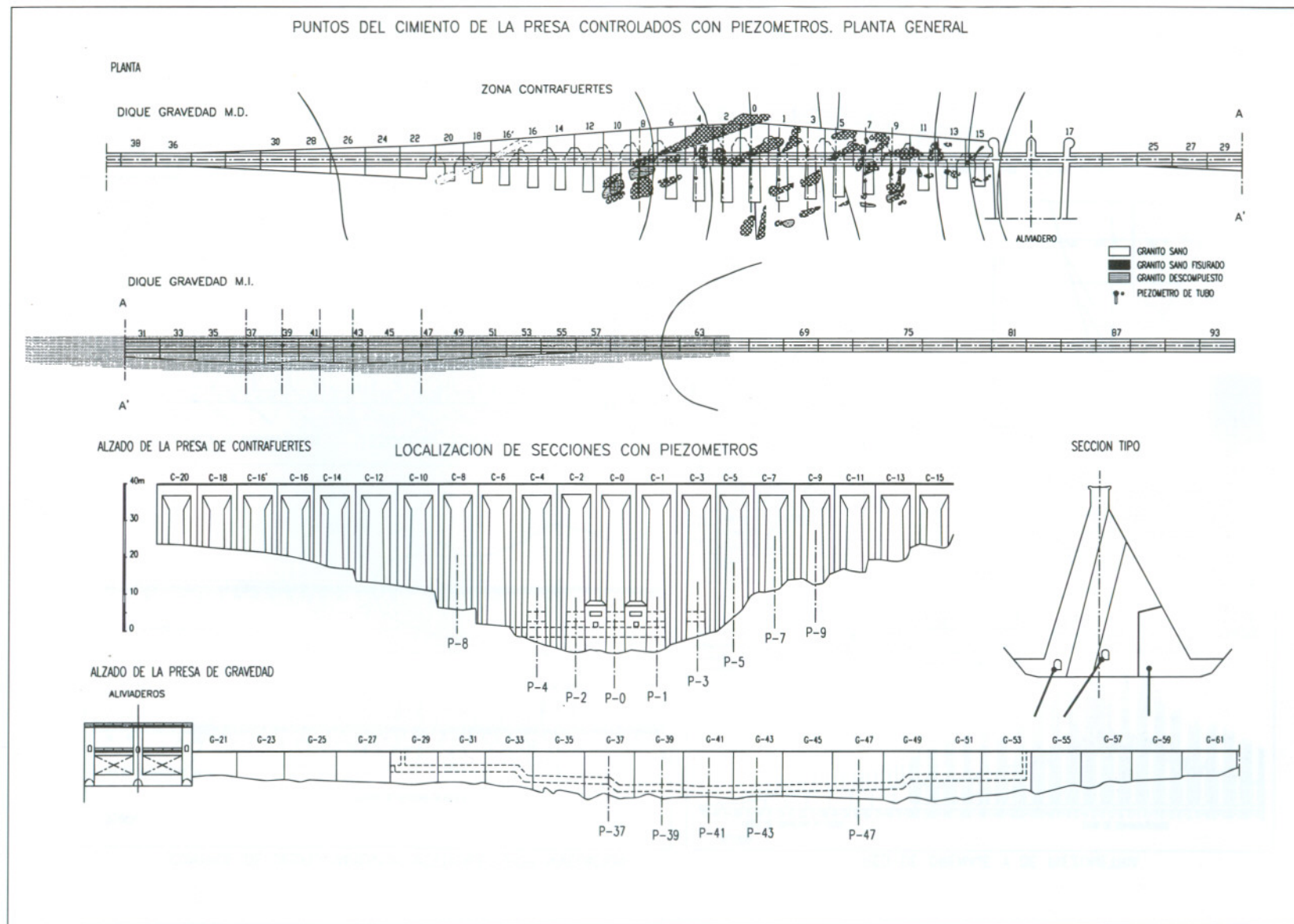


FIG.4A - PRESA DE SALAS (PRESA DE CONTRAFUERTE)

1.4. PRESA BÓVEDA DE LA BAELLS

En las figuras 5A y 6A se muestra el sistema de auscultación adoptado en la presa de La Baells (Barcelona).

La presa de La Baells está situada en el río Llobregat y en el término municipal de Cercs i Vilada (Berga). Su construcción finalizó el año 1976.

La estructura es una presa de 3 centros y doble curvatura, cuyas características básicas son:

- | | |
|-----------------------------|--|
| - Destino: | Abastecimiento |
| - Altura sobre cimientos: | 102,35 m |
| - Longitud en coronación: | 403 m |
| - Espesor de la coronación: | |
| en la zona central: | 4 m |
| - Volumen de la presa: | $383 \times 10^3 \text{ m}^3$ |
| - Volumen del embalse: | 115 Hm^3 |
| - Aliviadero: | De Compuertas sobre el estribo izquierdo |

La presa está cimentada sobre bancos de argilitas o areniscas de grano fino alternando con bancos de conglomerado con lentejones más o menos extensos y abundantes de grano grueso. Estos últimos son algo más permeables que los primeros, ya sea por su distinta porosidad, o bien por el sistema de diaclasas que en los conglomerados generalmente son más extensas y abiertas. (Véase una planta del cimiento con los puntos donde se han controlado subpresiones o niveles piezométricos en la Figura 6A).

Los controles implantados en la presa han sido los siguientes:

Variables exteriores

- Meteorológicas, obtenidas con los sensores centralizados en una caseta situada en una localización próxima a la estructura. Como variables básicas se miden: la temperatura ambiente instantánea, máxima y mínima del aire, la humedad relativa del aire y las precipitaciones de lluvia y nieve.
- Cotas del nivel del embalse con escalas gráficas y un limnómetro de flotador.
- Temperaturas del agua y aire en distintas cotas y bloques.

Variables de control interno en el cuerpo de la presa y su cimiento

- Temperaturas del hormigón, atendiendo al control de las tongadas y al global de la estructura. Se realizaron controles especiales en las primeras tongadas, para facilitar el estudio exhaustivo de los gradientes térmicos.
- Desplazamientos horizontales absolutos en 4 bloques de la presa, mediante conjuntos de péndulos directo e invertido. (La curvatura vertical de esta estructura impide la instalación única de un péndulo invertido en cada bloque).

- Desplazamientos horizontales absolutos en seis arcos de la bóveda utilizando triangulación geodésica. Para ello se instalaron señales de observación en el paramento de aguas abajo de la presa, pilares de observación y señales de referencia fija en el terreno natural.
- Desplazamientos horizontales absolutos en una galería horizontal a media altura de presa, utilizando poligonación topográfica.
- Movimientos verticales de la coronación de la presa y del terreno natural cercano, por nivelación topográfica de alta precisión.
- Aperturas de las juntas de retracción en interior, con medidores eléctricos.
- Movimientos de las juntas de retracción en exterior (aperturas y deslizamientos), con ternas de bases de defómetro o elongómetro.
- Tensiones en la estructura, con grupos bidimensionales y unidimensionales de extensómetros eléctricos, (estos últimos en un arco próximo a la coronación de la presa).

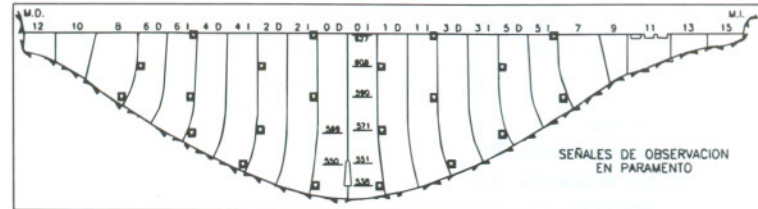
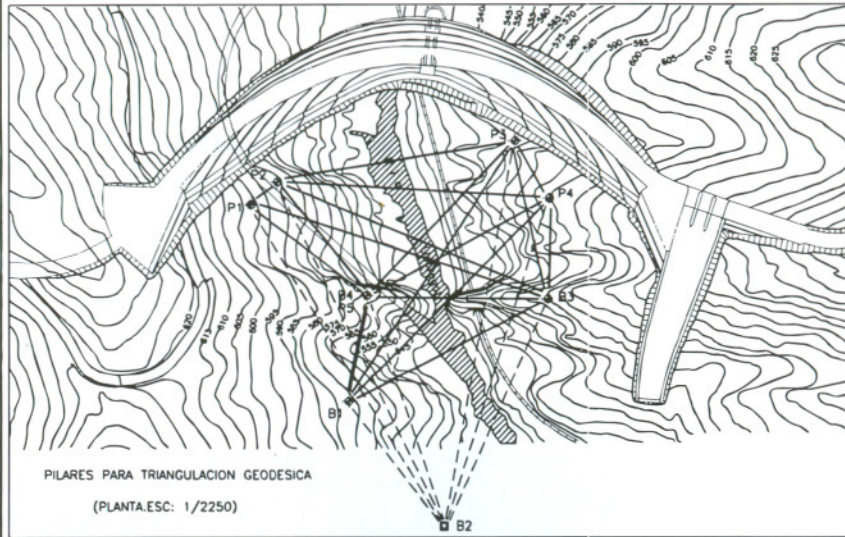
Los grupos bidimensionales están constituidos por 5 extensómetros activos y 1 extensómetro corrector y los unidimensionales por 1 activo y 1 corrector.

Con los bidimensionales se controlan planos tangentes a los paramentos de aguas arriba y aguas abajo, a 1 metro de éstos para evitar en el análisis de los datos obtenidos la influencia de los efectos ambientales diarios.

- Subpresiones para determinar la ley de aguas arriba a aguas abajo en 15 perfiles radiales y en el contacto de la estructura con el cimiento.
- Niveles piezométricos en diaclasas y singularidades geológicas del cimiento.
- Filtraciones de cada ladera y las globales en el interior de la presa, con aforadores triangulares tipo Thomson.
- Deformaciones y esfuerzos transmitidos al cimiento, bajo la ménsula central y riñones de presa, con equipos de extensómetros bidimensionales y tridimensionales de extensómetros de gran base de medida.
- Aceleraciones (respuesta de la estructura), producidas por eventos sísmicos en la zona alta de la estructura (ménsula central).

La distribución de sensores ha sido simétrica.

CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES POR METODOS GEODESICOS.



LEYENDA

●●●	TERMOMETRO PARA MEDICION EN AIRE, HORMIGON Y AGUA (2,98,5).
—	MEDIDORES INTERNOS DE JUNTA (37).
△	TERNAS DE BASES. MEDICION APERTURAS Y DESLIZAMIENTOS DE JUNTAS (66).
⊥	GRUPO BIDIMENSIONAL DE EXTENSOMETROS EN HORMIGON CON CORRECTOR (12).
⊥	GRUPO UNIDIMENSIONAL DE EXTENSOMETRO EN HORMIGON CON CORRECTOR (7).
⊥	ACELEROGRAFO PARA CONTROL SISMICO (3).
⊥	EXTENSOMETRO DE GRAN BASE PARA CONTROL DE LA CIMENTACION (2).
⊥	PENDULOS DIRECTOS E INVERTIDOS PARA CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS (4,4).
⊥	PLANCHETAS MECANICAS (14).
⊥	GRUPO TRIDIMENSIONAL DE EXTENSOMETROS CON CORRECTOR PARA CONTROL DE LAS DEFORMACIONES UNITARIAS EN LA ROCA (2).
⊥	PILAR DE OBSERVACION TOPOGRAFICA (7).
⊥	SEÑAL DE OBSERVACION EN PARAMENTO O ROCA PARA CONTROL TOPOGRAFICO (21,1).

INSTRUMENTACION. ESQUEMA GENERAL DE SITUACION DE APARATOS DE AUSCULTACION.

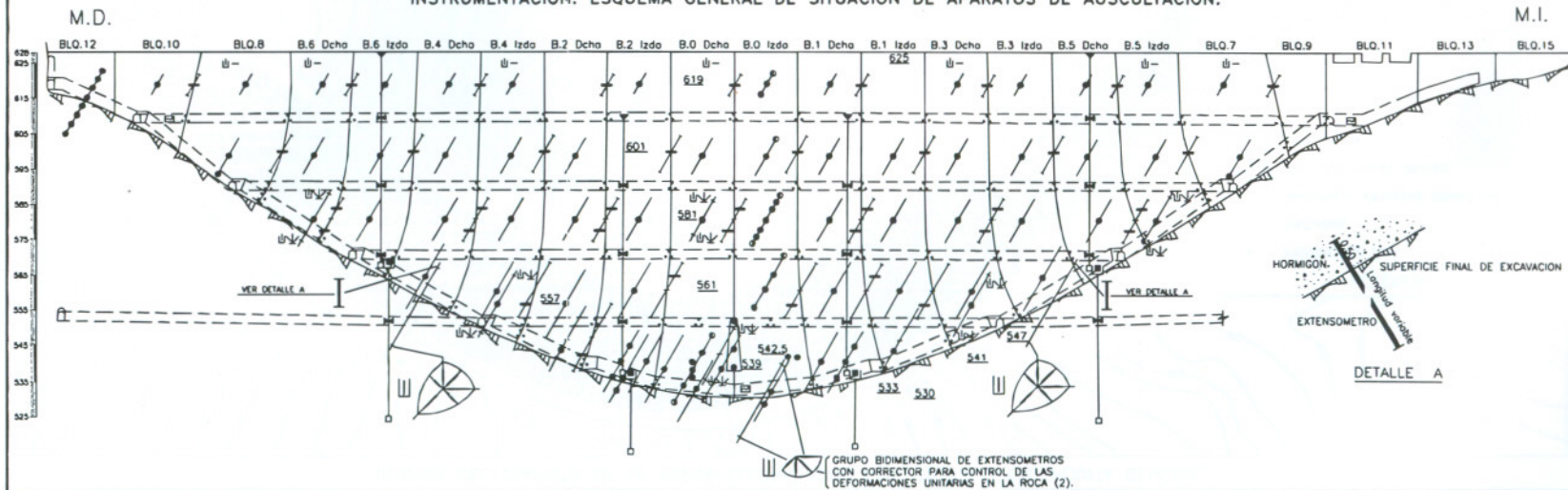


FIG.5A - AUSCULTACION DE LA PRESA BOVEDA DE LA BAEILLS.

