

La auscultación de las presas del Tajo inferior

Por N. NAVALON (*)

Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.

J. M.^a GAZTAÑAGA (*)

Ingeniero de Caminos, C. y P.

INTRODUCCION

Hidroeléctrica Española, S. A. ha desarrollado a lo largo de los últimos veinticinco años una serie de aprovechamientos en el tramo inferior del Tajo español —incluimos en esta denominación el tramo internacional, que dentro de los acuerdos entre España y Portugal, fue otorgado a España— cuyas características fundamentales han sido recogidas en los artículos reseñados en la bibliografía adjunta.

Acabado el aprovechamiento del tramo y iras un período amplio de explotación, ha parecido interesante exponer los criterios seguidos por Hidroeléctrica Española, S. A. en materia de Auscultación, así como dar a la luz pública los resultados fundamentales obtenidos. Cuanto sigue a continuación, pues, limitado y condensado por razones de espacio, es un exponente mínimo de la labor realizada en este campo, que, sin presunción alguna, podríamos calificar de ingente.

1. PLANTEAMIENTO DE LA AUSCULTACION DE LAS PRESAS DEL TAJO INFERIOR

1.1. Objetivos.

La auscultación de las presas construidas por Hidroeléctrica Española, S. A. en el tramo inferior del Tajo español se ha planteado de modo que se atienden tres exigencias que según su importancia decreciente, en opinión de los proyectistas, son:

- Conocer en todo momento, de forma rápida, el grado de seguridad de la estructura.
- Comprobar la exactitud con que las hipótesis del proyecto se cumplen en la obra construida.
- Investigar algunos aspectos del comportamiento de la estructura, con vistas a mejorar futuros proyectos.

La auscultación se contempla, pues, como una actividad más del ciclo ingenieril desarrollado en torno a la presa, perfectamente integrada con el proyecto y la construcción. El control y la interpretación de las observaciones competen de forma natural al mismo equipo que desarrolló el proyecto y supervisó la construcción.

El primero de los tres objetivos citados se lleva a cabo por medio de la observación directa y la lectura de ciertas magnitudes que permiten apreciar la situación de la estructura con respecto a su seguridad. Estas magnitudes suelen ser generalmente los desplazamientos y el caudal aportado por los drenes, que se recoge en arquetas de aforo situadas en puntos estratégicos de la presa, que permiten detectar rápidamente cualquier anomalía y establecer la zona de posible situación de la misma. Es criterio de Hidroeléctrica Española que uno de los puntos más importantes de todo el sistema de auscultación de una presa es la observación directa, a través de recorridos de galerías, inspección de paramentos, etc., que, como norma general, se hace diariamente, y en situaciones extraordinarias —por ejemplo durante una avenida— se mantiene una vigilancia personal prácticamente continua.

Ello se considera a tal punto importante que, en ciertos casos, se prescriben frecuencias de lecturas para los aparatos destinados a alcanzar los otros dos objetivos citados que sólo se justifican por su utilidad subsidiaria al garantizar que los vigilantes accederán a determinados puntos y proporcionar una motivación concreta a esos vigilantes. La monotonía del trabajo del vigilante de la presa debe ser combatida por la imaginación del equipo responsable de los programas de lectura, recurriendo incluso a la modificación de los mismos, introducción de programas estacionales, de avenidas, frecuentes visitas con recorridos diferentes de los habituales, etc.

El segundo objetivo citado se satisface generalmente con la instalación de aparatos de auscultación interna o externa que miden las acciones sobre la estructura y algunos parámetros del comportamiento de ésta que no se relacionan nece-

(*) Hidroeléctrica Española, S. A.

sariamente con un estado de deformación elástico. Así se observan los niveles de embalse y contraembalse —si lo hay—, la temperatura del agua y del ambiente y la subpresión en la cimentación como acciones exteriores —toda la zona del Tajo inferior es de baja sismicidad— y la temperatura del hormigón, la apertura y cierre de las juntas, las deformaciones reológicas del cimientado en ciertos casos, como verificación de que las hipótesis en que se basan los cálculos del proyecto se cumplen en la realidad. Por ejemplo, se vigila con gran atención que la operación de cierre de juntas de una presa bóveda, operación importante para su correcto funcionamiento, se ha realizado en el momento óptimo de temperatura y separación de las caras; o se controla que la eficacia del sistema de drenaje es la adecuada para que la subpresión no supere el porcentaje de la carga del embalse previsto en el proyecto.

El cumplimiento del tercer objetivo generalmente está relacionado con la medición de tensiones y deformaciones, que permiten reconstruir la distribución de aquéllas en una sección transversal tipo o la deformada elástica de tal sección para analizarlas en función de las sollicitaciones existentes y extraer conclusiones con respecto al perfeccionamiento de los métodos de cálculo o de construcción cara a futuras realizaciones.

Todas estas observaciones se transmiten a las oficinas centrales en Madrid donde se encuentran los equipos destinados a su interpretación y análisis. La transmisión de los datos se realiza por diferentes procedimientos, según la urgencia del caso. Hidroeléctrica Española dispone de una red propia de comunicaciones telefónicas por microonda y onda portadora, lo que permite transmitir diariamente las lecturas y observaciones destinadas a cubrir el primero de los tres objetivos citados, es decir, las lecturas de péndulos, colimaciones y aforos de filtraciones, así como cualquier incidencia que se salga de lo ordinario. El resto de la información se suele transmitir, bien por valija, bien por correo.

La información recibida en Madrid es interpretada y analizada inmediatamente, de modo que en caso de producirse una anomalía, se puede ordenar la confirmación de la lectura discordante o la observación extraordinaria y tomar las decisiones operativas oportunas con toda celeridad. Se subraya aquí, una vez más, la importancia concedida a la observación visual directa de la estructura que permite en la mayoría de los casos un diagnóstico precoz de la anomalía y su tratamiento casi profiláctico, siempre preferible —y más económico que el quirúrgico—. En esos momentos se limitan los programas de observación a aquellas magnitudes pertinentes a la seguridad, espaciándose mucho las observaciones de carácter cuasi-

académico, para evitar distracciones inoportunas, a la vez que la frecuencia de aquéllas se aumenta notablemente.

La inversión efectuada en equipos y sistemas de auscultación se justifica económicamente por el ahorro derivado de esta anticipación en el conocimiento de los fenómenos que se desarrollan en la estructura y la posibilidad de intervención en fases poco desarrolladas de los mismos, todo ello sin valorar los beneficios obtenidos desde el punto de vista de seguridad en la explotación y de obtención de informaciones científicas sobre "experimentos" a escala natural que difícilmente podrían repetirse.

1.2. Medios.

1.2.1. Aparatos instalados.

Los aparatos instalados en las presas citadas se pueden clasificar en dos grupos: aquellos destinados a la auscultación interna, es decir, los aparatos que quedan embebidos en la masa de hormigón, no pudiendo accederse a ellos una vez completa la estructura y los destinados a la auscultación externa, es decir, aquellos que permiten observar la estructura desde el exterior, en este caso se consideran exterior las galerías de reconocimiento y visita. Los aparatos de auscultación externa se emplean de dos tipos: ópticos, es decir, todos aquellos relacionados con las observaciones topográficas, como niveles, teodolitos, etc., y mecánicos, es decir, aquellos en los cuales la medición de una magnitud, normalmente una distancia, se lleva a cabo por medio de un mecanismo, como pueden ser elongómetros, flexímetros, piezómetros, etc. Entre los aparatos de auscultación interna, cuando se comenzó la construcción de los saltos del Tajo inferior, se había desarrollado la técnica de medida de la variación de resistencia eléctrica, por lo cual las primeras presas que se construyeron fueron equipadas con este tipo de aparatos; estos como se sabe determinan la variación de una dimensión longitudinal por analogía con la variación de la resistencia eléctrica de un circuito. Entre ellos se pueden citar: termómetros, extensómetros, tensímetros, medidores de juntas, etcétera. El principal inconveniente que presentan estos aparatos es el de su tarado previo, pues la longitud de cable hasta la estación de lectura afecta los resultados.

A partir de finales de los años 60, se introdujeron en el mercado los aparatos electroacústicos que son capaces de medir la variación de una dimensión longitudinal por la variación de la frecuencia de vibraciones de un hilo tenso. Las ventajas que presentan estos aparatos frente a los de tipo de resistencia eléctrica han hecho que se hayan adoptado rápidamente de una forma gene-

ral, por lo cual, a partir de la construcción de las presas de Azután y Alcántara, son los que se han instalado en las últimas obras de los saltos del Tajo inferior. De este tipo se han instalado termómetros —de agua, aire, hormigón, etc.—, extensómetros, tensímetros, medidores de juntas, piezómetros, etc.

En los planos que se incluyen se observa con detalle la distribución de aparatos en cada una de las presas, por lo cual no se describe aquí individualmente el número y tipo de aparatos existentes en cada una de ellas.

1.2.2. Personal.

La figura del vigilante de la presa es uno de los elementos clave alrededor del cual gira todo el sistema de observación de la estructura. El trabajo que el vigilante de la presa desarrolla es a la vez delicado y fatigoso. Es delicado porque incluye el manejo y lectura de aparatos de una cierta sofisticación tecnológica, requiriéndose un hábito en la apreciación de magnitudes con escalas de muy diversa índole y porque el carácter de sus comunicaciones a las Oficinas Centrales de Madrid debe ser preciso y riguroso, para evitar alarmas innecesarias o peligrosos excesos de confianza.