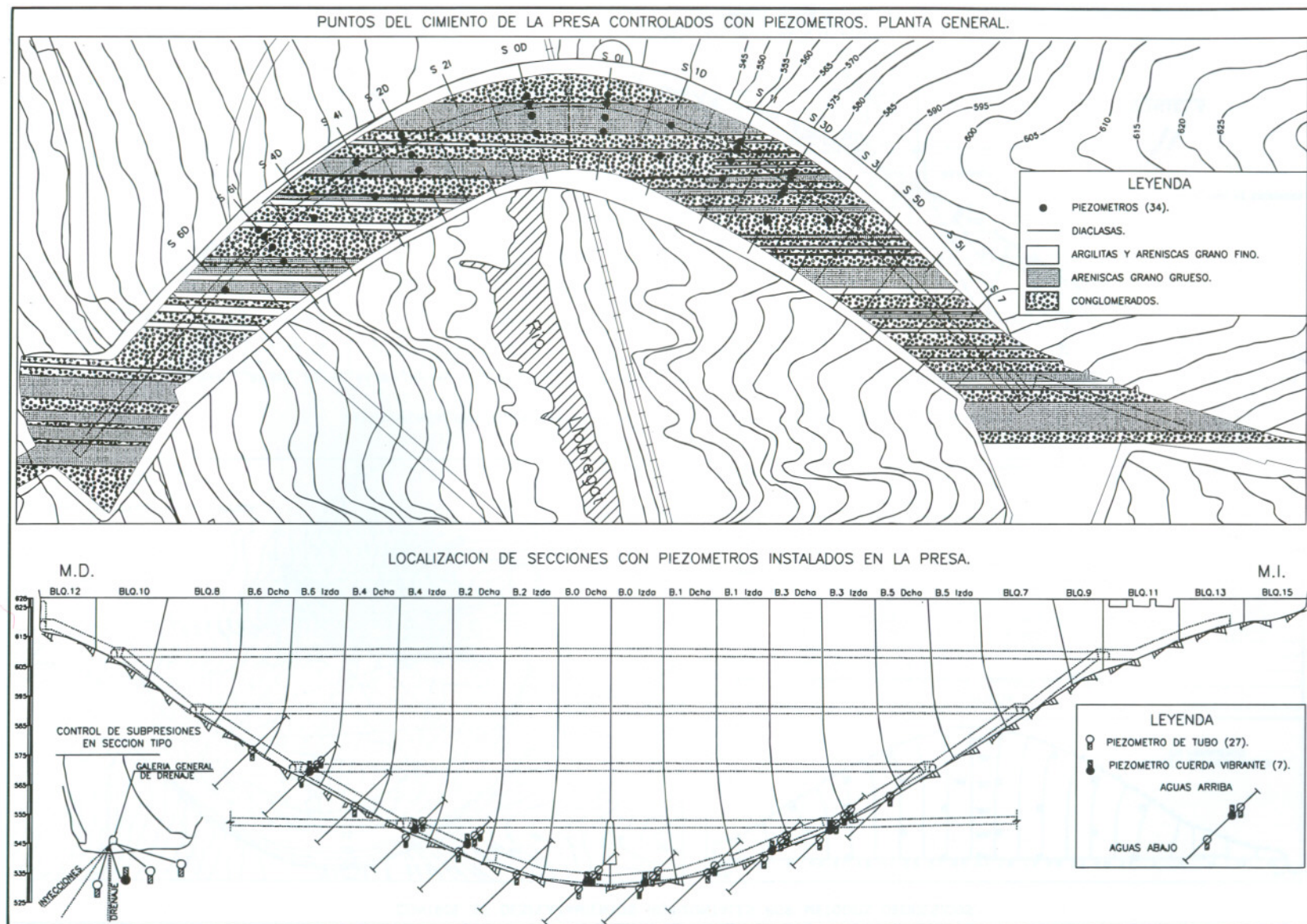


FIG.6A - AUSCULTACION DE LA PRESA BOVEDA DE LA BAEILL.

1.5. PRESA BÓVEDA DE ALBARELLOS

En las figuras 7A y 8A se muestra el sistema de auscultación adoptado en la presa de Albarellos.

La presa de Albarellos está situada sobre el río Avia, en la parte occidental de Galicia. Dicha zona está constituida, por rocas ígneas y terrenos metamórficos.

La presa bóveda de 90 m de altura está emplazada en una franja de gneis alternando con granito (migmatita), la cual separa una zona de granito situada al este, de una zona de gneis situada al oeste.

Este granito intercalado entre el gneis, procede de la granitización por intenso metamorfismo de dicho gneis.

En lo que respecta al emplazamiento propiamente dicho, la roca de cimentación de la presa está formada, en los dos tercios de su altura de la ladera derecha, por un gran banco de granito y en la parte baja de esta ladera, cuenco y margen izquierda, por una alternancia de gneis y granito, constituido fundamentalmente por lentejones de granito incluidos en el gneis.

Entre todas las fracturas que se presentan en el emplazamiento hay dos accidentes que han influido de forma predominante en la concepción del proyecto y que se denominan falla Verde y falla A. La falla Verde, situada en la margen izquierda del río Avia, tiene un rumbo N 56° E, y un buzamiento de unos 60° hacia el noroeste. Su relleno es una arcilla verdosa de 1 a 2 m de espesor. La falla A cruza el cauce del río y tiene un rumbo N 32° E y es prácticamente vertical. Su relleno es un granito descompuesto muy comprimido y su espesor a 5 m de profundidad, en la margen izquierda, es del orden de 1 metro.

La roca situada en la margen izquierda aguas arriba de la falla Verde, ha sufrido una alteración importante hasta profundidades de mas de 40 metros.

Esta circunstancia ha obligado a cimentar la presa en la ladera izquierda, en el macizo rocoso situado entre la falla Verde y la falla A, donde las características de la roca son adecuadas.

La bóveda es una estructura simétrica, constituida por arcos horizontales de tres centros, cuyo radio en la zona central en coronación es de 110 m y de 165 m en las zonas laterales.

La altura máxima de la presa sobre cimientos es de 90 m y sobre el zócalo de 82 m. Los espesores de la ménsula central varían entre 14 m en recalce y 3 m en coronación. El desarrollo de coronación es de 285 metros.

El estribo de gravedad de margen izquierda se ha dimensionado de forma que su masa sea la necesaria para resistir los esfuerzos transmitidos por la bóveda y la presión hidrostática que actúa

directamente sobre él. Su disposición geométrica en planta viene forzada por las condiciones geológicas y geotécnicas del macizo rocoso, como ya se ha dicho.

El aliviadero de superficie de la presa se situó en la margen izquierda, atravesando el estribo.

Como tratamiento especial de la cimentación de la presa además de las correspondientes pantallas de impermeabilización y drenaje, se ha hecho una consolidación de toda la zona de apoyo en ambas márgenes, a base de inyecciones de cemento, con una profundidad media de 20 metros.

Variables de control interno en el cuerpo de la presa y su cimiento

Bases de elongámetro	65
Medidores de juntas	70
Extensómetros de hormigón	110
Extensómetros de roca	42
Péndulos	8
Termopares	108
Drenes	264
Piezómetros	63
Canaletas	10
Comparadores	4
Cotas de embalse	1
Termógrafo	1
Pluviómetro	1

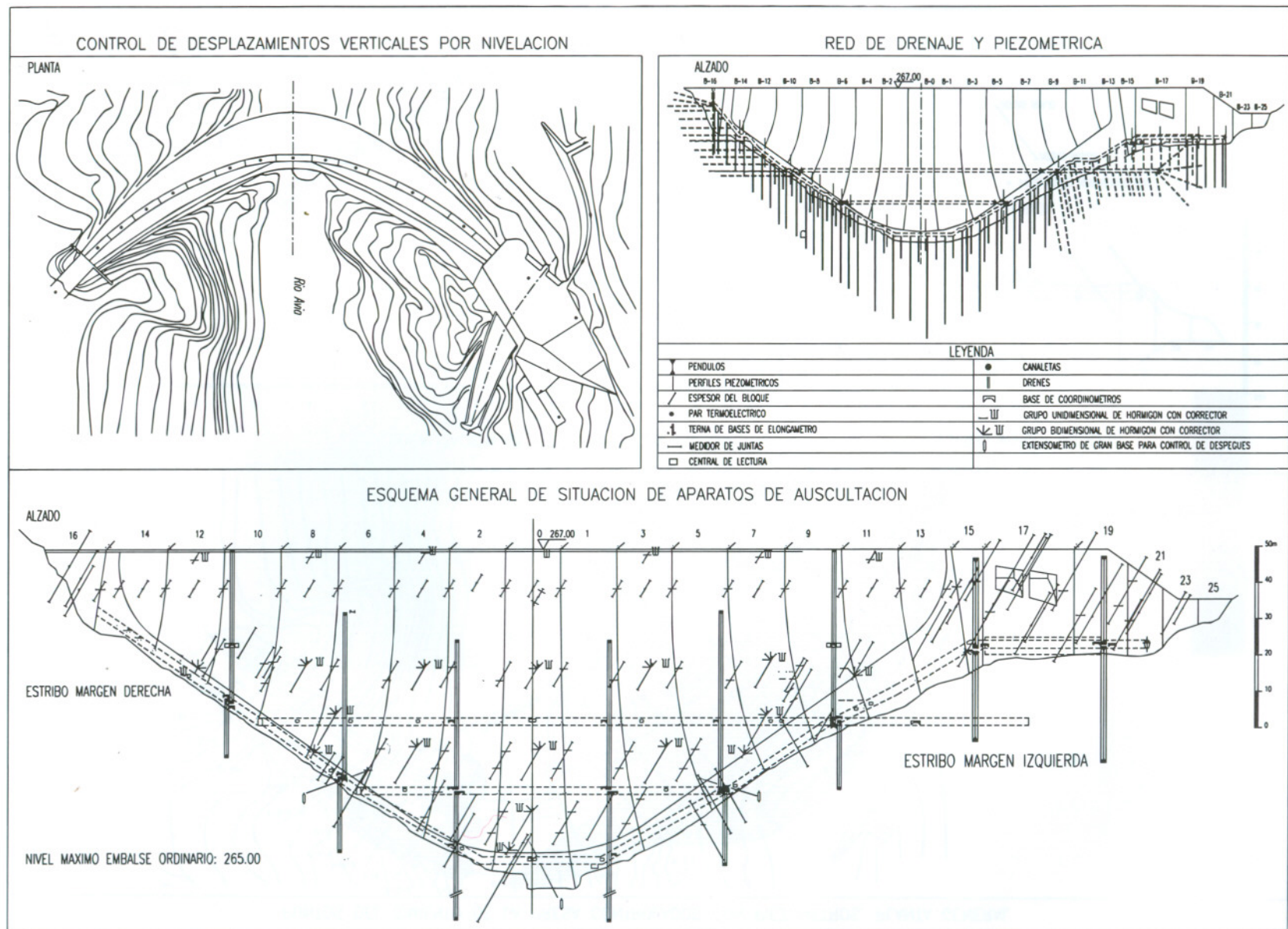


FIG.7A - AUSCULTACION DE LA PRESA BOVEDA DE ALBARELLOS

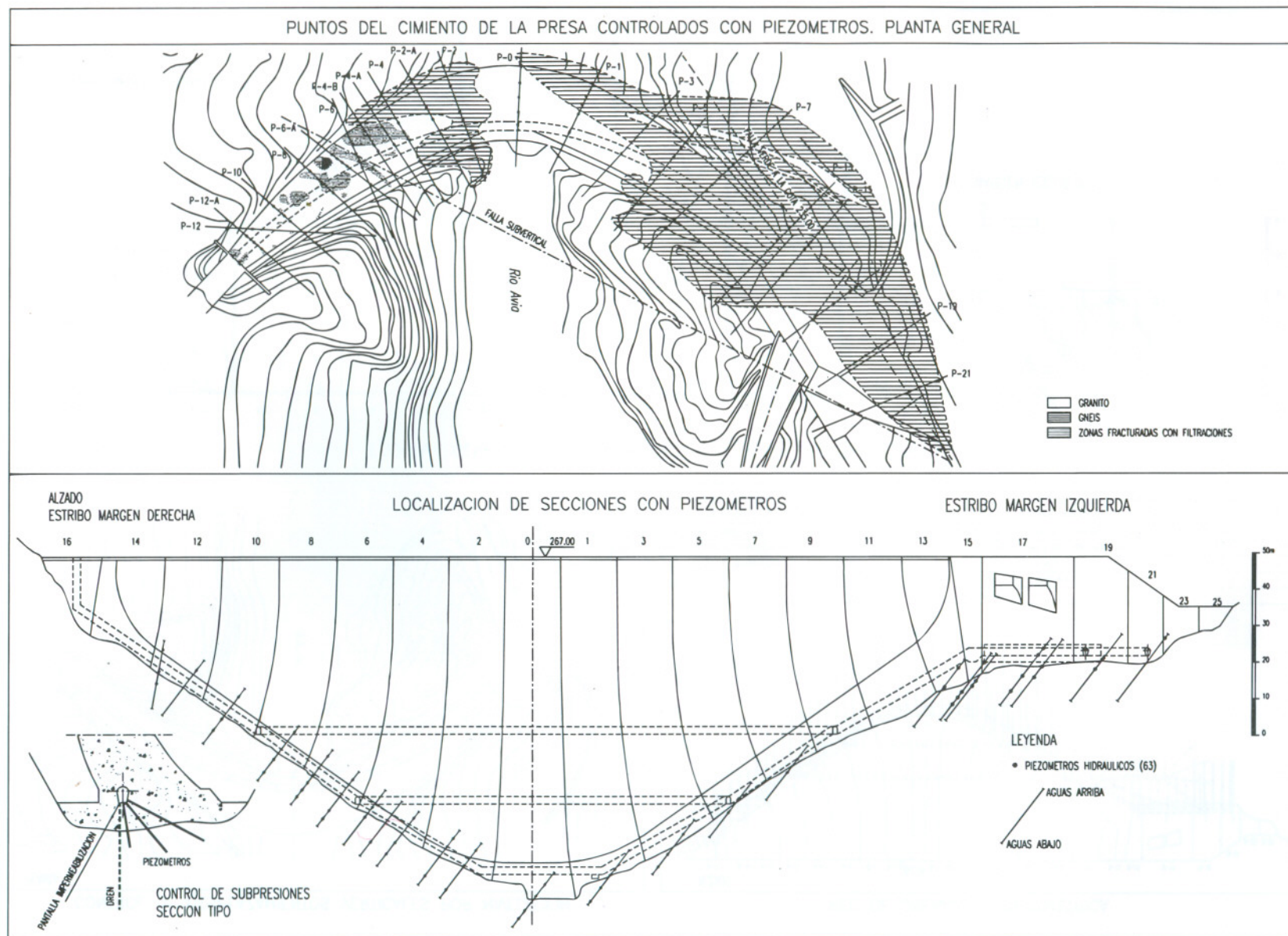


FIG.8A - AUSCULTACION DE LA PRESA BOVEDA DE ALBARELLOS

1.6. PRESA DE HORMIGÓN COMPACTADO DE SIERRA BRAVA

En la figura 9A se muestra el sistema de auscultación instalado en la presa de Sierra Brava (Cáceres).

La presa de Sierra Brava está situada en el arroyo Pizarroso (afluente del río Ruelas) y en el término municipal de Zorita. Su construcción se realizó entre los meses de Junio de 1992 y Noviembre de 1993.

La estructura es de gravedad y planta recta, cuyas características básicas son:

- Destino: Regulación complementaria río Ruelas y paso del canal de las Dehesas sobre su coronación.
- Altura máxima sobre Cimientos: 53,87 m
- Altura sobre el cauce del río: 47,31 m
- Longitud en coronación: 835 m
- Cota de la coronación: 336,37
- Número de bloques: 5
- Longitud de los 4 bloques centrales: 90 m (con juntas encofradas cada 90 m y cortadas cada 45 m.)
- Taludes de la presa: 0,05 aguas arriba y 0,75 aguas abajo escalonado).
- Galerías de la presa: 1 perimetral a la cota 305 (horizontal en los 4 bloques centrales)
- Aliviadero: De labio fijo, en el cuerpo de la presa (12 vanos de 12 x 14 m)
- Desagües de fondo: 2 conductos, 1,25 x 1,50 m (82 m³/s)
- Toma: 2 conductos (40 m³/s)
- Volumen del embalse: 232 Hm³

El cimiento de la cerrada está formado por materiales precámbricos (grauwacas y arcillas así como intrusiones esporádicas de diaclasas, que no dan problemas de estabilidad y permeabilidad).

En el cimiento de los bloques se ha realizado una pantalla de impermeabilización que alcanza los 20 m de profundidad.

Antes de la construcción de la presa se realizaron 2 losas de ensayo, con el fin de establecer:

- Una formulación adecuada para los distintos hormigones a utilizar en el cuerpo de presa.
- Una normativa útil para las operaciones de construcción (encofrado, ejecución de hormigonado, establecimiento de juntas, etc.).
- La longitud idónea de cada bloque de la presa.

Cada losa estaba formada por 2 sub-losas, separadas por una junta encofrada y constituidas por 7 capas de hormigón de 0,3 m. Sus dimensiones en planta eran de 220 x 7 m.

En la figura 9A se puede observar la auscultación realizada en estas losas.

1.6.1. Losas de ensayo

En una de ellas se colocaron 2 tipos de hormigón, ambos con dosificación de 100 kg de cemento Pórtland y 100 kg de cenizas volantes por m^3 , aunque una, con áridos de tamaño máximo de 80 mm y otra de 40 mm. En la otra, la dosificación fue de 80 kg de cemento Portland y 140 kg de cenizas volantes por m^3 y también los áridos tuvieron tamaños máximos de 80 mm y 40 mm.

Los controles realizados en el ensayo de las losas fueron:

Variables meteorológicas

- Temperaturas del aire en la zona de ensayo y en la torre de hormigonado.
- Humedad relativa en la zona de ensayo.

Variables controladas en la losa

- Temperaturas en el hormigón: en su colocación, en los procesos de fraguado y en el enfriamiento posterior, teniendo en cuenta el efecto de las tongadas superiores a la controlada.
- Deformaciones unitarias y globales del hormigón, así como la detección de microfisuras en la losa con extensómetros de gran longitud.

- Variaciones volumétricas del hormigón H.C.R. con el fin de obtener algunas de sus propiedades (coeficientes de difusibilidad térmica, coeficientes de dilatación lineal, variaciones autógenas de volumen, etc.).
- Apertura de la junta encofrada por medio de extensómetros de gran longitud.

1.6.2. Estructura y cimiento

Las variables controladas en la estructura y cimiento fueron las siguientes:

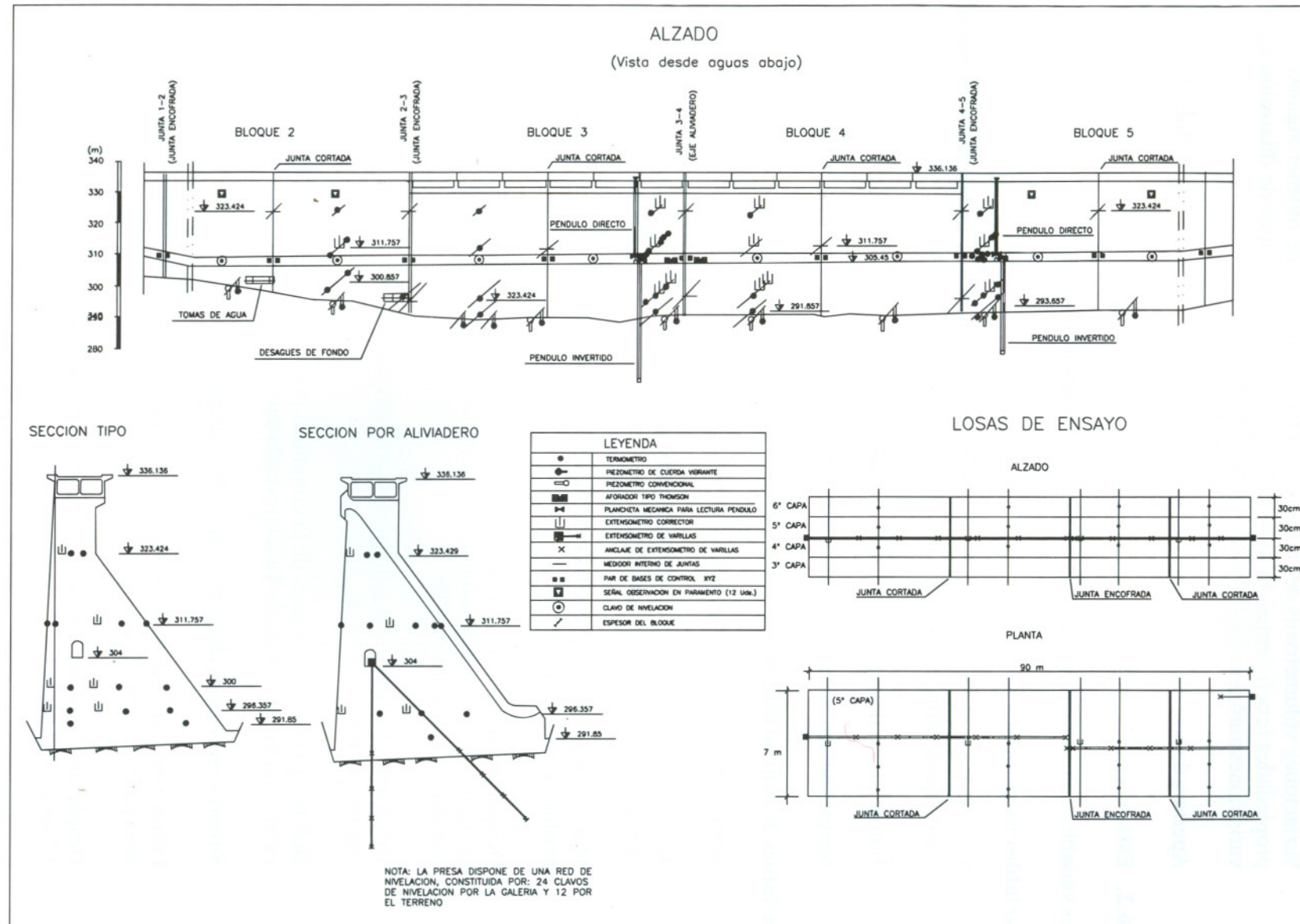
Variables exteriores

- Meteorológicas, obtenidas con una estación meteorológica instalada en la margen izquierda de la presa (temperatura del aire, y precipitaciones).
- Temperaturas del agua y aire en dos bloques centrales de la presa.
- Niveles del embalse, con escala graduada y limnómetro de sensor de cuarzo.

Variables de control interno del cuerpo de presa y su cimiento

- Temperaturas en el interior del hormigón.
- Aperturas en el interior de las juntas de retracción con medidores de tipo electromagnético (placa-sensor).
- Movimientos tridimensionales en el exterior de las juntas de retracción (en galería y con medidores tridimensionales).
- Desplazamientos horizontales absolutos en las cotas 332,5 y 304 de dos bloques centrales de la presa, mediante un conjunto enlazado de péndulo directo-invertido instalado en cada uno de ellos.
- Variaciones volumétricas y propiedades térmicas e hidromecánicas del hormigón con extensómetros correctores.
- Deformaciones y despegues de la cimentación en la zona central de la presa, con dos extensómetros de varilla de 4 anclajes cada uno.
- Subpresiones aguas abajo de la pantalla de drenaje, en 6 secciones de la presa.
- Filtraciones internas de la presa con 2 aforadores Thomson situados en la zona central de la galería, controlando cada uno de ellos una de las laderas.
- Desplazamientos horizontales de la coronación de la presa por trisección geodésica de 12 señales, observadas desde 3 pilares situados aguas abajo de la estructura.
- Nivelación topográfica de alta precisión por la galería de la presa y mediante 36 clavos.

Fig. 9A - PRESA DE SIERRA BRAVA (HORMIGÓN COMPACTADO)



1.7. Presa antigua de gravedad de Aguilar de Campóo

En la figura 10A se muestra el sistema de auscultación instalado en la presa de Aguilar de Campóo (Palencia) en el año 1989, 26 años después de su construcción.

La presa de Aguilar de Campóo está situada en el río Pisuerga y en el término municipal de Aguilar de Campóo. Su construcción finalizó en el año 1963.

La estructura es del tipo gravedad, planta recta, cuyas características básicas son:

- Destino:	Riegos y producción de energía
- Altura sobre cimientos:	48 m
- Longitud en coronación:	500 m
- Espesor de la coronación:	4 m
- Volumen de la presa:	$269 \times 10^3 \text{ m}^3$
- Talud de aguas arriba:	0,05
- Talud de aguas abajo:	0,75
- Volumen del embalse:	247 Hm^3
- Aliviadero de compuertas:	En la margen derecha

La cerrada está situada en un terreno de calizas estratificadas en capas de un espesor decimétrico, con aspecto muy compacto y que presentan una karstificación irregular con abundantes rellenos rojizos.

La presa fue construida en varios años con hormigones de características diferentes.

Paralelamente a la instrumentación se realizó una campaña de investigación de la calidad del hormigón y un estudio preliminar de las presiones.