Es fatigoso porque a la monotonía propia de la repetición de las mismas operaciones se une el esfuerzo físico que significa el recorrido de una presa en toda su extensión, en un ambiente frecuentemente poco agradable, con un alto contenido de humedad en las galerías, violentas variaciones térmicas entre unos puntos y otros y grandes desniveles a salvar. Ha sido criterio de Hidroeléctrica Española, en lo posible, destinar a estos puestos a personas con un conocimiento previo de la estructura, preferentemente provinientes del Laboratorio de Obra, con lo que a la experiencia de la obra se suma la experiencia de instalación y lectura de los aparatos. El conocimiento de las vicisitudes de la construcción y de la instalación de la parafernalia se considera muy interesante a la hora de detectar, apreciar y describir cualquier posible anomalía —fisuras, humedades, etcétera—.

Cada presa es un ente individual diferente a las demás y el vigilante debe llevar a cabo una labor en cierto modo parecida a la del médico de cabecera, que por su conocimiento íntimo del paciente tiene una especial sensibilidad para detectar cualquier síntoma extraño.

En cada presa existen al menos dos vigilantes por razones tanto de seguridad como de continuidad en la explotación; en el caso de Alcántara, las características especiales, tanto en dimensiones como en importancia de la presa, aconsejan la

duplicidad de equipos que se repartan las tareas por lo cual existen cuatro vigilantes.

El tratamiento de los datos recibidos en Madrid se lleva a cabo por un equipo constituido por tres personas al mando de un técnico de grado medio, dirigidos por un ingeniero experto en el tema, bajo la supervisión directa del jefe del Departamento de Construcción y Presas de la División de Ingeniería Civil.

1.2.3. Automatización y centralización de lecturas.

Se hace notar aquí que según el criterio de Hidroeléctrica Española no se ha tomado ninguna medida dirigida a automatizar la toma de datos, aunque sí a centralizar las operaciones de lectura de los aparatos de auscultación interna en cada presa. Ello se debe a que, según se ha expuesto en otras ocasiones —por ejemplo, en el Primer Coloquio sobre la Instrucción de Presas, celebrado en Santander en junio de 1979— se considera preferible la obtención de pocas magnitudes, pero fáciles y rápidamente interpretables, a la de una gran cantidad de información que difícilmente puede ser analizada. Conscientemente se ha evitado la adopción de sistemas sofisticados de automatización que, por otra parte, serían especialmente sencillos en el caso de una empresa de producción de energía eléctrica, pues sus propios circuitos de transmisión de energía y de comunicación facilitarían las instalaciones de un sistema de esas características. La experiencia muestra que la rapidez en la transmisión y análisis de unos pocos datos esenciales proporciona un alto grado de seguridad y resulta más fácilmente manejable para un mayor número de personas, lo que aumenta la disponibilidad de cualquier medida correctora aún en los momentos en los que, por las circunstancias del ejercicio de su trabajo, las personas directamente implicadas en el tema no estén presentes.

1.3. Programas de observaciones.

Como ya se indicó en el punto 1.1 se confeccionan programas de lecturas periódicas en los cuales se refleja la distinta importancia concedida a cada tipo de observación; las destinadas a conocer el grado de seguridad de la estructura son más frecuentes que aquellas dirigidas a obtener un conocimiento de ciertas reacciones de la misma frente a la sollicitación a la que está sometida.

Los programas se modifican de acuerdo con las disponibilidades de personal —por ejemplo, en época de evacuaciones— o con situaciones excepcionales que puede atravesar la presa —por ejemplo, una fuerte subida del nivel de embalse, una avenida, vertidos, un desembalse total o parcial, etc.—. A título de ejemplo y para no fatigar al lector con una prolija descripción del programa

AUSCULTACION DE LAS PRESAS DEL TAJO INFERIOR

de lecturas de cada una de las presas, se incluye a continuación el programa de lectura de la presa de Azután:

PRESA DE AZUTAN

Programa de observaciones

LUNES: Péndulo. Clinómetros. Piezómetros. Aforo total del drenaje.

MARTES: Péndulo. Termómetros. Extensómetros. Tensímetros. Aforo de los drenes uno a uno.

MIÉRCOLES: Péndulo. Clinómetros. Piezómetros. Aforo total del drenaje.

JUEVES: Péndulo. Termómetros. Extensómetros. Tensímetros. Aforo total del drenaje.

VIERNES: Péndulo. Clinómetros. Piezómetros. Aforo total del drenaje.

SABADO: Péndulo. Aforo total del drenaje.

De la observación de este programa de lecturas se deduce inmediatamente el hecho de que en todo momento se conoce de forma inmediata la variación de magnitudes consideradas significativas —desplazamiento de varios puntos de la estructura, caudales aportados por la red de drenaje—. También de la observación del programa se puede hacer notar que la realización de las observaciones en él prescritas no llena, ni con mucho, una jornada de trabajo normal de los vigilantes de la presa; el tiempo teóricamente sobrante se dedica a tareas complementarias, que se pueden considerar como tales, en cuanto al cumplimiento de un programa prefijado, pero que son tan esenciales o más que la toma de los datos arriba descritos. Estas tareas comprenden desde la atención a las instalaciones de observación meteorológica —pluviómetros, termógrafos, hidrógrafos, barógrafos, termómetros de máxima y mínima, etc.—, a la realización de las colimaciones a lo largo del eje de la presa con frecuencias quincenales o mensuales, y, lo que es más importante todavía, al recorrido frecuente de las galerías, pozos, cimentación, etc., de la presa observando todos los fenómenos que en ella aparezcan, como pueden ser apertura de fisuras, humedades, variaciones de la filtración por las juntas, etc.

No hace falta insistir en que en opinión de Hidroeléctrica Española este es un aspecto fundamental de la labor del vigilante de la presa, en la cual no puede ser sustituido por ningún sistema de automatización y centralización de la toma de datos. Todas las medidas que conduzcan a mejorar el grado de seguridad en la explotación de un gran embalse deben ser consideradas con criterios no estrictamente de rentabilidad económica inmediata. Pero incluso bajo este prisma es opinión de Hidroeléctrica Española que el sistema y organi-

zación descritos están más que justificados económicamente.

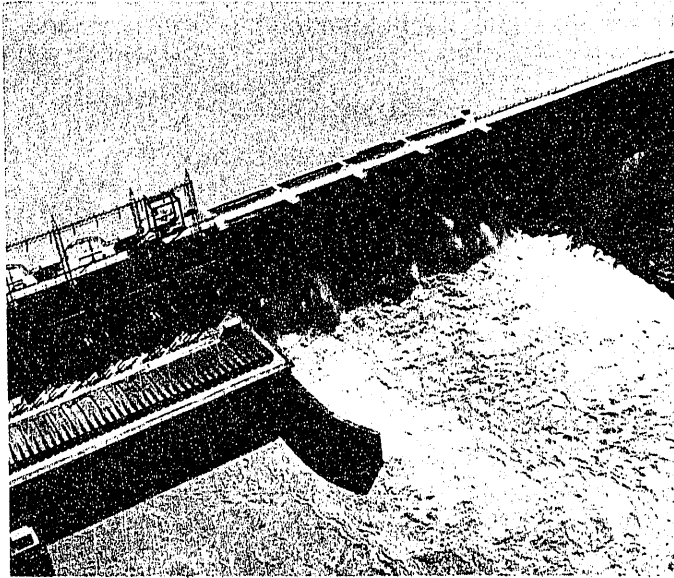
2. ALGUNOS RESULTADOS DE LA AUSCULTACION

Se incluyen a continuación algunos de los resultados obtenidos en la auscultación de las presas del Tajo inferior. De cada una de ellas se muestran unos esquemas de situaciones de los aparatos que permiten, mejor que cualquier otra descripción, obtener una idea de cómo los criterios expuestos en los puntos anteriores han sido llevados a la práctica. Se incluyen a continuación de estos planos, los gráficos que describen las variaciones, para cada una de las presas, de las magnitudes fundamentales, es decir, el nivel de embalse, la temperatura ambiente, el caudal total de filtración y los movimientos registrados en los péndulos de mayor altura. De las observaciones de los gráficos se deduce el comportamiento plenamente satisfactorio de las presas hasta la fecha, pudiéndose observar, por ejemplo, en el caso de Valdecañas, la primera, en orden cronológico, que se construyó, cómo la recurrencia de los mismos estados de sollicitación en cuanto al nivel de embalse y temperatura ambiente resulta en la repetición de los mismos movimientos de la estructura detectados por el péndulo y la colimación, aún en momentos separados por muchos años.

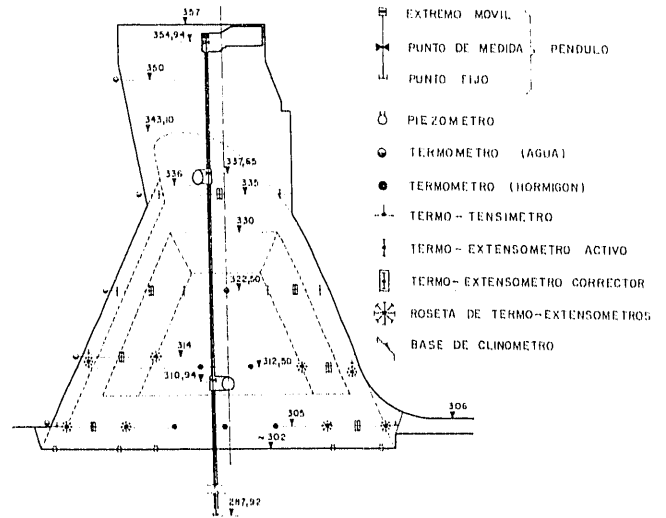
BIBLIOGRAFIA

1. M. CASTILLO y E. TORRES: "Valdecañas. Una presa de 98 metros hormigonada en doce meses". Revista de Obras Públicas, abril de 1964.
2. M. CASTILLO y F. DEL CAMPO: "La auscultación de la presa de Valdecañas". Revista de Obras Públicas, mayo de 1970.
3. M. CASTILLO y N. VAVALON: "Mesures prises pour Améliorer le Coefficient de Sécurité Concernant la Stabilité de l'Appui Rive Droite du Barrage de Torrejón sur le Tage". Q-32, R-33. IX Congreso de Grandes Presas. Estambul, 1967.
4. M. CASTILLO y N. NAVALON: "Salto de Alcántara". Revista de Obras Públicas, agosto de 1967.
5. M. CASTILLO y N. NAVALON: "Testing and Control of Concrete for the Alcantara Dam". Q-39, R-2. X Congreso de Grandes Presas. Montreal, 1970.
6. M. CASTILLO, J. ESCUDERO, N. NAVALON y J. M.^a VILLA: "Aprovechamiento hidroeléctrico del río Tajo, tramo Sever-Alcántara, Salto de Cedillo". Revista de Obras Públicas, junio de 1973.
7. N. NAVALON y J. ALCAZAR: "La construcción del aprovechamiento hidroeléctrico de Cedillo". Publicado en este número de diciembre de 1979.