Los controles implantados en esta presa han sido:

Variables exteriores

- Meteorológicas. Temperaturas y humedad relativa del aire, precipitaciones de lluvia y nieve, velocidad del viento, evaporación y radiación solar, todas ellas obtenidas en un recinto próximo a la oficina de presa.
- Niveles del embalse con escalas graduadas y un limnómetro del tipo piezoeléctrico.

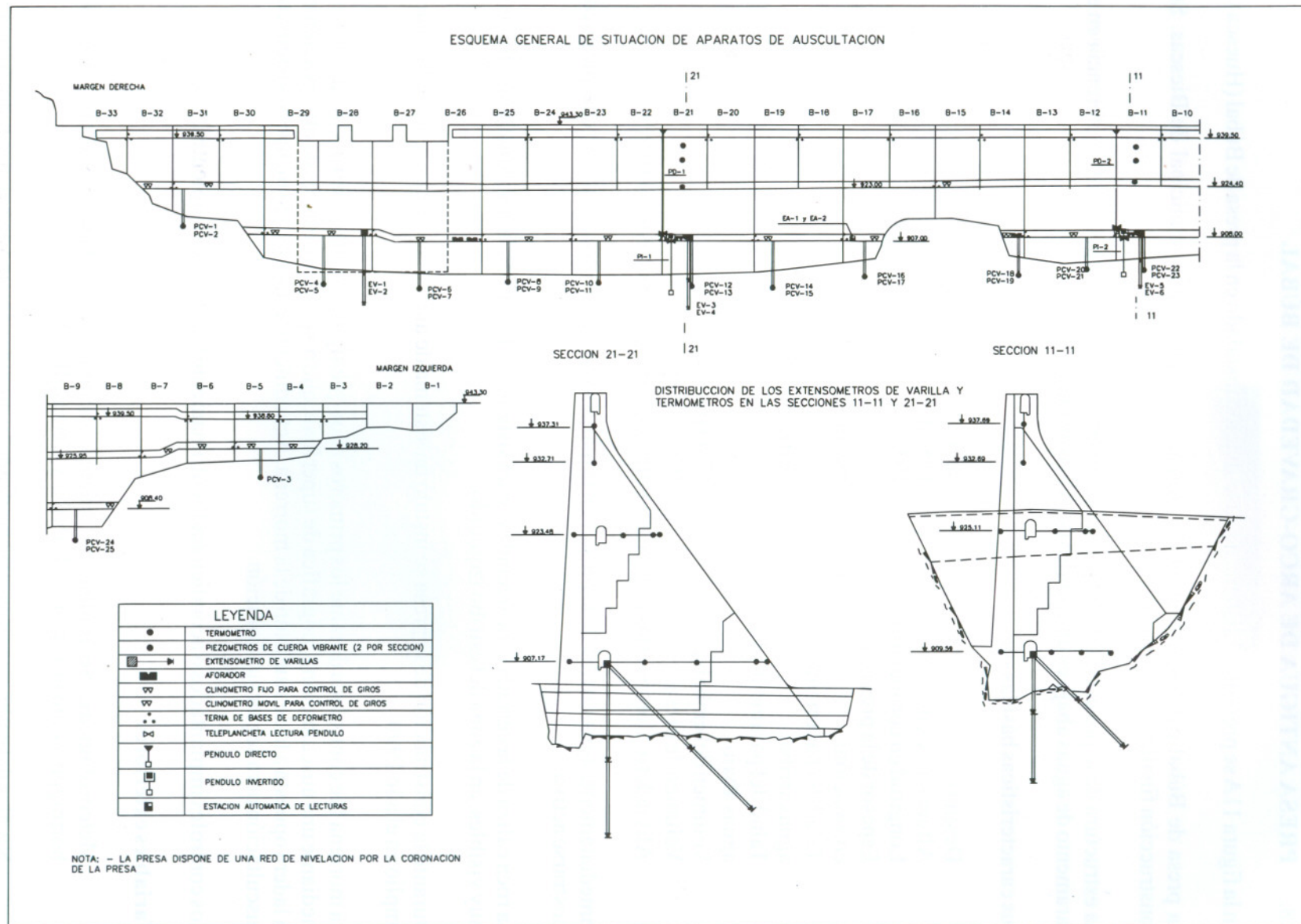
Variables de control interno en el cuerpo de la presa y su cimiento

- Temperaturas en el interior de 2 bloques altos y en 2 cotas de cada uno de ellos. Este control se realiza en los bloques donde también se miden deformaciones de la estructura y cimiento, así como subpresiones, con el fin de separar efectos.
- Desplazamientos horizontales con 2 conjuntos de péndulos directo-invertido, situados en 2 de los bloques más altos de la presa. Para la instalación de los péndulos directos se utilizaron los pozos de inyección de las juntas de retracción.

- Desplazamientos verticales en la coronación de la presa y en todos los bloques, así como en la zona de aguas abajo del terreno, por nivelación topográfica de alta precisión.
- Giros biaxiales según los 2 ejes principales de la presa, en la galería más próxima al cimiento, mediante un clinómetro fijo y con bases para clinómetro móvil que están instaladas en los hastiales.
- Movimientos de juntas en galerías (aperturas y deslizamientos en hastial de aguas debajo de la galería de cota inferior y en la solera de la galería de cota superior), mediante ternas de bases de defórmetro o elongámetro.
- Deformaciones en el terreno, utilizando 2 extensómetros de varillas, uno con disposición vertical y otro a 45° con éste y buzando hacia aguas abajo.
- Subpresiones: Con 2 piezómetros de cuerda vibrante, en 11 bloques y 1 piezómetro en un bloque de menor altura situado en la margen izquierda. Este control resulta ser uno de los más importantes para la presa, por ser ésta de gravedad y tener el cimiento calizo que se ha referido anteriormente.
- Filtraciones interiores medidas en 2 localizaciones de la galería inferior con 3 aforadores del tipo Thomson, con los que se pueden obtener las filtraciones procedentes de cada ladera, así como las totales.

La presa dispone de un sistema automático de medición que permite la toma de lecturas y su almacenamiento en ordenador, desde las oficinas de presa, como las situadas en Valladolid.

FIG. 10A - PRESA DE AGUILAR DE CAMPO (PRESA ANTIGUA DE GRAVEDAD)



1.8. PRESA ANTIGUA DE ARCO-GRAVEDAD DE BÚBAL

En la figura 11A se presenta el sistema de auscultación instalado en la presa de Búbal (Huesca).

La presa de Búbal está situada en el río Gállego y en el término municipal de Biescas. Su construcción finalizó en el año 1971.

La estructura de la presa es del tipo gravedad, planta curva, cuya superficie de referencia en el paramento de aguas abajo es un cilindro de 115 m de radio.

Sus características básicas son:

- | | |
|--|---|
| - Destino: | Riegos |
| - Altura sobre cimientos: | 115 m |
| - Longitud en coronación: | 195 m |
| - Espesor de la presa en coronación: | 6,2 m |
| - Talud del paramento de aguas arriba: | Vertical |
| - Talud del paramento de aguas abajo: | 0,5 |
| - Volumen del embalse: | 62,4 Hm ³ |
| - Volumen de presa: | 198 x 10 ³ m ³ |
| - Aliviadero: | Compuertas en la zona central de la presa. Capacidad: 800 m ³ /s |

Inmediatamente aguas arriba de la presa y en la margen izquierda existe una morrena que puede mostrarse activa.

La roca caliza de la cerrada está afectada por un sistema complejo de fallas y diaclasas, algunas muy visibles, en la zona del estribo izquierdo.

Durante la construcción de la presa se instaló un sistema de auscultación que se acondicionó y amplió en el año 1990.

La morrena fue controlada durante los primeros años que siguieron a la construcción de la presa mediante una auscultación topográfica de superficie, que disponía de pilares de observación en la ladera opuesta a la de situación de la morrena. Actualmente está previsto un nuevo sistema de auscultación para seguir su evolución.

Los controles implantados o acondicionados últimamente han sido los siguientes:

Variables exteriores

- Meteorológicas. Se miden las mismas variables controladas en otras presas de hormigón, como la de Cortes de Pallás y Cernadilla.
- Niveles del embalse con escalas graduadas y medidor del tipo de balanza hidrostática.

Variables de control interno en el cuerpo de la presa y su cimiento

- Temperaturas en el interior del hormigón. Se han acondicionado las señales eléctricas de salida de los termómetros instalados durante la construcción de la presa, con el fin de mejorar y automatizar la toma de lecturas.
- Desplazamientos horizontales absolutos mediante un conjunto de péndulo directo e invertido situado en uno de los bloques centrales de la presa.
- Desplazamientos horizontales absolutos de distintos puntos situados aguas abajo de la estructura, por triangulación geodésica.
- Movimientos verticales de la estructura y laderas, por nivelación topográfica de alta precisión, implantada en la galería de la presa de cota más alta y sus ramales en la roca. Esta auscultación se enlaza con un extensómetro de varillas de disposición vertical para la obtención de movimientos absolutos.
- Giros de la estructura mediante bases de clinómetro situadas en las galerías. Se controlan los bloques más significativos, tanto en pie como en cabeza.
- Deformaciones verticales del cimiento de la margen izquierda con el extensómetro de varillas de gran longitud, controlando la unión de dos formaciones geológicamente diferentes.
- Movimientos de las juntas de retracción en las galerías de la presa con ternas de bases de defómetro o elongámetro (aperturas y deslizamientos verticales).
- Subpresiones con piezómetros eléctricos y de tubo, habiendo instalado 2 en la mayor parte de los bloques controlados con el fin de conocer la ley de distribución de aguas arriba a aguas abajo.
- Filtraciones internas con aforadores triangulares tipo Thomson, controlando las de cada galería horizontal y las de cada ladera en el entronque con la galería perimetral.

Además de estos controles se han recuperado otros equipos instalados en la fase de construcción para conocer:

- a) Esfuerzos transmitidos por efecto arco al macizo rocoso, utilizando grupos de bases metálicas instaladas en hastiales verticales de las galerías de reconocimiento. Los vértices de estos grupos definen 4 direcciones de 1 m de base de medida. Las deformaciones entre bases se miden con un equipo extensométrico de precisión.
- b) Tensiones en el hormigón, con grupos bidimensionales y tridimensionales de extensómetros eléctricos. Se destaca la importancia en establecer para estos aparatos un archivo detallado de todo el proceso de instalación, características de los equipos y constantes de calibración, pues de lo contrario, como ha ocurrido en esta presa, es muy difícil conocer la posición de cada grupo de extensómetros, la de cada extensómetro dentro de un grupo y las constantes de calibración y transformación de las lecturas a unidades ingenieriles.

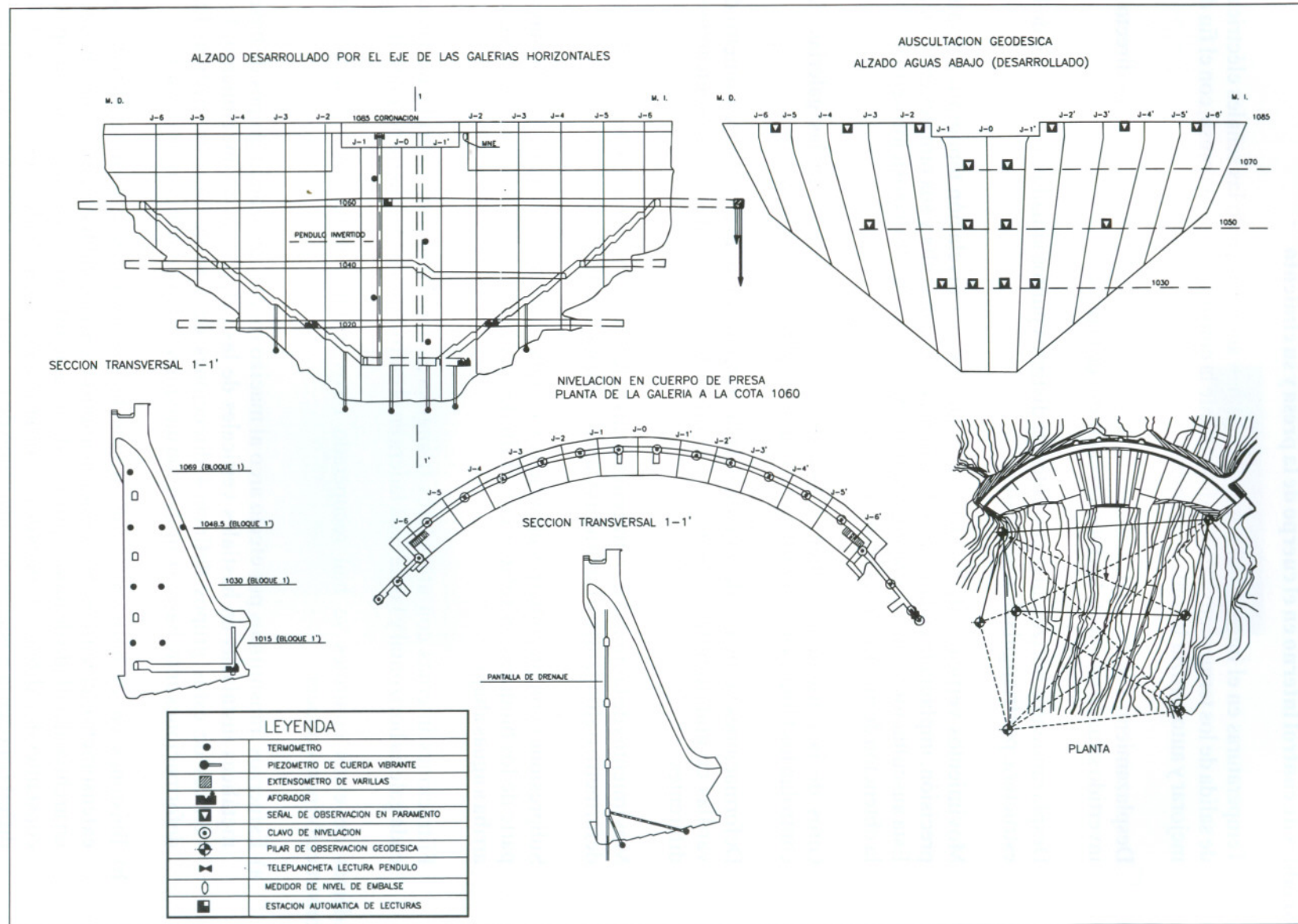


FIG.11A - PRESA DE BUBAL (PRESA ANTIGUA DE ARCO-GRAVEDAD)

2.