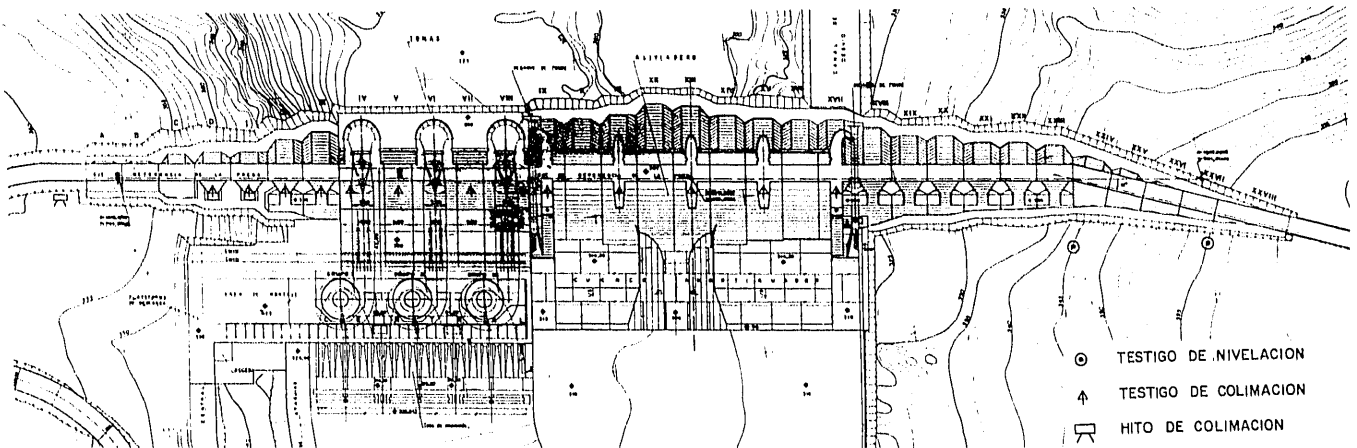
AUSCULTACION DE LAS PRESAS DEL TAJO INFERIOR



PRESA DE AZUTAN



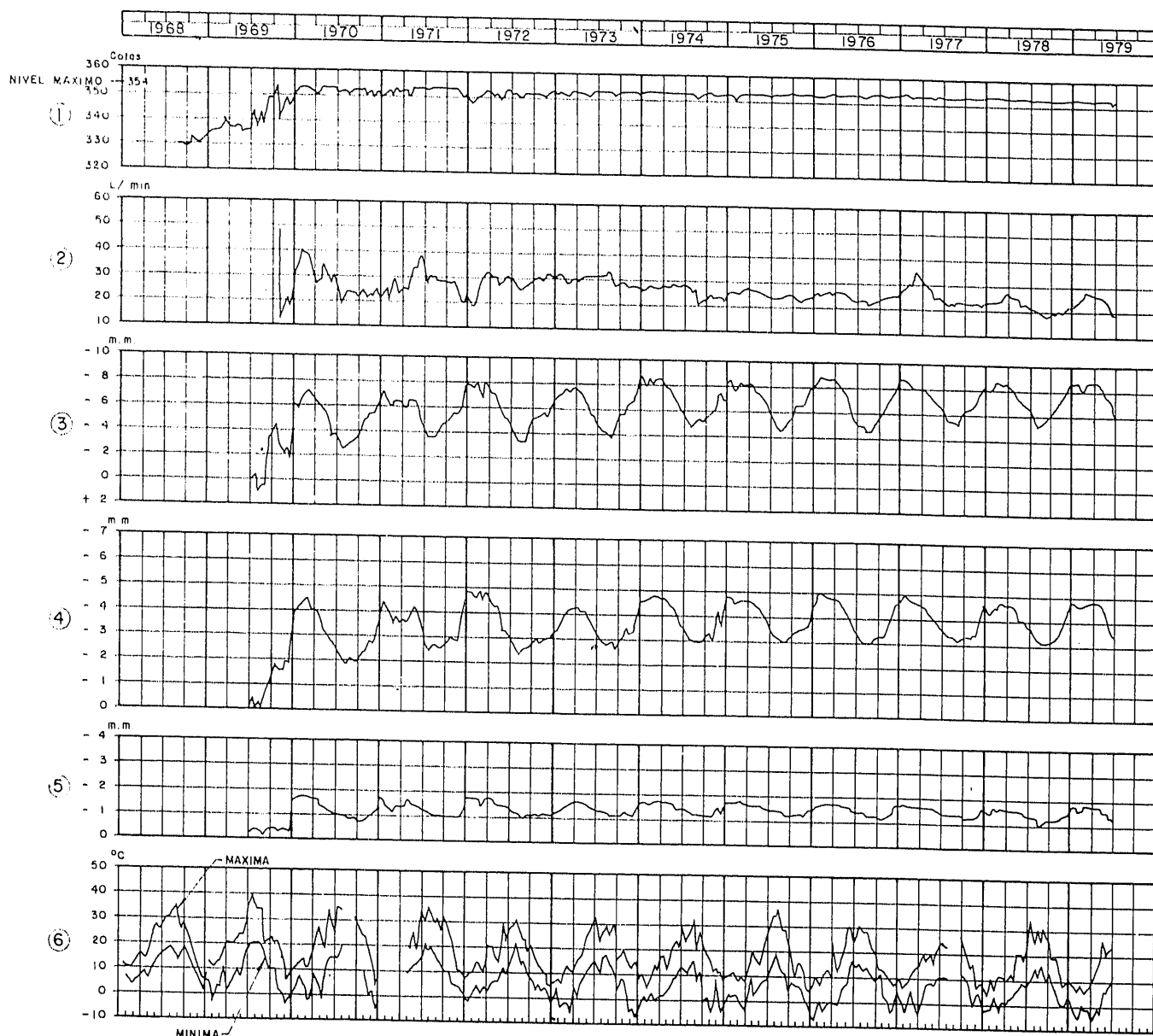
Sección bloque XIII



PLANTA

LEVELLING TARGET
 COLLIMATION TARGET
 COLLIMATION STATION

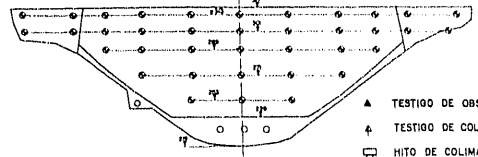
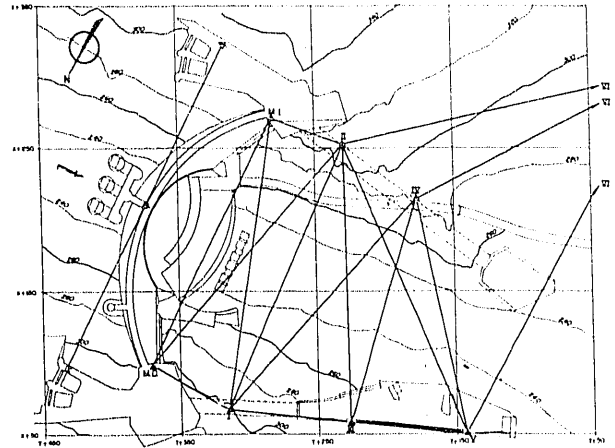
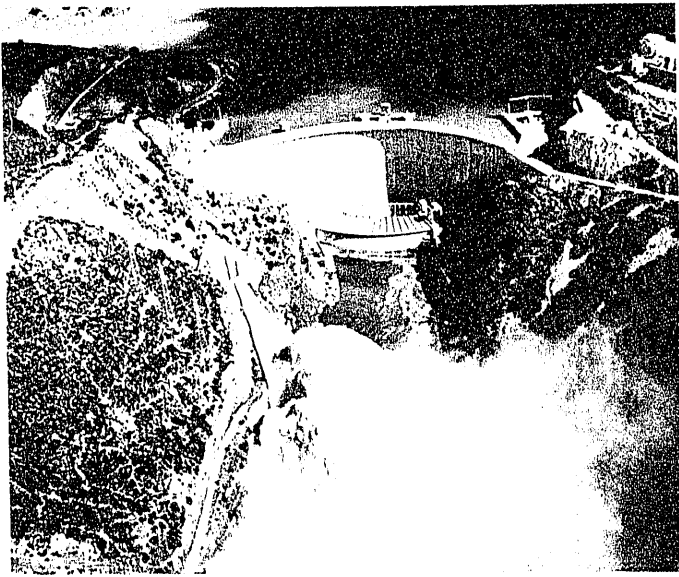
AUSCULTACION DE LAS PRESAS DEL TAJO INFERIOR



PRESA DE AZUTAN

- ① NIVEL DE EMBALSE
- ② FILTRACIONES
- DESPLAZAMIENTOS PENDULO
- ③ A COTA 354,94
- ④ A COTA 337,65
- ⑤ A COTA 310,94
- ⑥ TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE

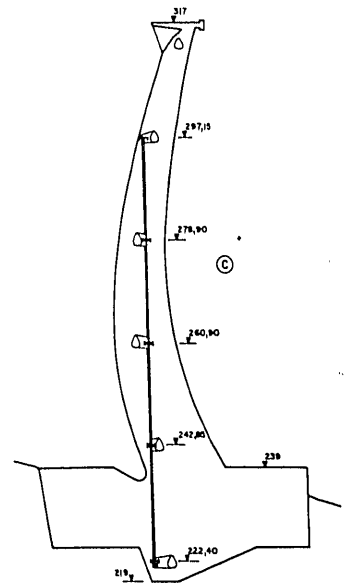
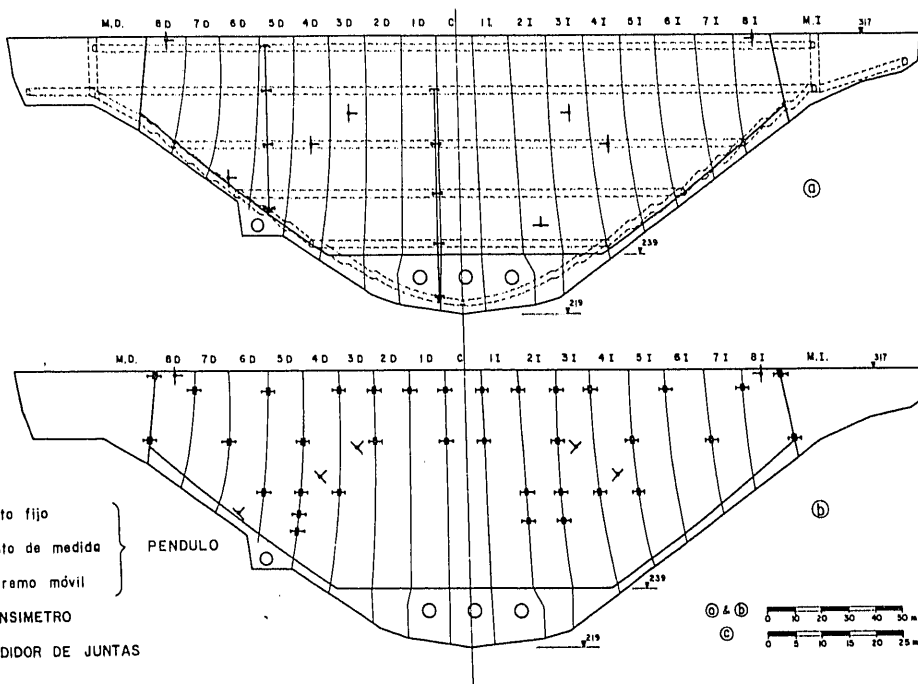
AUSCULTACION DE LAS PRESAS DEL TAJO INFERIOR



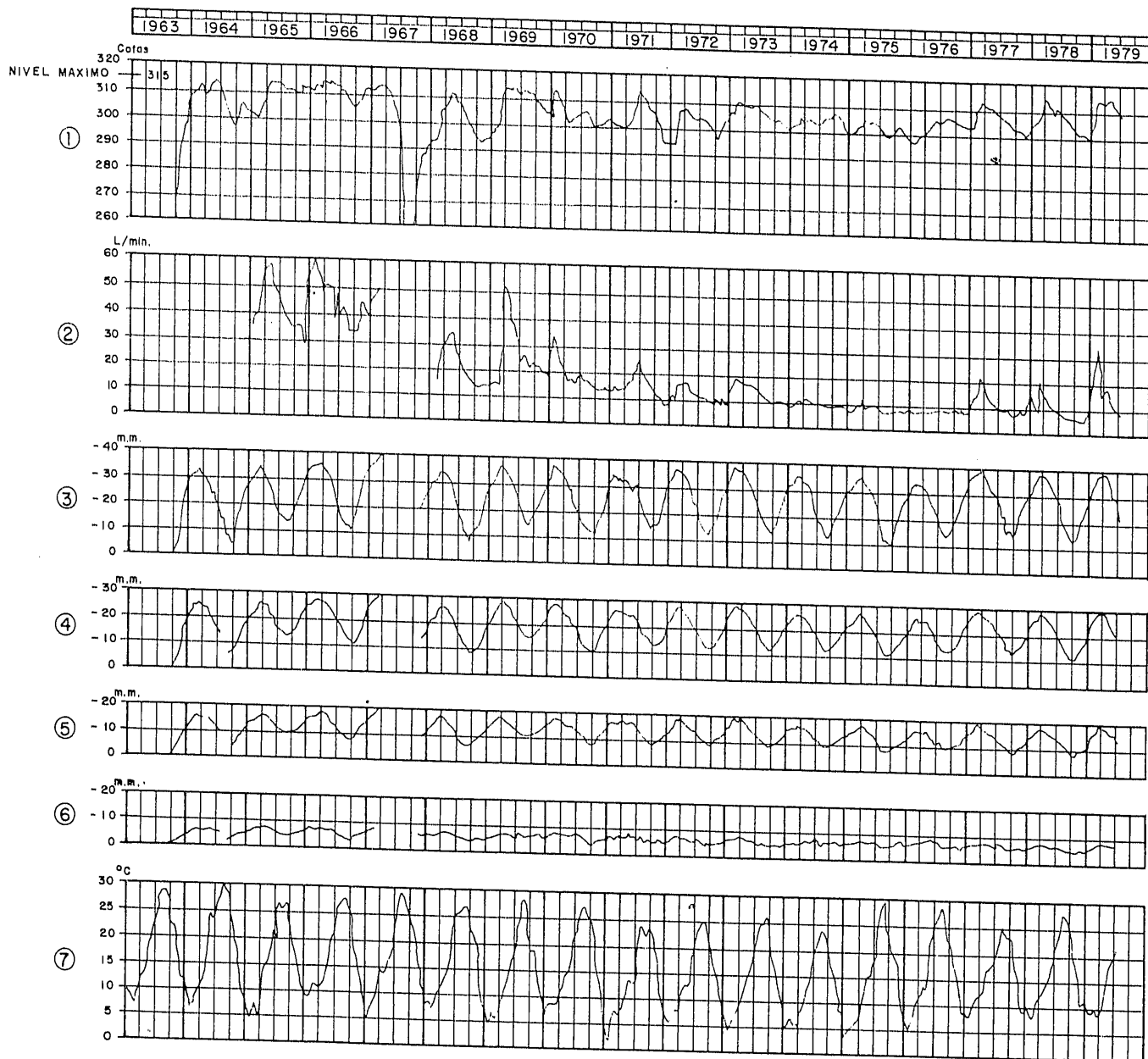
- ▲ TESTIGO DE OBSERVACION
- ⊥ TESTIGO DE COLIMACION FIJO
- ⊥ HITO DE COLIMACION
- ⊥ TESTIGO DE COLIMACION MOVIL
- TESTIGO EN LA PRESA



PRESA DE VALDECAÑAS



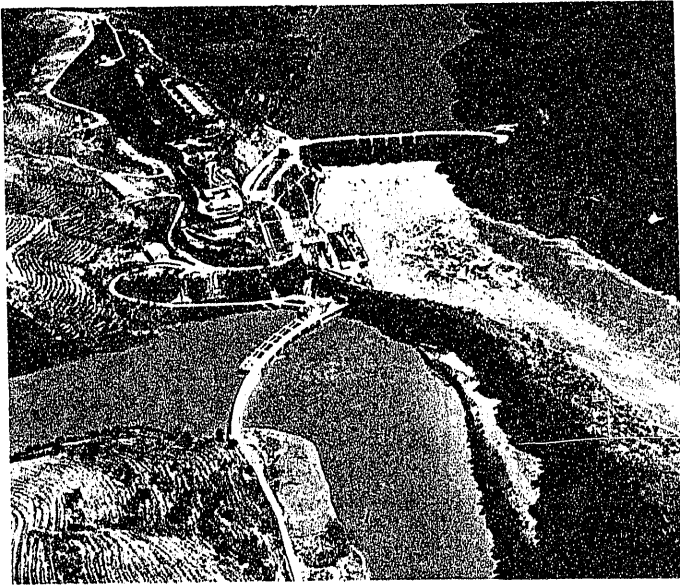
AUSCULTACION DE LAS PRESAS DEL TAJO INFERIOR