PRESAS DE MATERIALES SUELTOS

2.1. PRESA DE HUESNA, DE ESCOLLERA CON PANTALLA ASFÁLTICA

En la figura 12A se muestra el sistema de auscultación instalado en la presa de Huesna (Sevilla).

La presa de Huesna está situada en el río Huesna y en el término municipal de Constantina y Pedroso. Su construcción finalizó en el año 1990.

Consiste en una escollera con pantalla de impermeabilización asfáltica que está apoyada aguas arriba en un plinto de hormigón. Sus características básicas son:

- Destino:	Abastecimiento
- Altura sobre cimientos:	71,5 m
- Longitud en coronación:	278 m
- Espesor de la coronación:	9 m
- Volumen de la presa:	$875,55 \times 10^3 \text{ m}^3$
- Talud de aguas arriba:	1,6/1
- Talud de aguas abajo:	1,5/1
- Aliviadero:	Lámina libre, en margen derecha

La presa posee un túnel artificial de hormigón armado, con galería de acceso a la cámara de válvulas de los desagües de fondo y a la galería perimetral del plinto.

La cimentación está formada por un conjunto de pizarras pertenecientes al Cámbrico. Se tienen alternancias en bancos centimétricos o decimétricos (máximo 50 cm) de diferentes pizarras arcillosas, arenosas y silíceas, con predominio de las primeras. La presencia de niveles cuarcíticos es pequeña.

La estructura de estas alternancias es muy simple, con dirección normal a la cerrada y buzamiento hacia aguas arriba, entre 30° y 60°. Las diaclasas tienen poca continuidad, afectando a los bancos más duros de pizarras.

En los estudios geológicos realizados antes de iniciar la construcción de la presa se observó una zona de posible deslizamiento a la cota del NMN en la ladera izquierda, lo que obligó a cambiar la situación dada inicialmente al aliviadero, que se pasó a la margen derecha.

El sistema de auscultación instalado en esta presa permite realizar los siguientes controles.

Variables exteriores

- Variables meteorológicas: temperaturas del aire, precipitaciones, evaporación y radiación solar, obtenidas en una estación manual y automática situada en un recinto próximo a la oficina de presa.
- Niveles del embalse, con escalas graduadas y limnómetro del tipo de balanza de cuarzo con captación neumática.

Variables de control interno en el cuerpo de la presa y su cimiento

a) Cuerpo de presa

- Asientos diferenciales de la escollera en tres cotas, mediante células hidráulicas conectadas para su lectura a paneles de control situados en casetas en terreno natural (margen izquierda).
- Deformaciones longitudinales de la presa a una cota próxima a la coronación, por medio de extensómetros de gran base de medida, que disponen de transductor electrónico.
- Empujes y deformaciones en la dirección transversal de la presa, producidos por la carga hidrostática del embalse en la proximidad del plinto de apoyo de la presa y de la pantalla asfáltica, con el fin de conocer la resistencia pasiva de los mismos. Para este control se instalaron células de presión total y extensómetros de gran base de medida.
- Deformaciones en una vertical, por la zona más alta de la presa y cada 3 m de altura, utilizando un tubo telescópico de asientos.
- Desplazamientos horizontales en la coronación y en las 3 bermas de la escollera, por medio de colimaciones topográficas.
- Movimientos verticales de la coronación y del terreno natural en la margen izquierda, por nivelación topográfica de precisión.
- Aceleraciones producidas por eventos sísmicos en el cimiento de la margen izquierda (señal de entrada) y en la zona central de la coronación (señal de respuesta). Este control se implantó al estar situado el embalse en una región con índice de sismicidad $a_{b/g}$ 0,04 y 0,13, según la Norma de construcción sismorresistente NCS-94.

b) Plinto de apoyo

En 5 secciones transversales del plinto:

- Deformaciones y despegues en el cimientto, con 2 extensómetros de gran base (varillas) en cada una de ellas.
- Giros en los planos transversal y longitudinal de la presa, con 1 base de clinómetro instalada en la zona baja de la galería perimetral.
- Subpresiones con 2 piezómetros en cada sección controlada..

Además se miden filtraciones internas en la galería perimetral, por medio de aforadores triangulares tipo Thomson, obteniéndose las de cada ladera y consecuentemente las totales.

c) Túnel artificial de los desagües de fondo

- Convergencias en 3 secciones de la estructura del túnel.
- Distribución tensional de la estructura de hormigón armado en las 3 secciones controladas. Para ello, se fijaron extensómetros eléctricos a las armaduras.
- Cargas transmitidas por la escollera al túnel, mediante células de presión total.
- La presa actualmente dispone de un sistema distribuido para la medición automática a distancia de gran número de sensores.

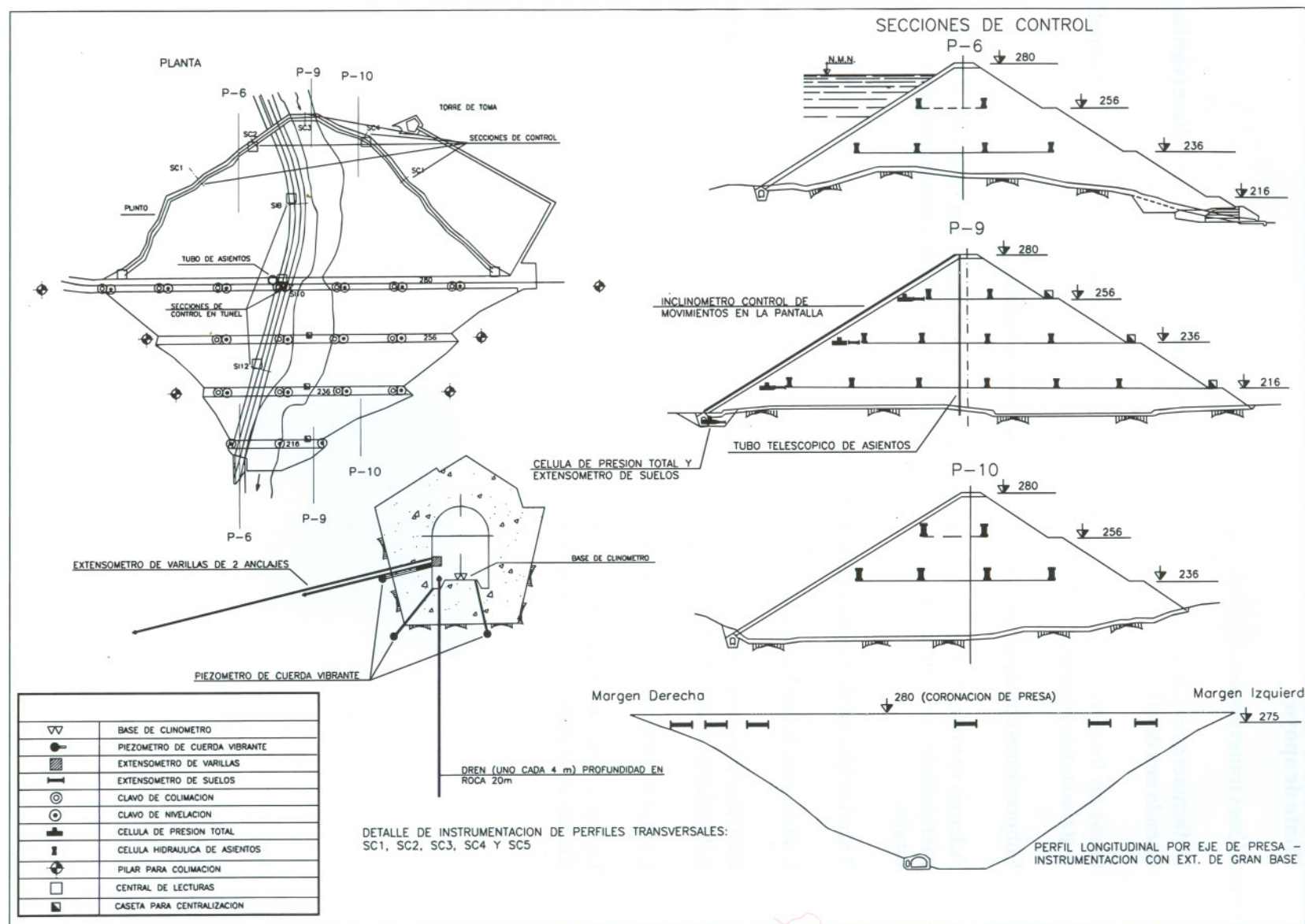


FIG.12A - PRESA DE HUESNA (ESCOLLERA CON PANTALLA ASFALTICA)

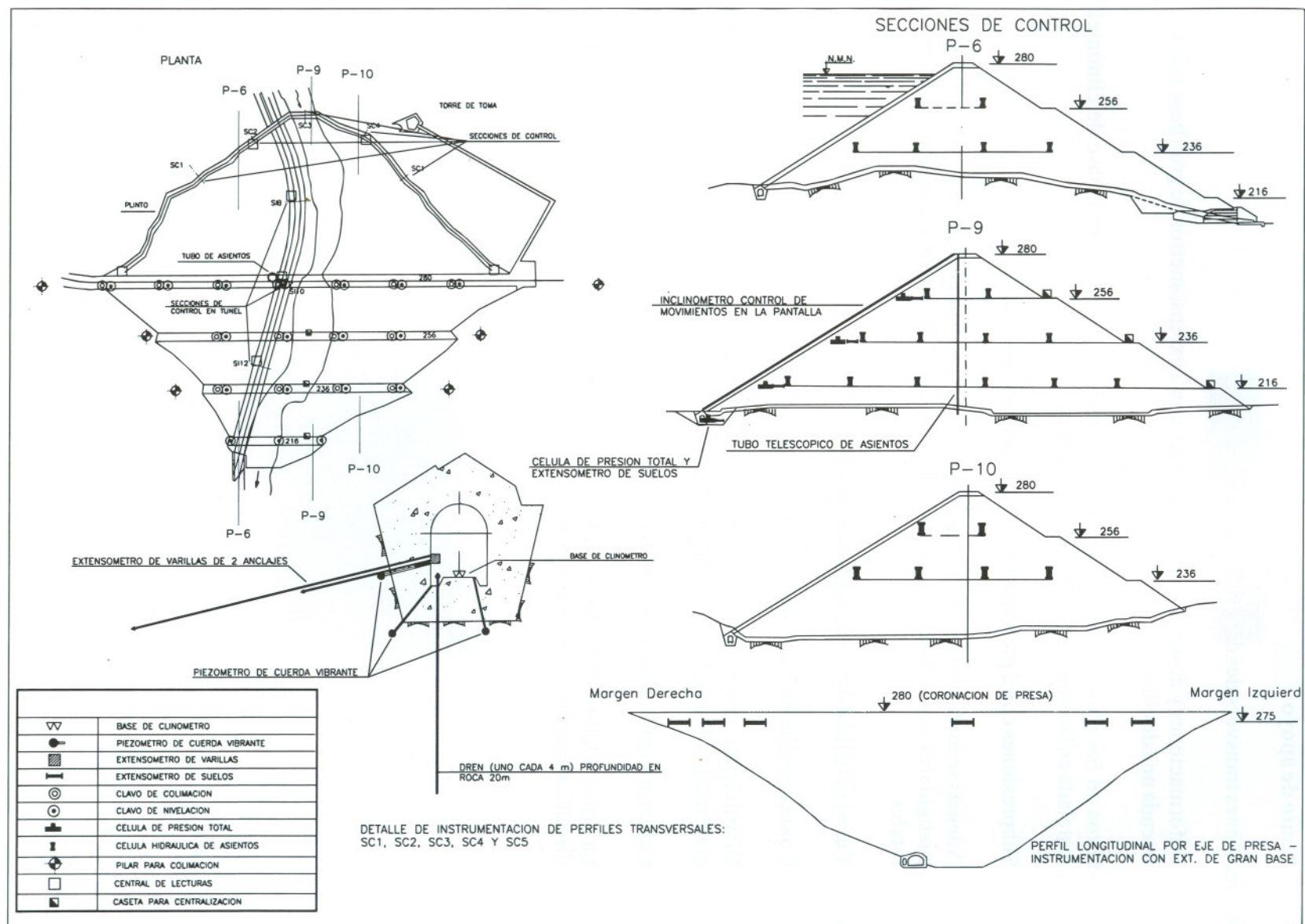


FIG.12A - PRESA DE HUESNA (ESCOLLERA CON PANTALLA ASFALTICA)

2.2. PRESA DE EL PORTILLO, DE NÚCLEO VERTICAL

En la figura 13A se muestra el sistema de auscultación instalado en la presa de El Portillo (Granada).