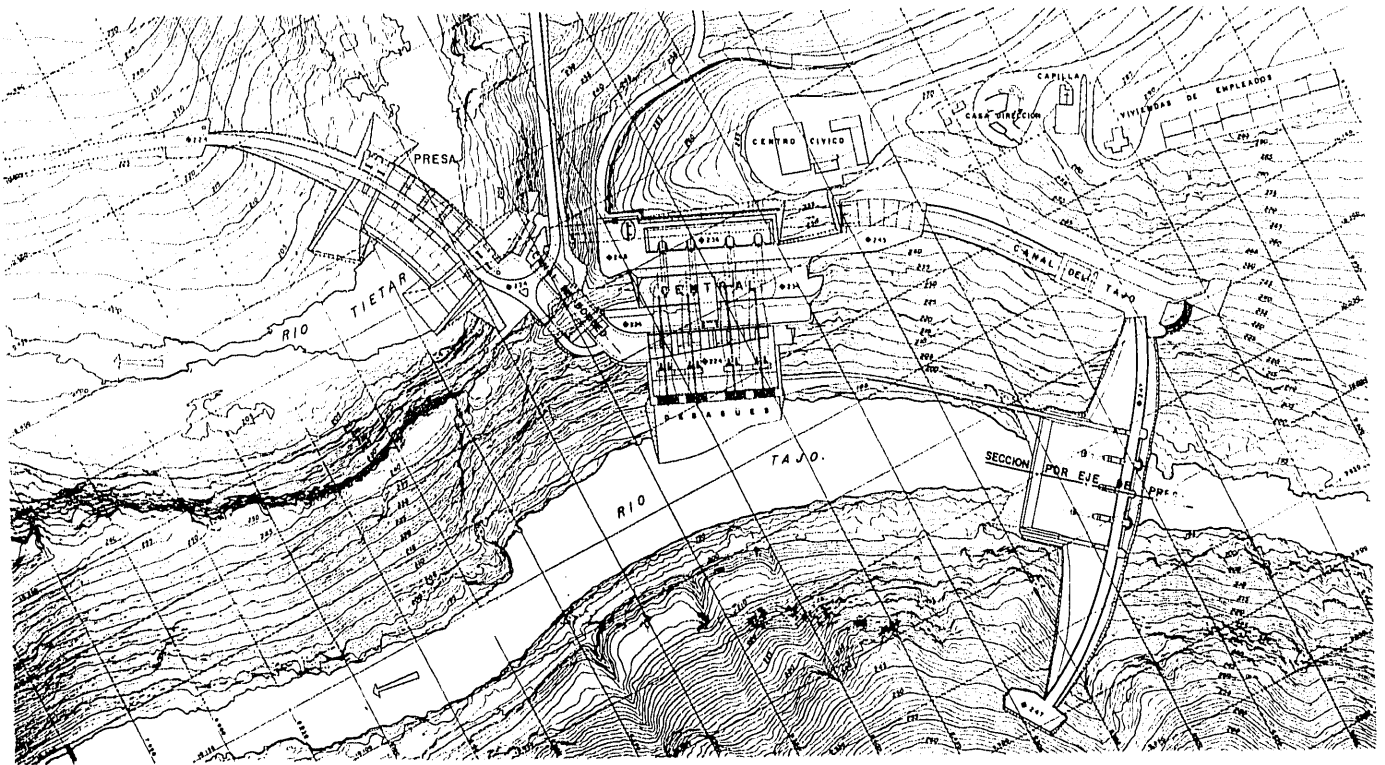
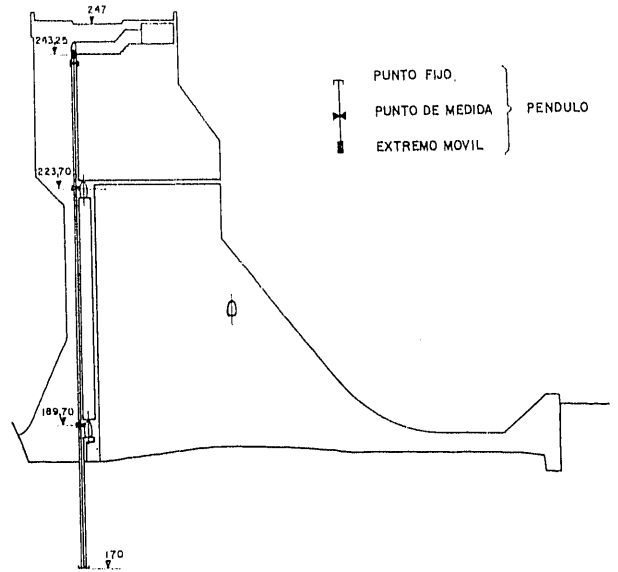
PRESA DE VALDECAÑAS

- ① NIVEL DE EMBALSE
- ② FILTRACIONES
- DESPLAZAMIENTOS PENDULO CENTRAL
- ③ A COTA 297, 15
- ④ A COTA 278, 90
- ⑤ A COTA 260, 90
- ⑥ A COTA 242, 85
- ⑦ TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE

AUSCULTACION DE LAS PRESAS DEL TAJO INFERIOR

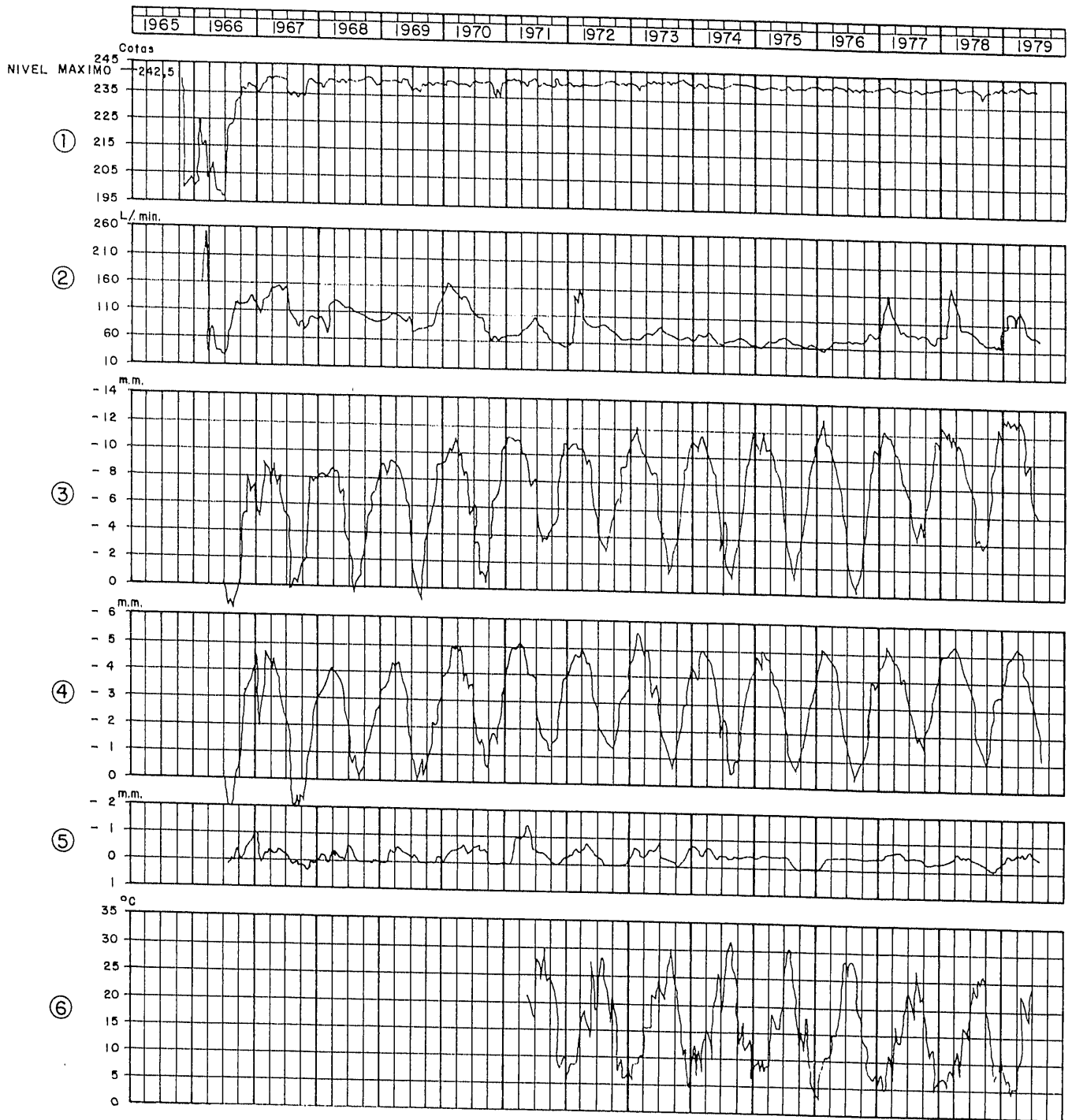


PRESA DE TORREJON



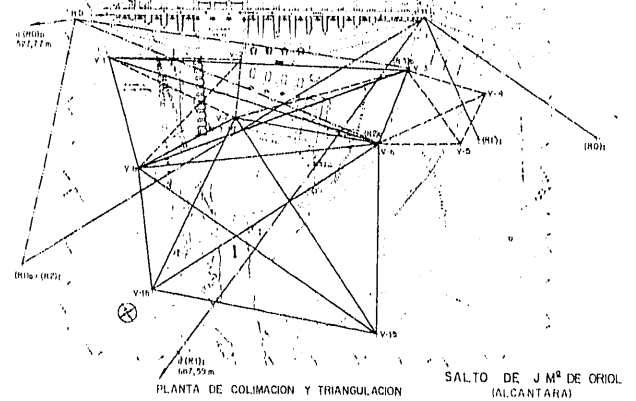
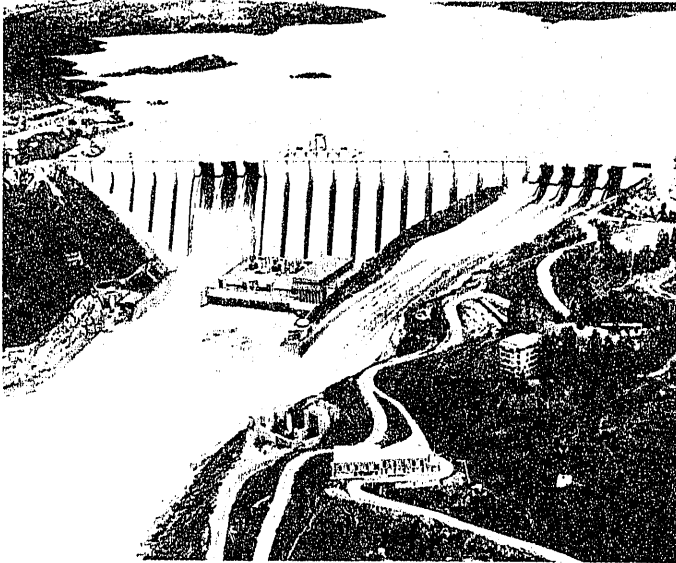
PLANTA