La presa de El Portillo es de núcleo impermeable vertical con planta curva en la margen izquierda. Está situada en el río Castril y en el término municipal de Castril. Su construcción finalizó en el año 1976.

Sus características básicas son:

- Destino: Riegos
- Altura sobre cimientos: 82,79 m
- Longitud en coronación: 327,33 m
- Espesor en coronación: 10 m.
- Volumen de la presa: $1.536,47 \times 10^3 \text{ m}^3$
- Volumen del embalse: $33,5 \text{ Hm}^3$
- Aliviadero de lámina libre con canal de descarga y cuenco amortiguador.
- Capacidad de evacuación: $500 \text{ m}^3/\text{s}$
- Túnel de desvío del desagüe de fondo: En el cimiento de la margen izquierda
- Dispone de 2 ataguías y una galería perimetral empotrada en el cimiento

El cimiento de la presa está formado por calizas, calizas margosas y arenas margosas, éstas últimas localizadas en la margen derecha y zona alta de la margen izquierda.

Los controles de auscultación implantados en esta presa son los siguientes:

Variables exteriores

- Meteorológicas. Se obtienen con estación situada a la altura de la coronación de la presa y en la margen derecha (zona próxima a la oficina de obra), midiéndose: temperaturas y humedad relativa del aire y precipitaciones de lluvia.
- Niveles de embalse con escalas graduadas y medidor del tipo de balanza de cuarzo con captación neumática.

Variables de control interno en el cuerpo de la presa y su cimiento

a) En perfiles de control

Se auscultan cinco secciones separadas entre sí unos 50 m, una por el cauce y dos más en cada ladera.

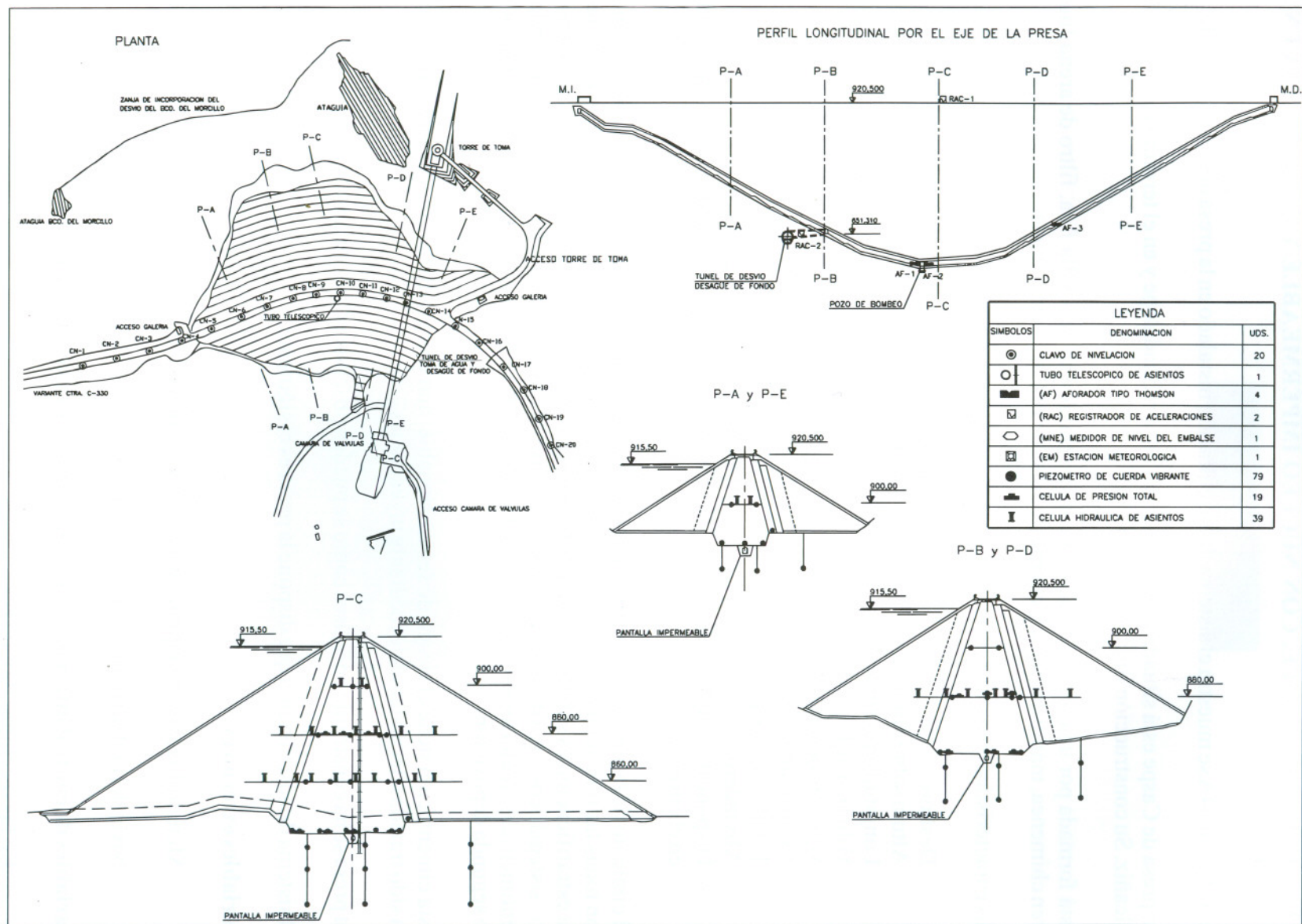
- Presiones intersticiales en el cimiento para controlar la eficacia de la pantalla de impermeabilización y la red de drenaje. Para ello, se instalaron piezómetros de cuerda vibrante en 3 verticales y a 3 cotas en el perfil del cauce, a dos cotas en cada perfil de laderas más próximo a la zona central de la presa y a una cota en los restantes.

- Presiones intersticiales en 2 puntos de cada una de las dos singularidades importantes del cimiento, (consistentes en las formaciones de arenas margosas ya citadas).
- Presiones intersticiales en 3 puntos del contacto del núcleo con el cimiento, lo que permite conocer su variación de aguas arriba a aguas abajo.
- Presiones intersticiales en 3 cotas del filtro chimenea.
- Presiones intersticiales en el núcleo de la presa y a 3 cotas.
- Presiones totales y efectivas con células de presión total, en el contacto del núcleo con el cimiento y en las 3 localizaciones de cada perfil donde se miden presiones intersticiales. Con estas mediciones se puede conocer en cada momento la situación de cierre del referido contacto.
- Presiones totales y efectivas con células de presión total en las cotas del núcleo impermeable y en 3 localizaciones donde se instalaron piezómetros de cuerda vibrante (aguas arriba, eje del núcleo y aguas abajo).
- Asientos diferenciales entre espaldones, filtro de aguas arriba, núcleo y dren chimenea, por medio de células hidráulicas de asientos. Estas mediciones se realizan en las 3 cotas en las que se controlan presiones intersticiales en el cuerpo de la presa.
- Para el control de la consolidación (asientos) del material constitutivo de la presa y su posterior seguimiento, en el perfil central se instaló un tubo telescópico para toma de lecturas mediante sonda. Éste, está anclado en roca sana (referencia fija), y dispone de un bastidor acoplado al tubo y al relleno de presa cada tres metros, de forma que es posible conocer en cada momento los asientos entre el anclaje fijo (fondo) y el bastidor.

b) Generales

- Filtraciones recogidas en el interior de las galerías. Se aforan individualmente las de cada ladera y las procedentes de la zona de arenas margosas de la margen derecha, mediante 3 aforadores triangulares del tipo Thomson y un pozo de bombeo de 5 m³ de capacidad.
- Movimientos verticales de la coronación de la presa y ladera derecha mediante nivelación topográfica de alta precisión.
- Desplazamientos horizontales de la zona central de presa por colimación.
- Aceleraciones de entrada en el cimiento y de respuesta en la coronación (perfil central) ante eventos sísmicos. Este control se estableció al estar ubicada la presa en una zona de sismicidad $a_{b/g} \geq 0,04$ y $\leq 0,13$, según la Norma de construcción sismorresistente NCS-94.

FIG.13A - PRESA DE EL PORTILLO (PRESA DE NUCLEO VERTICAL)



2.3. PRESA DE CASPE, CON NÚCLEO IMPERMEABLE Y CONSTRUIDA EN 3 FASES

En la figura 14A se muestra el sistema de auscultación instalado en la presa de Caspe (Teruel).

La presa de Caspe está situada en el tramo bajo del río Guadaloque y en el término municipal de Alcañiz. Su construcción finalizó en el año 1987.

Está formada por una presa de núcleo vertical semigrueso de arcilla fina, filtro de arena fina, dren chimenea, manto drenante y cuerpo de presa de zahorra compactada.

Sus características básicas son:

- | | |
|--|----------------------------------|
| - Destino: | Riegos |
| - Altura sobre cimientos: | 54 m |
| - Longitud en coronación: | 397,5 m |
| - Volumen de la presa: | $1.612 \times 10^3 \text{ m}^3$ |
| - Volumen del embalse: | 81,6 Hm ³ |
| - Talud de aguas arriba: | 2,7/1 |
| - Talud de aguas abajo: | 1,7/1 |
| - Aliviadero: | 3 compuertas (en margen derecha) |
| - Dispone de galería perimetral en la zona de aguas abajo del núcleo, que está empotrada en el cimiento. | |

El cimiento de la presa está constituido por margas, areniscas y limolitas del terciario mioceno, con todas las transiciones intermedias de margas arenosas y areniscas más o menos arcillosas. La estratificación es subhorizontal, con buzamientos muy suaves, pero de rumbo y orientación no sistemáticos, existiendo en todas las formaciones capas de yeso subhorizontales centimétricas, según los estratos y diaclasas o grietas de retracción rellenas de yeso cristalizado de segunda deposición.

Esta cimentación tiene el riesgo de ser erosionable, aún con gradientes moderados, por lo que ha sido tratada adecuadamente mediante inyecciones.

La presa se ha construido en 3 fases como se pueden observar en la figura 14A.

El sistema de auscultación que dispone la presa es el siguiente:

Variables exteriores

- Meteorológicas: Precipitaciones de lluvia y nieve.
- Nivel del embalse con escalas graduadas.

Variables de control interno en el cuerpo de la presa y su cimiento

a) En las secciones de control

En las 3 secciones transversales de control básico se miden:

- Presiones intersticiales en el cimientto con piezómetros de cuerda vibrante (todos los instalados en la presa son de este tipo).
- Presiones intersticiales en el contacto del núcleo con el cimientto, con una instalación de sensores que permiten medir el gradiente existente.
- Presiones en el contacto del núcleo-cimientto (zona de estribos) a tres cotas distintas.
- Presiones intersticiales en 3 cotas del núcleo impermeable.
- Presiones intersticiales en el manto drenante con el fin de conocer en todo momento si está trabajando adecuadamente y no existen obstrucciones.
- Presiones totales y efectivas en el contacto del núcleo con el cimientto con células de presión que están complementadas con piezómetros, lo que permite conocer la situación de cierre de dicho contacto.
- Presiones totales y efectivas en el núcleo de arcilla, en tres cotas de control con el fin de detectar posibles colgamientos del núcleo.
- Deslizamientos del núcleo en ambas laderas según el eje longitudinal de presa, por medio de dispositivos eléctricos detectores.
- Asientos diferenciales de espaldones y núcleo, en las 3 secciones y 3 cotas de control. Para ello se instalaron células hidráulicas de asientos, que tienen sus paneles de lectura en casetas situadas en las bermas del talud de aguas abajo. La solera de estas casetas dispone de 3 clavos de nivelación, lo que permite obtener asientos absolutos en los puntos de colocación de las células.

b) En la coronación de la presa

- Movimientos verticales en el eje principal de la coronación de la presa, por nivelación topográfica y con un itinerario que se prolonga aguas abajo por el terreno natural en ambas laderas.
- Movimientos horizontales por colimación topográfica en la alineación utilizada para controlar movimientos verticales.
- Deformaciones unitarias del núcleo: en dirección longitudinal de la presa en los estribos y en la dirección transversal en la zona del cauce, por medio de extensómetros de 5 m de base de medida.

c) En la unión de fases de construcción de la presa

- Deformaciones y asientos en 3 cotas de la zona de unión de las fases de construcción 1-2 y 2-3. Este control se realiza en el núcleo impermeable y dirección longitudinal de presa, con extensómetros eléctricos de 3 m de base de medida y células hidráulicas.
- Presiones intersticiales en 3 cotas de la unión, mediante piezómetros de cuerda vibrante.

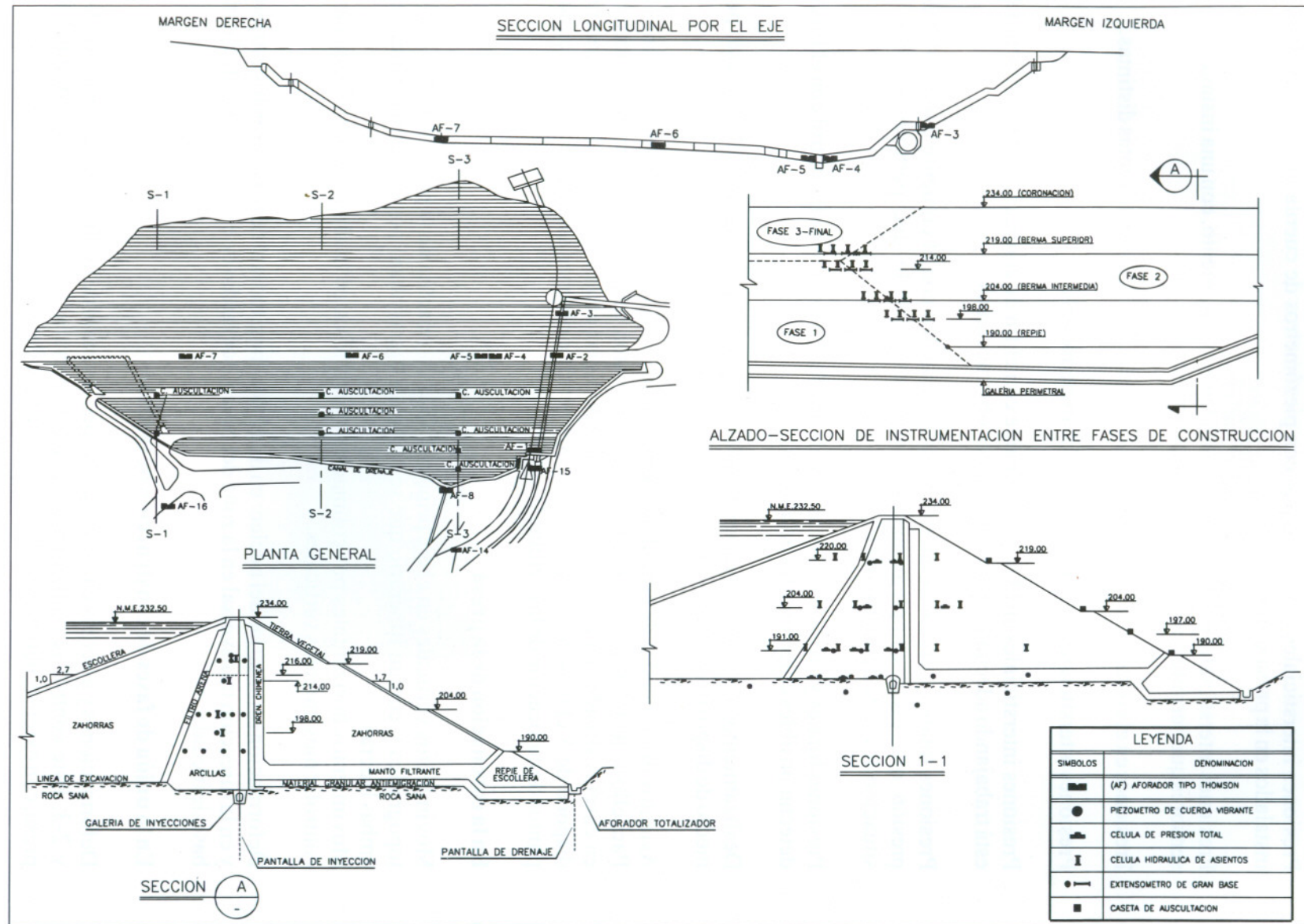


FIG. 14A - PRESA DE CASPE (MATERIALES SUELTOS)

2.4. PRESA RECRECIDA DE TORRE DEL ÁGUILA. MATERIALES SUELTOS.

En las figuras 15A y 16A se muestra el sistema de auscultación instalado en la presa recrecida de Torre del Águila (Sevilla).

La presa de Torre del Águila se encuentra ubicada en la provincia de Sevilla, sobre el río Salado, a 60 Kms. de la capital y a 8 Km. del Palmar de Troya.

Es una presa de materiales sueltos con diafragma o núcleo de hormigón que fue construida en dos fases; **la primera fase** se construyó entre los años 1.931 y 1.946 llegando hasta la cota 51; **la segunda** que consistió en una prolongación del núcleo de mampostería y un recrecimiento de escollera sobre el paramento original de aguas abajo, fue construida a finales de los años 50, y llevó la coronación de la presa hasta la cota 55.

La obra se proyectó originalmente con el fin principal de regular las aportaciones del río Salado de Morón que causaba extensas y catastróficas inundaciones en una zona de gran riqueza agrícola.

El cimientto corresponde a una formación de margas y arcillas abigarradas con intercalaciones de areniscas y calizas tubulares del Trias. En profundidad se presentan margas azules semejantes a las que forman el fondo impermeable del valle del Guadalquivir.

El cimientto es en general de gran impermeabilidad aunque de escasa consistencia.

Las características básicas son:

- | | |
|---|---|
| - Destino: | Regulación y Riego |
| - Capacidad: | 70 Hm ³ |
| - Altura sobre cimientos: | 42 m |
| - Altura sobre el lecho del río: | 29 m |
| - Cota de coronación: | 55 m |
| - Cota de coronación primera fase: | 50 m |
| - Cota umbral del aliviadero: | 51 m |
| - Taludes de aguas arriba: | 3/1 y 1/1 (en los 4 superiores) |
| - Taludes de aguas abajo: | 3/1, 2,25/1, 3/2 |
| - Revestimiento del talud de -
aguas arriba: | Losas de hormigón |
| - Recrecimiento: | Escollera |
| - Anchura en coronación: | 6 m |
| - Anchura en base: | 136 m |
| - Elementos drenantes: | |
| * | Pantalla drenante vertical situada aguas
abajo del núcleo (diafragma). |
| * | Dren horizontal situado en la solera del es-
paldón de aguas abajo. |

* Tres galerías de visita en el espaldón de aguas abajo (en el contacto de la presa original con el revestimiento).

- | | | |
|---|--|--|
| - | Capacidad máxima del desagüe: | 700 m ³ /seg |
| - | Capacidad máxima del desagüe de fondo: | 45 m ³ /seg |
| - | Torre de toma: | En margen izquierda con pasarela de acceso de 64 m |

Con los controles instalados en la presa se persigue conocer:

- Los datos meteorológicos de la zona de emplazamiento de la presa.
- Las presiones intersticiales en el espaldón de aguas arriba de la presa.
- Las presiones intersticiales en el espaldón de aguas abajo y controlar la eficacia del núcleo de mampostería.
- La eficacia del dren horizontal.
- Las presiones intersticiales en el cimiento (zona del pie de aguas abajo).
- Las presiones intersticiales en un punto del cimiento de la margen derecha, con el fin de controlar una zona de menor impermeabilidad.
- Las pequeñas filtraciones del cimiento de la margen derecha.
- Los movimientos X,Y,Z de la junta formada por la presa original y el recrecimiento, en la galería a cota más alta.
- Los movimientos X,Y,Z para control de juntas en galería.
- Los movimientos horizontales y verticales de la coronación de la presa y banqueta de aguas arriba (antigua coronación).

Para realizar estos controles, (ver figuras 15A y 16A), se han instalado los siguientes equipos:

- Una estación meteorológica automatizada, con pluviómetro, evaporímetro, termómetro, anemómetro, veleta, barómetro, piranómetro e higrómetro.
- 18 piezómetros de cuerda vibrante.
- 9 Medidores tridimensionales de tipo mecánico.
- 3 Medidores tridimensionales con transductor eléctrico
- 1 Aforador Thomson provisto de limnómetro eléctrico.

- 2 Redes de nivelación topográfica y de colimación topográfica (éstas dos últimas con los clavos instalados en la propia presa).

La lectura de los equipos de auscultación está automatizada con un sistema híbrido (centralizado y distribuido), que dispone de una **unidad central de control** y adquisición directa de datos en la oficina de presa y en Sevilla.

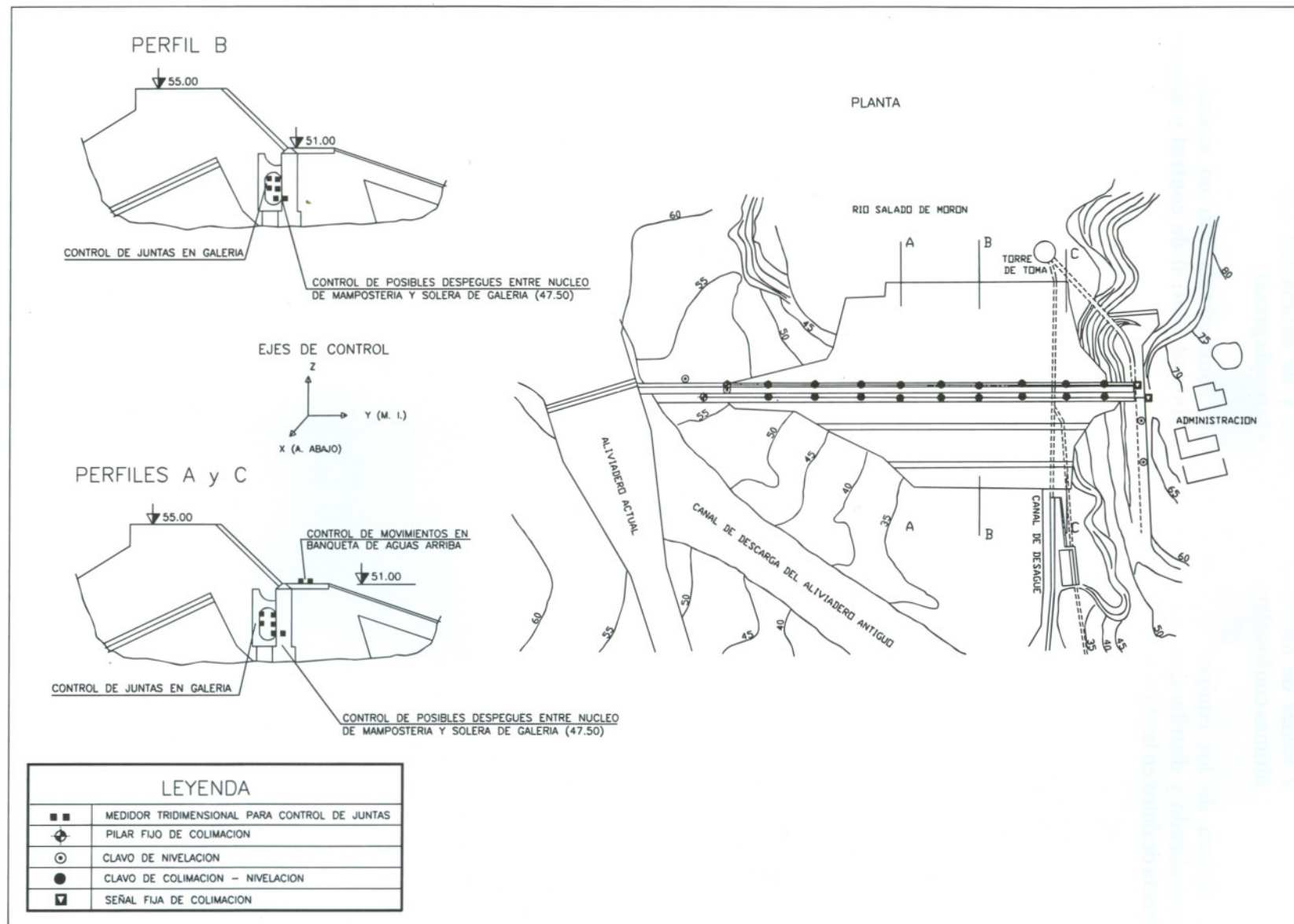
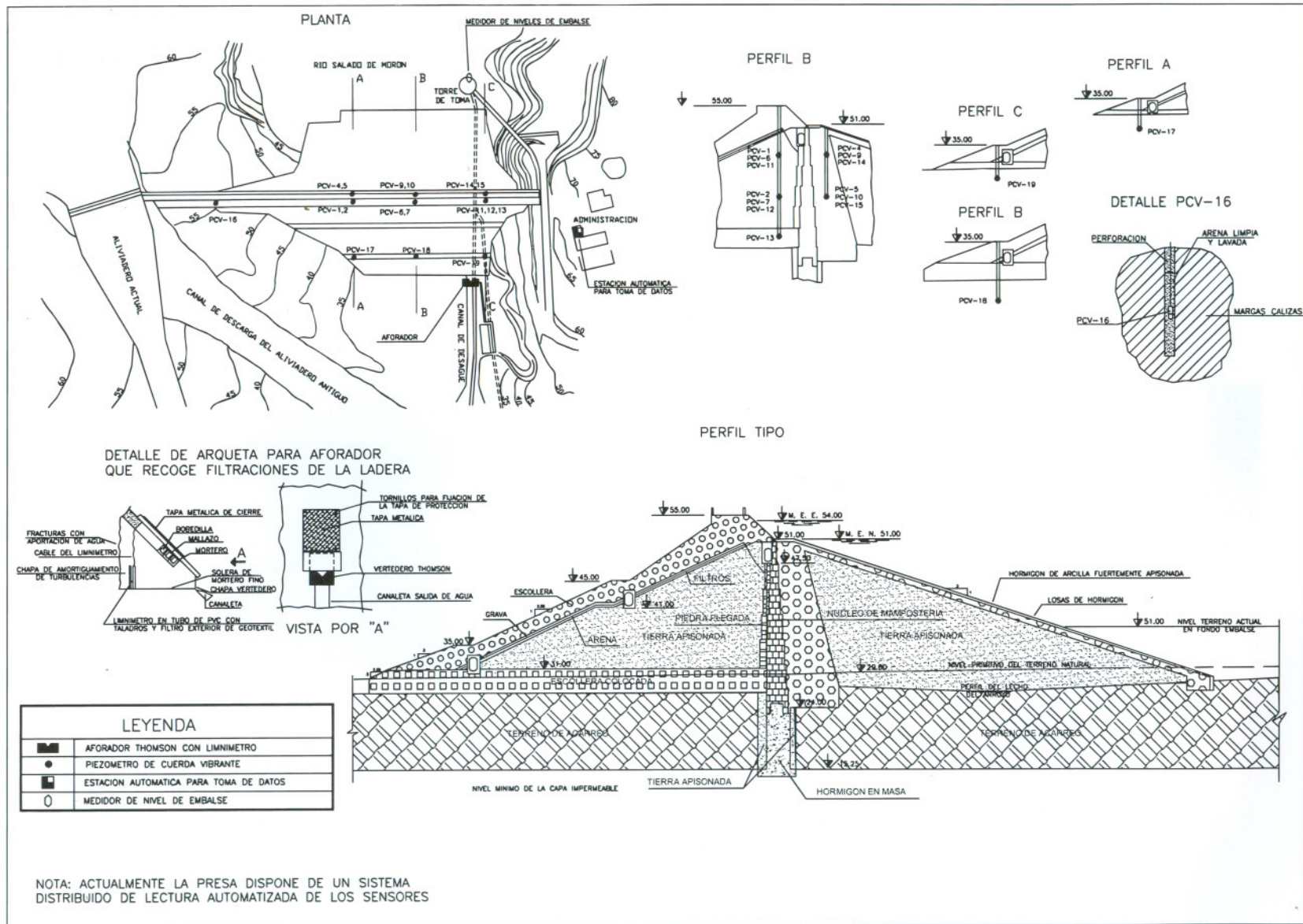