AUSCULTACION DE LAS PRESAS DEL TAJO INFERIOR

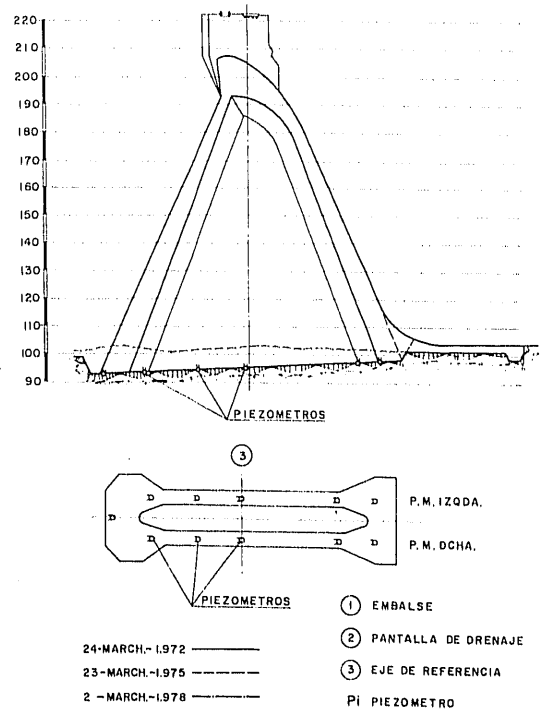
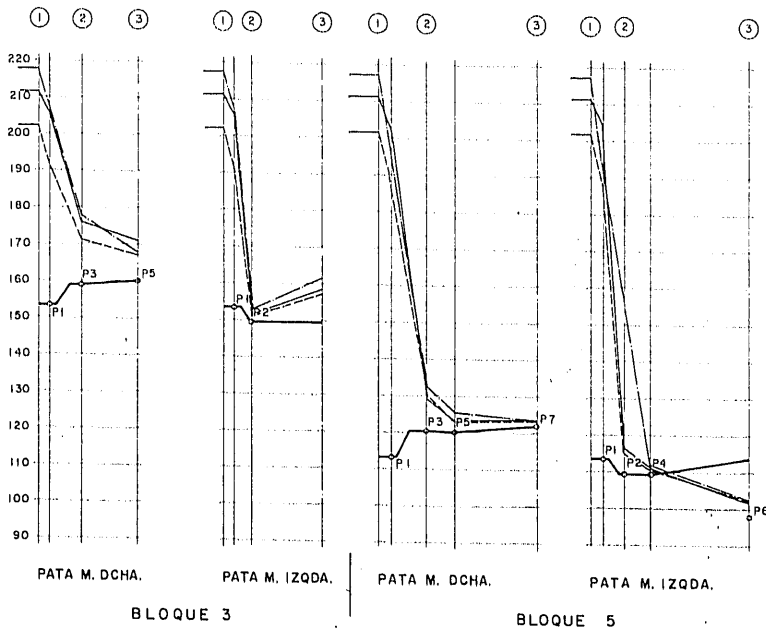


- PRESA DE TORREJON
- ① NIVEL DE EMBALSE
 - ② FILTRACIONES
 - DESPLAZAMIENTOS PENDULO BLOQUE XI
 - ③ A COTA 243,25
 - ④ A COTA 223,70
 - ⑤ A COTA 189,70
 - ⑥ TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE

AUSCULTACION DE LAS PRESAS DEL TAJO INFERIOR

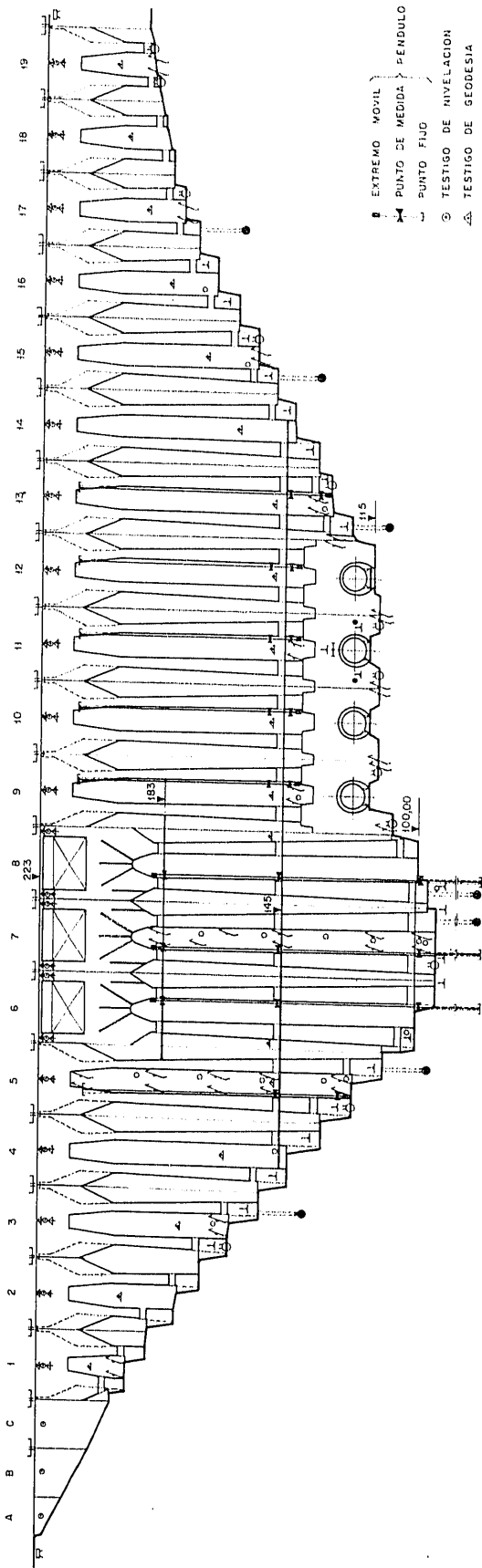


PRESA DE ALCANTARA

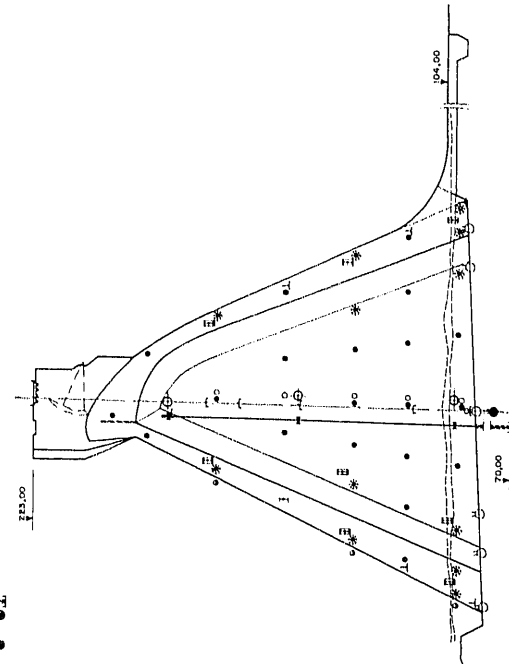


AUSCULTACION DE LAS PRESAS DEL TAJO INFERIOR

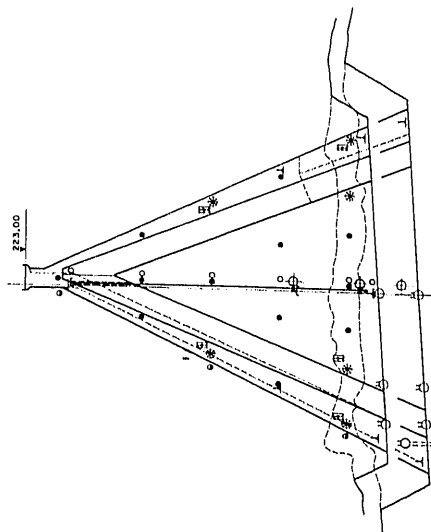
ALZADO - SECCION



- ▣ EXTREMO MOVIL
- ⊙ PUNTO DE MEDIDA PENDULO
- ⊙ PUNTO FINO
- ⊙ TESTIGO DE NIVELACION
- ⊙ TESTIGO DE GEODESIA
- ⊙ TESTIGO DE COLIMACION
- ⊙ TERMOMETRO (AGUA)
- ⊙ TERMOMETRO (AIRE)
- ⊙ TERMOMETRO (HORMIGON)
- ⊙ HITO DE COLIMACION
- ⊙ TENSIMETRO
- ⊙ EXTENSOMETRO ACTIVO
- ⊙ EXTENSOMETRO COPRECTOR
- ⊙ ROSETA DE TERMO-EXTENSOMETROS
- ⊙ BASE DE CLINOMETRO
- ⊙ MEDIDOR DE JUNTA
- ⊙ PIEZOMETRO EN CONTACTO HORMIGON-ROCA
- ⊙ PIEZOMETRO PROFUNDO



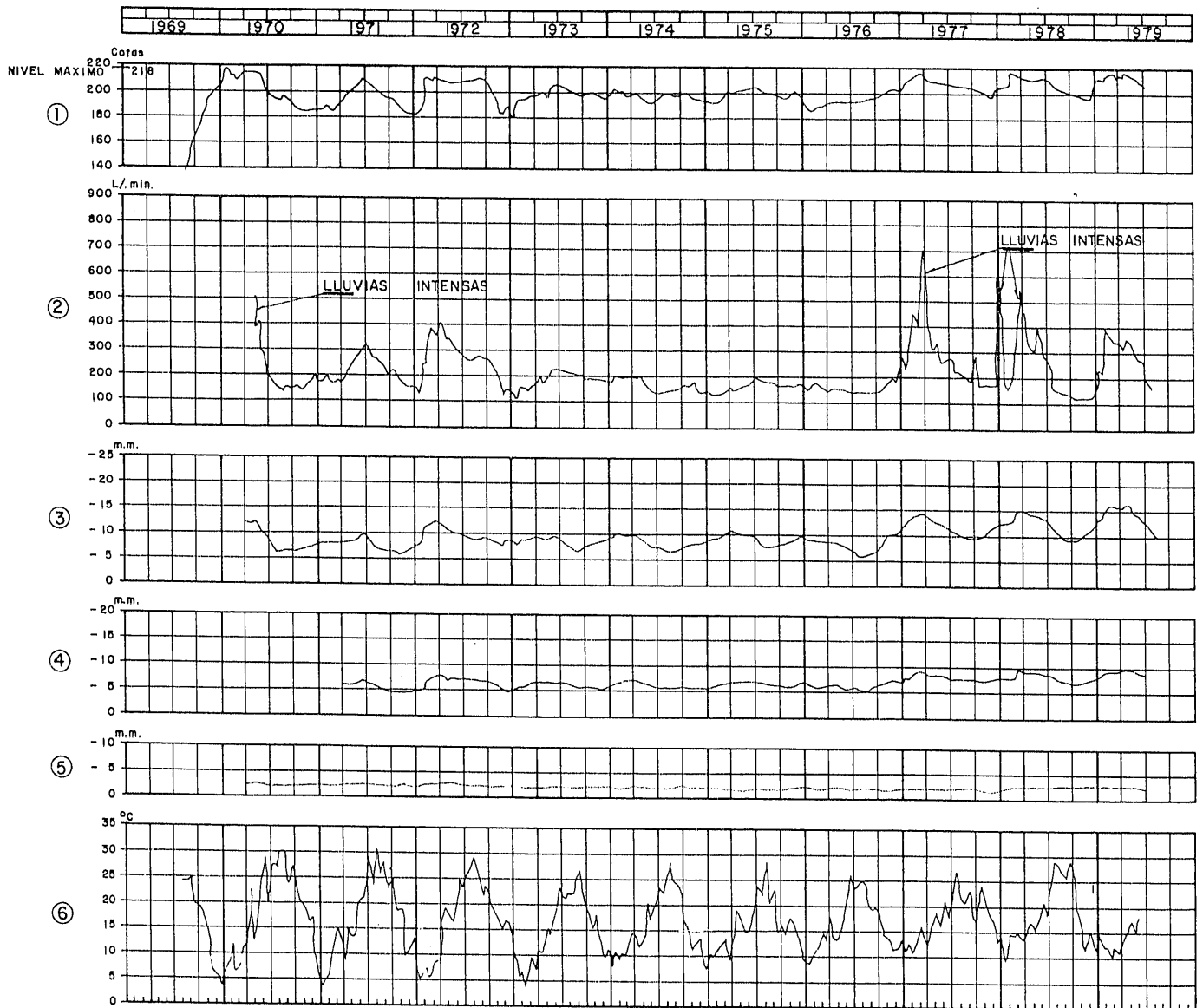
SECCION ELEMENTO 7



SECCION ELEMENTO 5

SALTO DE JOSE M^º DE ORIOI
(ALCANTARA)

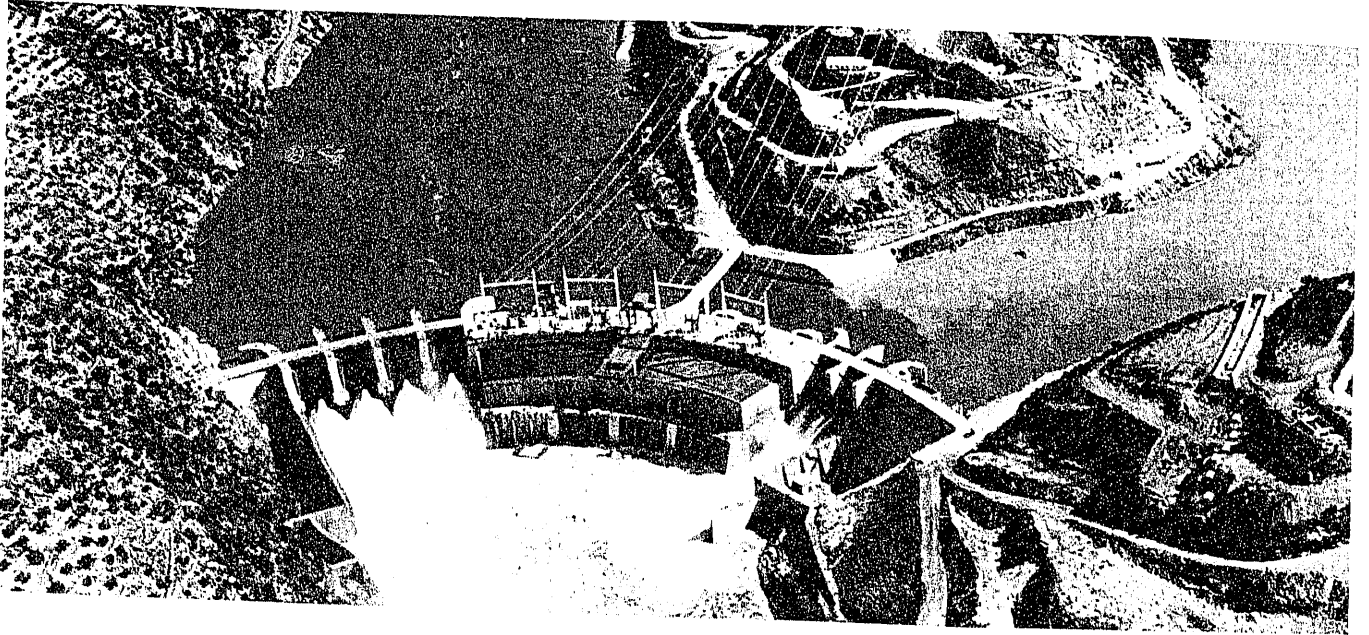
AUSCULTACION DE LAS PRESAS DEL TAJO INFERIOR



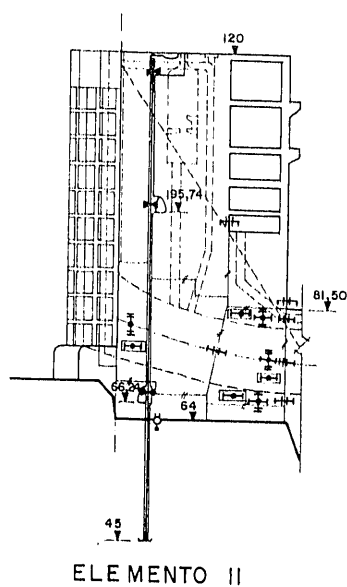
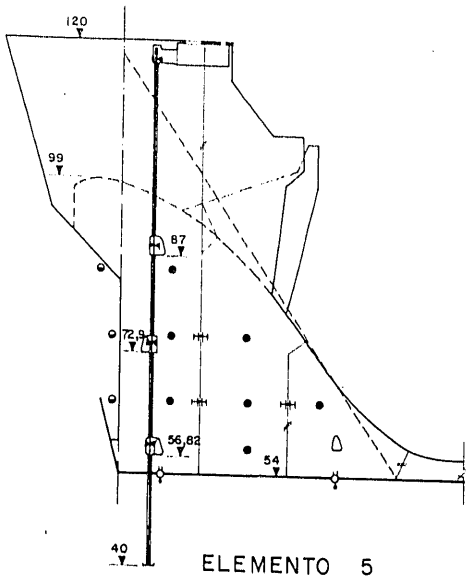
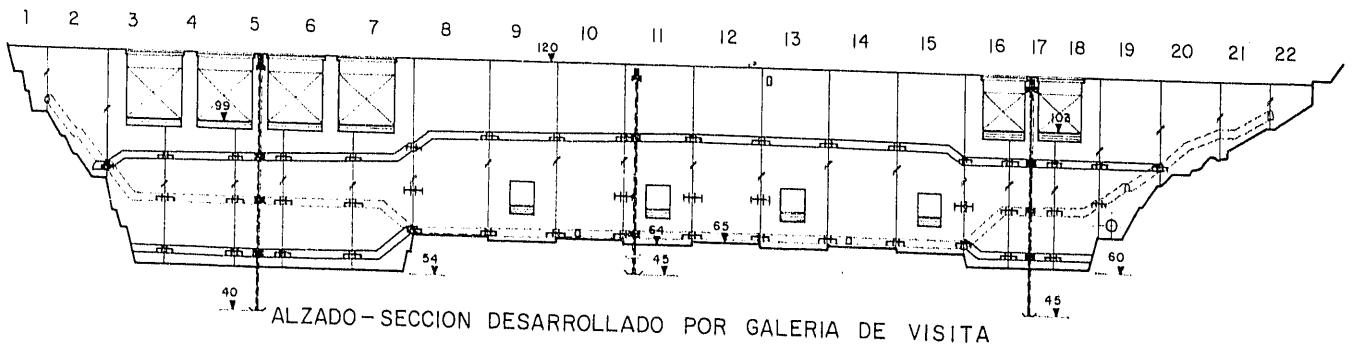
PRESA DE ALCANTARA