Fig. 16A - PRESA RECRECIDA DE TORRE DEL ÁGUILA (MATERIALES SUELTOS)



ANEJO N° 3
BIBLIOGRAFÍA SOBRE
AUSCULTACIÓN DE PRESAS

- BONALDI, P.; FANELLO, M.; GIUSEPETTI, G.; RICCIONI, R.**- Il controllo degli spotamenti delle dighe; stato attuale ed esame critico del ruolo delle proprietà delle fondazioni in una interpretazione razionale. ISMES. Bérgamo, Junio 1978.
- BUREAU OF RECLAMATION.**- Safety evaluation of existing dams. Department of Interior. USA 1980
- COMITE FRANCES DE GRANDES PRESAS.** Erosión interna: Typologie, detection et reparation. Barrages & Reservoirs nº 6. Especial Congres ICOLD. Florencia. Mayo 1997.
- COMITE DE GRANDES PRESAS DE ESTADOS UNIDOS.** General considerations applicable to performance monitoring of dams. Febrero 1986.
- COMITE NACIONAL JAPONES DE GRANDES PRESAS:** Monitoring on dams and foundations in Japan, June 1986
- COMITE NACIONAL SUIZO DE GRANDES PRESAS.** Mesures de deformation géodésiques et photogrammétriques por la surveillance des barrages.
- COMITE NACIONAL SUIZO DE GRANDES PRESAS.**- Barrages Suisses. Surveillance et entretien. Publicado con ocasión del XV Congreso Internacional de Grandes Presas. Lausanne 1985
- CRIS-ISMES.**- The impact of computer development on the arch concrete dams displacement control. (A 15 years Case- History). Bérgamo. Octubre 1978
- DIRECCION GENERAL DE OBRAS HIDRAULICAS.**- Evaluación de la seguridad de las presas existentes. 1983
- DIRECCION GENERAL DE OBRAS HIDRAULICAS.**- Pliego General de Obras Hidráulicas.
- Art. 39-60. Auscultación. Generalidades.
- Art. 41-70. Auscultación de la Presas. Generalidades.
- Art. 41-71. Auscultación de las Presas de Hormigón.
- Art. 41-72. Auscultación de las Presas de Materiales sueltos.
- Art. 41-73. Auscultación de las Presas de Hormigón compactado.
- GERAD WILLM, 'M:** Observación y auscultación de presas. Centro de Estudios Hidrográficos. Noviembre 1965
- GOFFI, L.**- Observations extensométriques sur des oeuvres en béton de grande épaisseur (Barrage de Place Moulin). ISMES. Bérgamo. Dep. 1974
- HOLANDABLAS, M^a PAZY BERMEJO ORTEGA, J.C.** GPS & GLONASS. Descripción y aplicaciones. Datum. Madrid. 1997.
- ICOLD:** Question 21.-- Observation of stresses and deformations in dams and in their foundations and abutments; and a comparison of these observations with computations and test on small scale models. VI Congreso Internacional de Grandes Presas. Nueva York 1958

- ICOLD:** Question 29.-- Results and interpretation of measurements made on large dams of all types, including earthquake observations. VIII Congreso Internacional de Grandes Presas. Edimburgo 1964.
- ICOLD:** Question 38.-- Supervision of dams and reservoirs in operation. X Congreso Internacional de Grandes Presas. Montreal 1970
- ICOLD:** Question 56.-- Dam and foundation monitoring. XV Congreso Internacional de Grandes Presas. Lausana 1985.
- ICOLD:** Question 60.-- Reservoirs and the environment. Experience in management and monitoring. XVI Congreso Internacional de Grandes Presas. San Francisco 1988.
- ICOLD:** Question 68. Safety assessment and improvement of existing Dams. XVIII Congreso Internacional de Grandes Presas. Durban 1994.
- ICOLD:** Boletín nº 21.- Consideraciones Generales para la auscultación de presas de tierra y escollera.
- ICOLD:** Boletín nº 41.- La automatización en el control de seguridad de las presas.
- ICOLD:** Bulletin nº 60 - Dam monitoring - General consideration. (1988)
- ICOLD:** Bulletin nº 68 - Monitoring of dams and their foundations - State of the art. (1989)
- ICOLD:** Bulletin nº 87 - Improvement of existing dams monitoring. Recommendations and case histories. (1992)
- ICOLD:** Bulletin nº 104 - Monitoring of Tailing Dams - Review and recommendations. (1996).
- ICOLD:** Deterioration de barrages et reservoirs. Recueil de cas et analyse. Diciembre 1983.
- ICOLD:** Comité automated monitoring dams and their foundations. Guidelines for automated monitoring systems - 1996
- ICOLD:** Comité automated monitoring dams and their foundations. Trends in future automatic monitoring systems. Sección 11. Mayo 1997
- LAGINHA: SERAFIN J. Y FERREIRA DA SILVEIRA A.:** Conferencias sobre auscultación y vigilancia de presas. Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid. Septiembre de 1963
- LOPEZ ARROYO, A.; PEREZ SAIZ, A.-** Sismicidad inducida por embalses. Métodos de estudio, observación y vigilancia. Revista de Obras Públicas. Septiembre y Octubre de 1975.
- MOPU.-** Auscultación hidráulica de presas. Madrid 1973.
- PEANO, A.; FANELLI,; RICCIONI, R.; SARDELLA, L.-** Self adaptive convergence at the crack tip of a dam buttress. ISMES. Bérghamo. Junio 1978.
- PEREZ SAIZ, ANGEL.-** Reflexiones sobre la instrumentación de presas. Instrumentación automática. Enfoque actual en España. R.O.P. Abril-Mayo 1982
- PISTOCCHI, A.-** Controllo degli spostamenti delle dighe (Nota al N. 17 di "Studi e ricerche"). ISMES. Bérghamo. Agosto 1979
- RILEM.-** Symposium sur l'observation des ouvrages. Lisboa 1995

R. WIDMAN: Evaluation of deformation measurements performed at concrete dams ICOLD. IX Congreso. Estambul 1967.

SILVEIRA Y PEDRO: Quantitative interpretation of results obtained in the observation of concrete dams. ICOLD. VIII Congreso. Edimburgo 1964.

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA: Instrumentación de obras. Varios autores. 1989

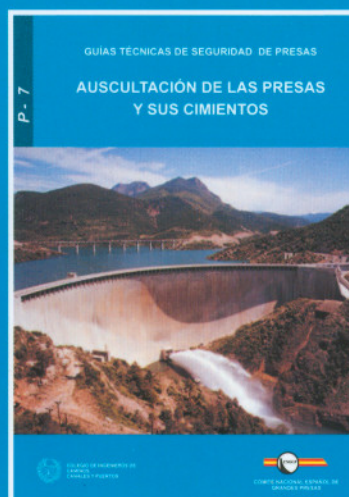
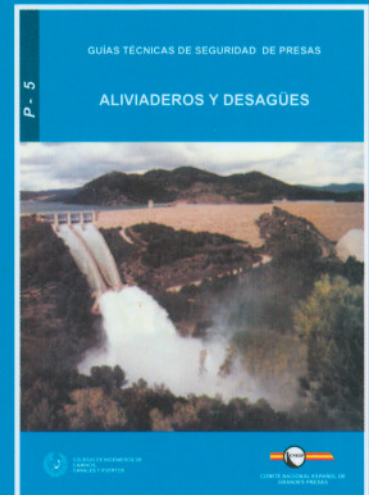
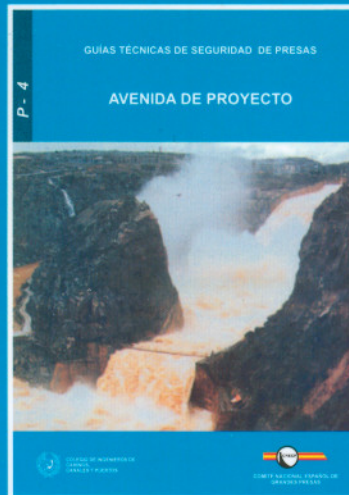
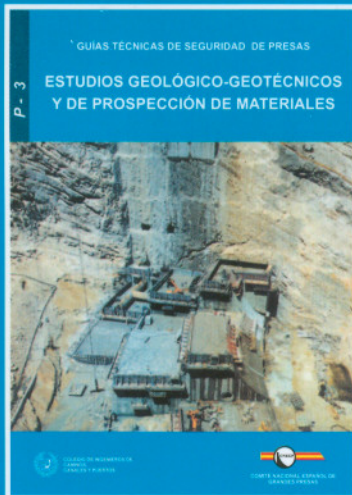
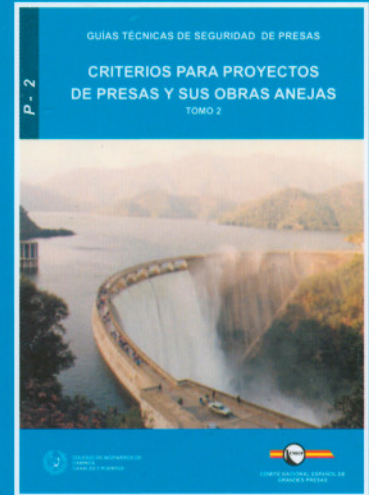
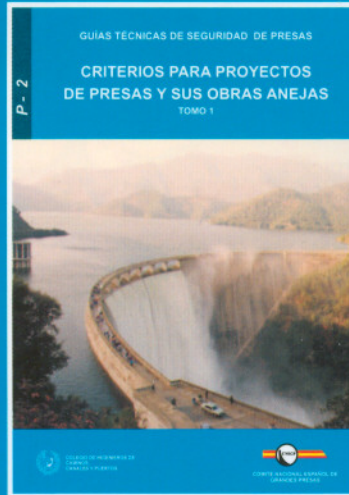
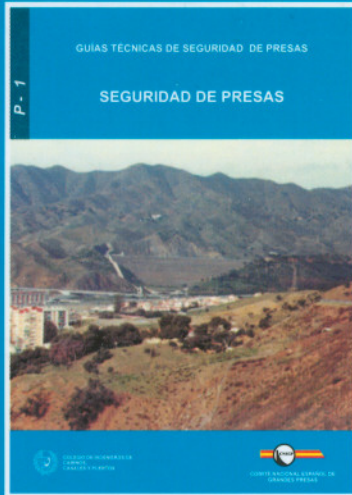
VALLARINO, EUGENIO.- Tratado General de Presas.

WASSER ENERGIE.- Special issue to the 17 th International Congress on large Dams-June 1991. Viena.

WASSER ENERGIE.- Safety concept for dams: Development of the Swiss concept since 1980. Rudolf Biederman (3/4-1997).

GUÍAS TÉCNICAS DE SEGURIDAD DE PRESAS

VOLÚMENES INCLUIDOS EN LA SERIE



COLEGIO DE INGENIEROS DE
CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE
GRANDES PRESAS