- ① NIVEL DE EMBALSE
- ② FILTRACIONES
- DESPLAZAMIENTOS PENDULO BLOQUE VII
- ③ A COTA 184,35
- ④ A COTA 146,35
- ⑤ A COTA 97,30
- ⑥ TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE

AUSCULTACION DE LAS PRESAS DEL TAJO INFERIOR

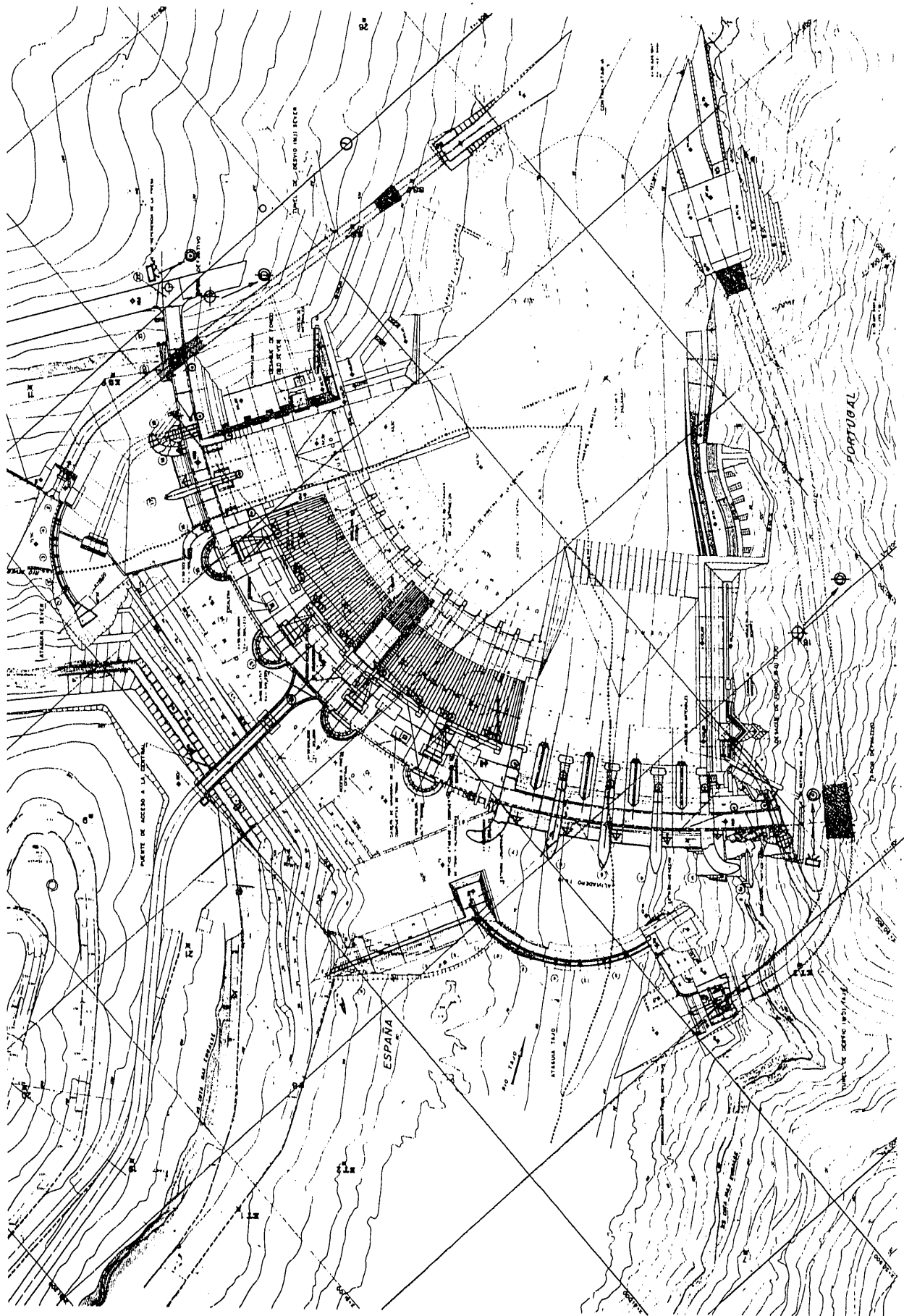


PRESA DE CEDILLO



- EXTREMO MOVIL
- BASE DE MEDIDA
- PUNTO FIJO
- ||— MEDIDOR DE JUNTAS ELECTRICO
- ||— BASE PARA MEDIDOR DE JUNTAS MECANICO
- ||— BASE DE CLINOMETRO
- PIEZOMETRO
- TERMOMETRO (HORMIGON)
- TERMOMETRO (AGUA)
- TERMOMETRO (AIRE)
- ||— ROSETA DE 4 TERMO-EXTENSOMETROS
- ||— ROSETA DE 5 TERMO-EXTENSOMETROS
- TERMO-EXTENSOMETRO CORRECTOR

AUSCULTACION DE LAS PRESAS DEL TAJO INFERIOR

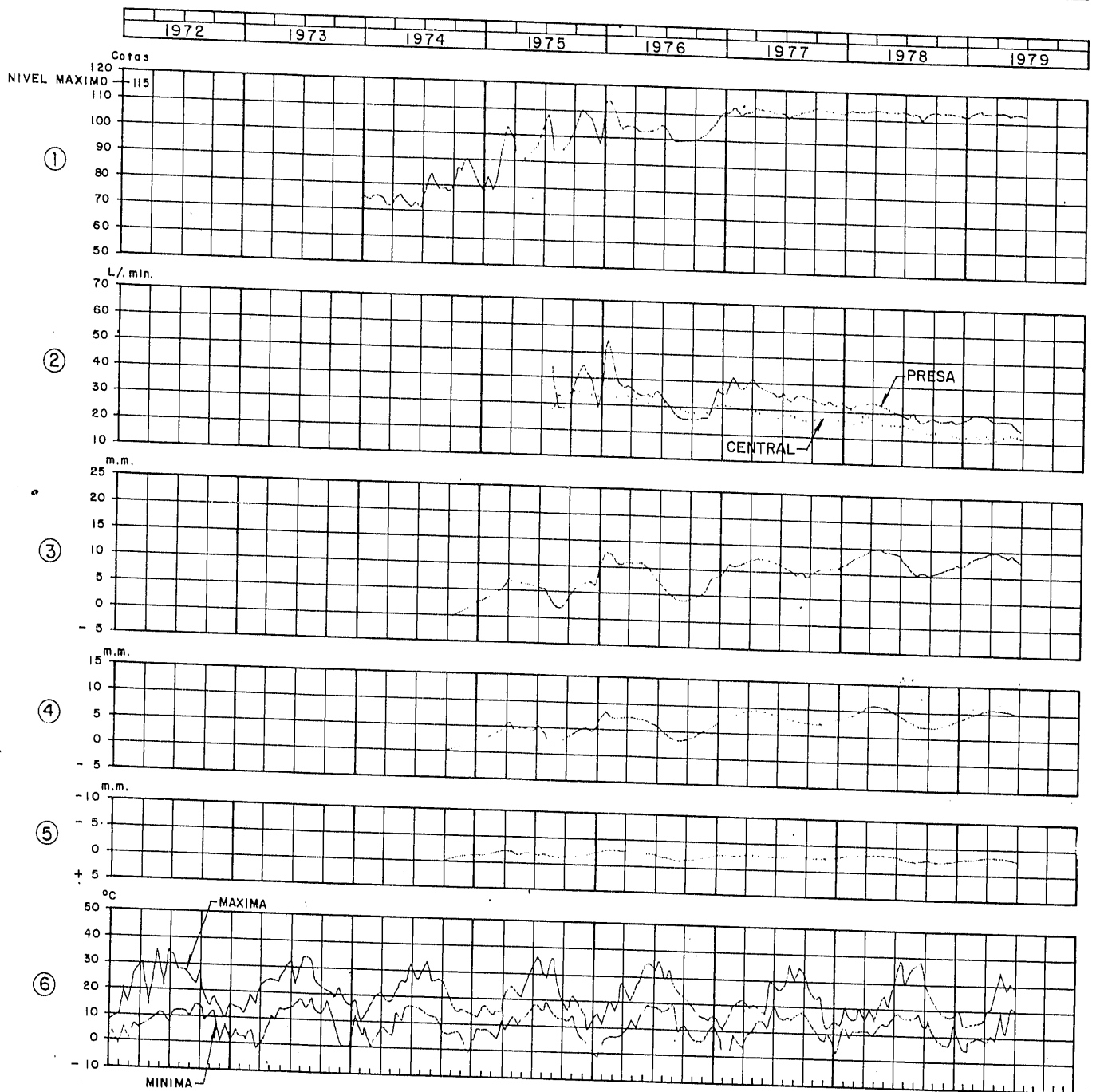


⊕ HITO DE NIVELACION
⊙ SEÑAL DE REFERENCIA
⊙ TESTIGO DE NIVELACION

⊕ HITO DE COLIMACION
⊙ SEÑAL DE REFERENCIA
⊙ TESTIGO DE COLIMACION

SALTO DE CEDILLO
PLANTA -

AUSCULTACION DE LAS PRESAS DEL TAJO INFERIOR



PRESA DE CEDILLO

- ① NIVEL DE EMBALSE
- ② FILTRACIONES
- DESPLAZAMIENTOS PENDULO BLOQUE XI
- ③ A COTA 118,00
- ④ A COTA 97,24
- ⑤ A COTA 67,24
- ⑥ TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE