

LA AUSCULTACION DE LA PRESA DE VALDECAÑAS

ALGUNOS RESULTADOS OBTENIDOS DESPUES DE SEIS AÑOS DE EXPLOTACION

Prof. Dr. Ing. C. C. P. M. CASTILLO

Dr. Ing. C. C. P. F. DEL CAMPO

1. INTRODUCCION

El problema relativo a la auscultación de una presa debe plantearse teniendo en cuenta dos ideas, que constituyen los objetivos finales de los métodos de observación e interpretación que se utilicen. Estas ideas son, en resumen, las siguientes:

- El control continuo e inmediato de las condiciones de seguridad en que se encuentra la estructura.
- La investigación para un mejor conocimiento del comportamiento real del complejo presa-terreno.

Ambos conceptos inciden de manera diferente sobre el planteamiento del sistema de auscultación, tanto en el aspecto de las instalaciones a efectuar como en el de la organización necesaria para la toma de datos y la interpretación.

La seguridad conduce a la adopción de sistemas de medida de interpretación rápida que controlen la distribución de aquellas acciones externas, cuya evolución tiene *a priori* un cierto grado de incertidumbre, los desplazamientos y rotaciones en puntos claves de la estructura y el terreno y las cargas sobre la cimentación, los cuales deben completarse con una observación visual periódica de toda la estructura. El tipo de presa de que se trate, así como los problemas específicos, sobre todo de cimentación, detectados durante la construcción, son condicionantes de gran importancia para la elección y distribución de los aparatos de medida. El final óptimo de un análisis de resultados sería el poder definir, a partir de unos niveles máximos admisibles para cada magnitud medida, un índice (o conjunto de índices), función de dichas magnitudes, que diera en cada momento las condiciones de seguridad en que se encuentra la estructura.

El concepto de investigación implica varios campos posibles de actuación que pueden ser fundamentalmente los siguientes:

- El conocimiento de las propiedades de los materiales.
- La instalación de aparatos especialmente destinados a poner de manifiesto aquellos fenómenos cuyo conocimiento contribuya a un planteamiento más ajustado a la realidad en futuros proyectos.

— La elaboración de todos los datos obtenidos buscando la separación de efectos y el establecimiento de todas las relaciones posibles causa-efecto, pasos que consideramos como previos para poder llegar a la comparación de resultados de proyecto con resultados reales.

— El estudio crítico de los métodos de medida empleados.

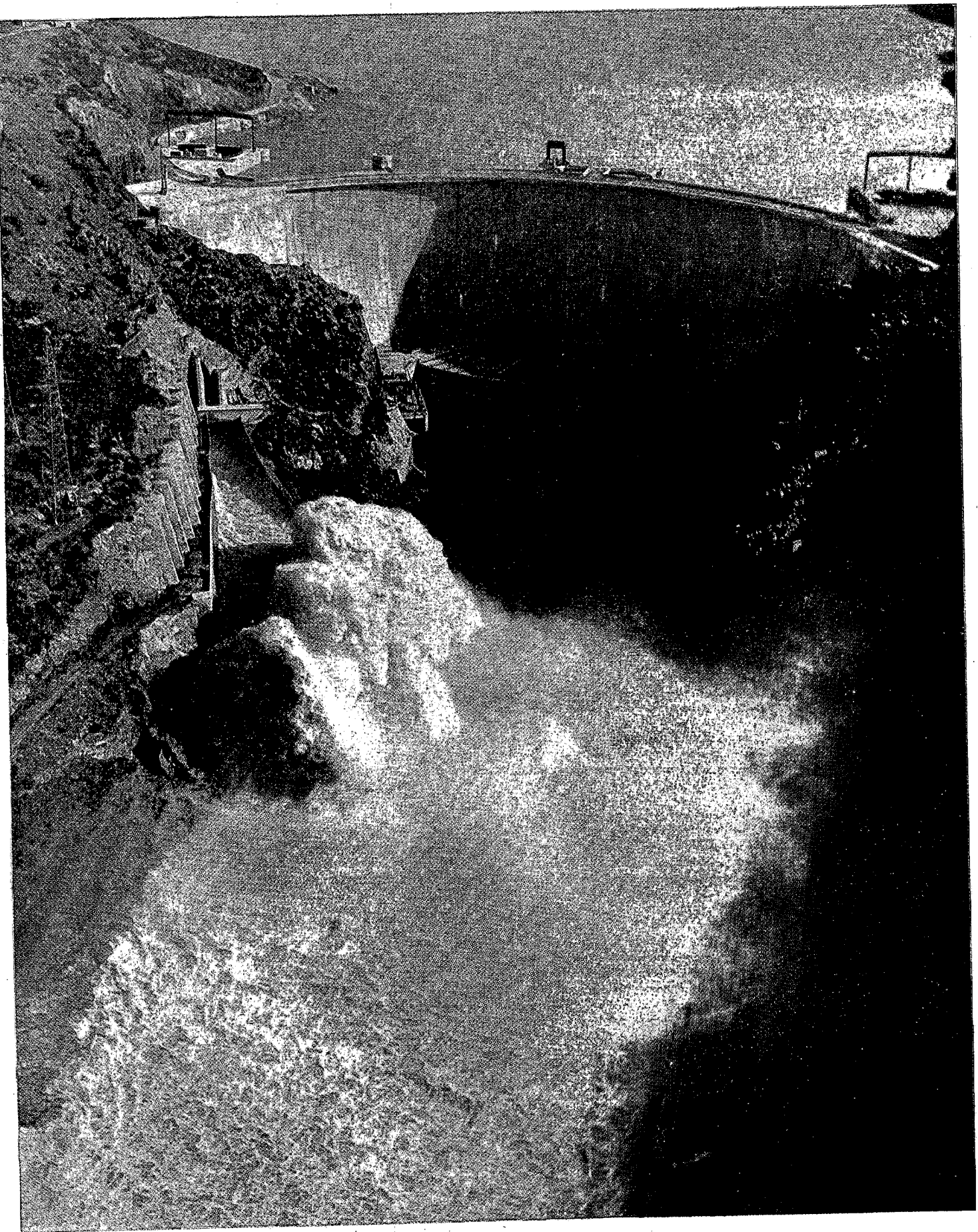
La realización de una labor eficaz en este sentido exige un planteamiento a largo plazo de la toma de datos, un tratamiento estadístico de la información recibida y una programación cuidadosa de los objetivos.

Una utilización continua de los medios de observación instalados en la presa de Valdecañas nos permite disponer de un gran volumen de datos, alguno de los cuales se remontan a 1962. Siendo el objetivo primero y fundamental el control de las condiciones de seguridad de la estructura, se impuso desde el principio la necesidad de una selección a la hora de efectuar una interpretación de resultados. La presentación de esos datos seleccionados y la investigación hecha a partir de ellos es el objetivo que pretendemos con el presente trabajo.

2. DESCRIPCION DE LA PRESA DE VALDECAÑAS Y DE SUS INSTALACIONES DE AUSCULTACION. ORGANIZACION

2.1. El salto de Valdecañas sobre el río Tajo aprovecha un desnivel de 75 m. y consta, fundamentalmente, de las siguientes estructuras:

- Una presa bóveda simétrica de doble curvatura, de 78 m. de altura y 230 m. de desarrollo de coronación, cimentada en el cauce del río sobre un zócalo de 20 m. de altura máxima, a través del cual pasan las tuberías de toma de la central, y apoyada sobre la parte superior de las laderas, mediante dos grandes estribos de gravedad. La bóveda se define mediante arcos circulares de tres centros con espesores variables desde 26 metros en la base hasta 4,8 m. de coronación.



Vista desde aguas abajo durante la riada de enero de 1970.

- Dos aliviaderos en túnel situados sobre cada una de las márgenes con capacidad total de 6 000 metros cúbicos por segundo.
- Un aliviadero de carga pasando bajo la cimentación de la presa por la margen derecha.
- Las tomas de agua para la central constituidas por tres torres de maniobra de compuertas con las correspondientes embocaduras abocinadas.
- Una central de pie de presa dotada de tres grupos turbina-bomba con una potencia instalada de 225 megawattios y un caudal de turbinación de 400 metros cúbicos por segundo.

Todas estas instalaciones se cimentan sobre unas formaciones de pizarras, atravesadas por numerosos filones de cuarzo, cuya estratificación tiene una orientación N-W y buzamiento cercano a los 90°. Los sistemas de diaclasas son fundamentalmente dos: uno coincidente con la estratificación, el otro, normal a ésta y sensiblemente vertical. La ladera margen derecha se encuentra más fracturada que la izquierda existiendo una disimetría mecánica que se ha tratado de atenuar mediante un tratamiento adecuado.

2.2. Dentro del conjunto anteriormente descrito se destaca, como elemento más importante, la presa bóveda, sobre la cual se extienden, principalmente, los elementos de control. Haremos a continuación una enumeración de los mismos clasificándolos según las magnitudes a medir.

En lo que a cargas extremas se refiere, se efectúan medidas de nivel de embalse, mediante limnógrafo y de las condiciones ambientales, mediante una caseta meteorológica. La medida de subpresiones puede hacerse sobre los drenes situados a lo largo de la galería perimetral. Para el control de temperaturas en el interior de la presa se instalaron 123 termómetros de resistencia eléctrica que fueron muy útiles para la determinación de la época de inyección de juntas; estos aparatos comenzaron a dar lecturas anormales a partir del primer año de explotación, por lo que se ha prescindido de ellos disponiéndose, no obstante, de datos suficientes gracias a la facultad de medir temperaturas que tienen los aparatos Carlson colocados en la bóveda. Otros termómetros del mismo tipo, destinados a medir temperaturas en el embalse, dieron el mismo resultado negativo.

La mayoría de las instalaciones se refieren a la medida de los efectos de las cargas y, según su finalidad, son los siguientes:

a) *Desplazamientos horizontales.*

Una red geodésica constituida por 8 vértices de triangulación y 37 señales colocadas sobre el paramento de aguas abajo en 5 niveles.

Un dispositivo de colimación con una mira móvil en la clave del arco de coronación, una mira fija en el estribo margen izquierda y un hito de observación en el estribo margen derecha.

Dos péndulos directos, uno en la ménsula central con 4 puntos de medida y otro lateral, en la margen derecha, con 3 puntos de medida.

b) *Desplazamientos verticales.*

Un dispositivo de nivelación para control de 10 puntos sobre la coronación de la presa.

c) *Movimientos de juntas y grietas.*

Una red de 35 medidores de juntas de resistencia eléctrica situados en la superficie media de la bóveda sobre diversas juntas de construcción.

Un medidor de juntas mecánico para aplicar sobre los paramentos en aquellas juntas y grietas que se considere interesante controlar.

d) *Deformaciones.*

Las deformaciones unitarias se miden en las cercanías de ambos paramentos, mediante 61 extensómetros de resistencia eléctrica, 34 de los cuales se agrupan formando 2 rosetas de 5 extensómetros y 6 rosetas de 4 extensómetros.

Un extensómetro corrector acompaña a cada grupo de extensómetros; el número total instalado es de 32 unidades.

e) *Tensiones.*

Se controlan mediante 15 tensímetros de resistencia eléctrica, de los cuales 8 van situados sobre el paramento de aguas arriba y los restantes sobre el de aguas abajo.

f) *Filtraciones.*

Se mide directamente el caudal de cada dren, mediante una vasija y un cronómetro obteniéndose el aforo total en una instalación consistente en 2 vertederos triangulares colocados en el punto más bajo de la galería perimetral.

2.3. La toma de datos y la inspección visual de la presa es realizada por un equipo de dos vigilantes que diariamente recorren las galerías de visita y tienen a su cargo las labores de conservación necesarias. Durante los periodos de construcción y puesta en carga se establecieron programas especiales de observación contando con un equipo más numeroso de vigilantes; a partir de la experiencia obtenida, y después de efectuar un estudio de los tiempos empleados en la realización de los distintos trabajos, se confeccionó un programa normal de explotación. La idea en que nos basamos fue la de obtener el mayor número posible de datos de toda la instalación dando, no obstante, prioridad a aquellos controles considerados como de seguridad. Una clasificación por frecuencias de los trabajos establecidos es la siguiente:

Registro continuo.

Nivel de embalse; temperatura ambiente.

Diariamente.

Aforo de drenes y aforo general; péndulos en su punto más bajo.

De 1 a 3 veces por semana.

Péndulos en todos sus puntos; tensímetros; medidores de juntas; termómetros.

Una vez cada dos semanas.

Extensómetros.

Una vez al mes.

Mapas de filtraciones y grietas en galerías y paramentos.

Dos veces al año.

Lecturas geodésicas; nivelación.

Los datos son enviados semanalmente a la oficina central, cuyo equipo de interpretación, que tiene a su cargo el control de 5 presas, efectúa inmediatamente los cálculos necesarios para la obtención de las magnitudes medidas haciendo a continuación una representación gráfica de las mismas. La inspección de estos gráficos es realizada por el ingeniero director del equipo que, a la vista de ellos, marca las directrices a seguir para el control de seguridad y establece los programas de investigación.

3. CONTROL DE SEGURIDAD DE LA PRESA

3.1. Como decíamos en un párrafo anterior, el control de seguridad exige una selección que se traduce en dar prioridad a la interpretación de determinadas medidas. Los medios de auscultación elegidos para este fin en Valdecañas son, principalmente, los que se detallan en las figuras 1 y 2.

En las figuras 3 y 5 se presentan los gráficos de control más característicos, a la vista de los cuales haremos unos comentarios sobre el comportamiento de la estructura.

3.2. El Control de presiones hidrostáticas se realiza fundamentalmente mediante la medición directa de dos magnitudes; el nivel de embalse y la subpresión en el contacto roca-hormigón.

En la evolución cronológica del nivel de embalse (figura 3, e) podemos distinguir 6 períodos:

- a) Primer llenado (septiembre-noviembre 1963).
- b) Mantenimiento entre cotas 296 y 315 (noviembre-mayo 1967).
- c) Primer vaciado (mayo-julio 1967).
- d) Embalse vacío (julio-septiembre 1967).
- e) Segundo llenado (septiembre 1967-mayo 1968).
- f) Mantenimiento entre cotas 294 y 315 (mayo-diciembre 1968).

3.3. De las características ambientales puede considerarse como principal la temperatura.

Mediante una instalación provisional se obtuvieron datos de temperatura del agua a diversas cotas durante el período septiembre 1963-marzo 1964. La brevedad del período y el poco tiempo transcurrido desde el primer llenado nos lleva a dar poco valor a esta información. Como consecuencia basaremos todo el control de temperaturas en las evoluciones de la media mensual de temperatura del aire y de las temperaturas medidas en el interior de la masa de hormigón.

En el gráfico de temperatura del aire (media mensual, figura 3, b) puede observarse lo siguiente:

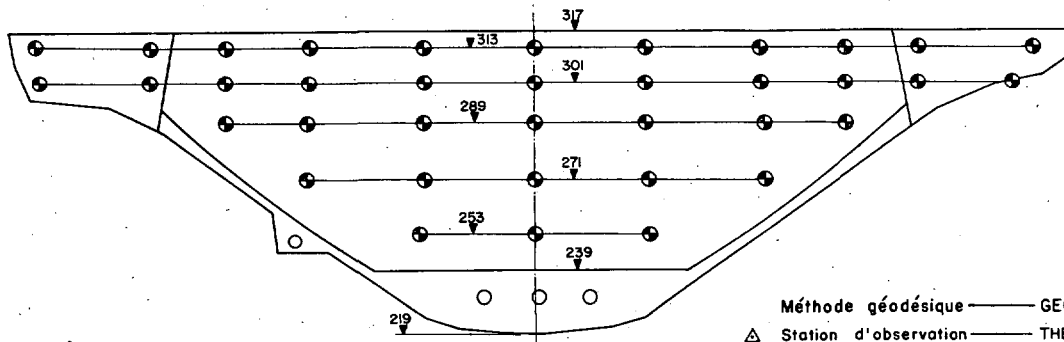
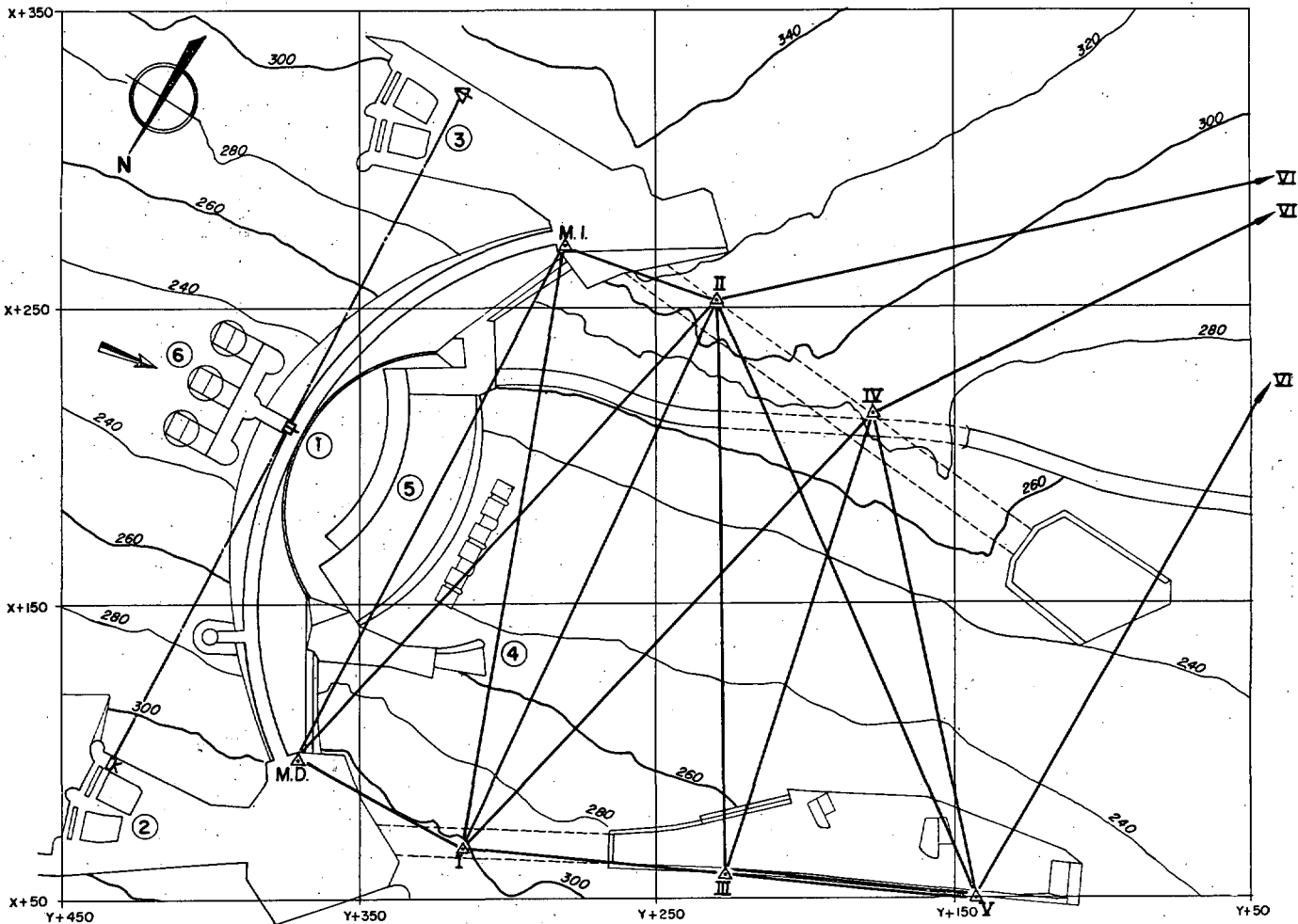
- La temperatura mínima se produce como media hacia el 11 de enero, con un valor de 6,5° C; la temperatura máxima se produce como media el 10 de agosto, con un valor de 30° C.
- El año más caluroso fue 1964 con temperatura máxima de 32,8° C; el año más frío fue 1965 con temperatura mínima de 4,7° C.

Las temperaturas en el interior de la bóveda se controlan mediante aparatos de resistencia eléctrica (tensímetros, extensómetros y medidores de juntas). Del examen de los datos suministrados por estos aparatos hemos deducido lo siguiente:

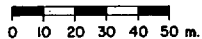
- En el paramento de aguas arriba, en contacto con el agua, la evolución de temperaturas es prácticamente la misma en todos sus puntos, con un mínimo de 9,5° C hacia mediados de marzo, y un máximo de 22° C a principios de octubre.
- En el paramento de aguas abajo la distribución de temperaturas es claramente diferente en ambos márgenes debido a la diferente insolación (la orientación de la presa puede verse en la figura 1). En la margen derecha, las temperaturas oscilan entre 12,5° C y 30,5° C; en la margen izquierda lo hacen entre 10° y 28° C.
- En el interior de la bóveda la amplitud de la onda térmica es variable de coronación a cimientos y de margen derecha a margen izquierda debido a la variación de espesor y al efecto de insolación.

3.4. La medida de desplazamientos se efectúa en Valdecañas por tres procedimientos: geodesia, colimación y péndulo.

Los tres tipos de medida son de gran interés y se complementan entre sí. No obstante, de todos ellos, es el péndulo el que nos permite vigilar día a día el comportamiento de la estructura, gracias a su facilidad de lectura e interpretación. En las figuras 3, c y 3, d se representan los desplazamientos radiales de los puntos de anclaje de ambos péndulos indicándose con unos círculos los resultados obtenidos por el procedimiento geodésico. Un aná-



- ① Barrage voûte — ARCH DAM
- ② & ③ Évacuateurs de crues — SPILLWAYS
- ④ Vidange de fond — OUTLET
- ⑤ Usine — POWER HOUSE
- ⑥ Prise d'eau — INTAKE



- Méthode géodésique — GEODETIC METHOD
- △ Station d'observation — THEODOLITE STATION
- ▲ Base du réseau de triangulation — TRIANGULATION BASE
- Repère sur le barrage — SIGHTING MARK
- ◻ Méthode d'alignement — SLIDE TARGET METHOD
- ◻ Station d'observation — THEODOLITE STATION
- ◻ Repère mobile — SLIDE TARGET
- ▲ Référence — REFERENCE

Figura 1.

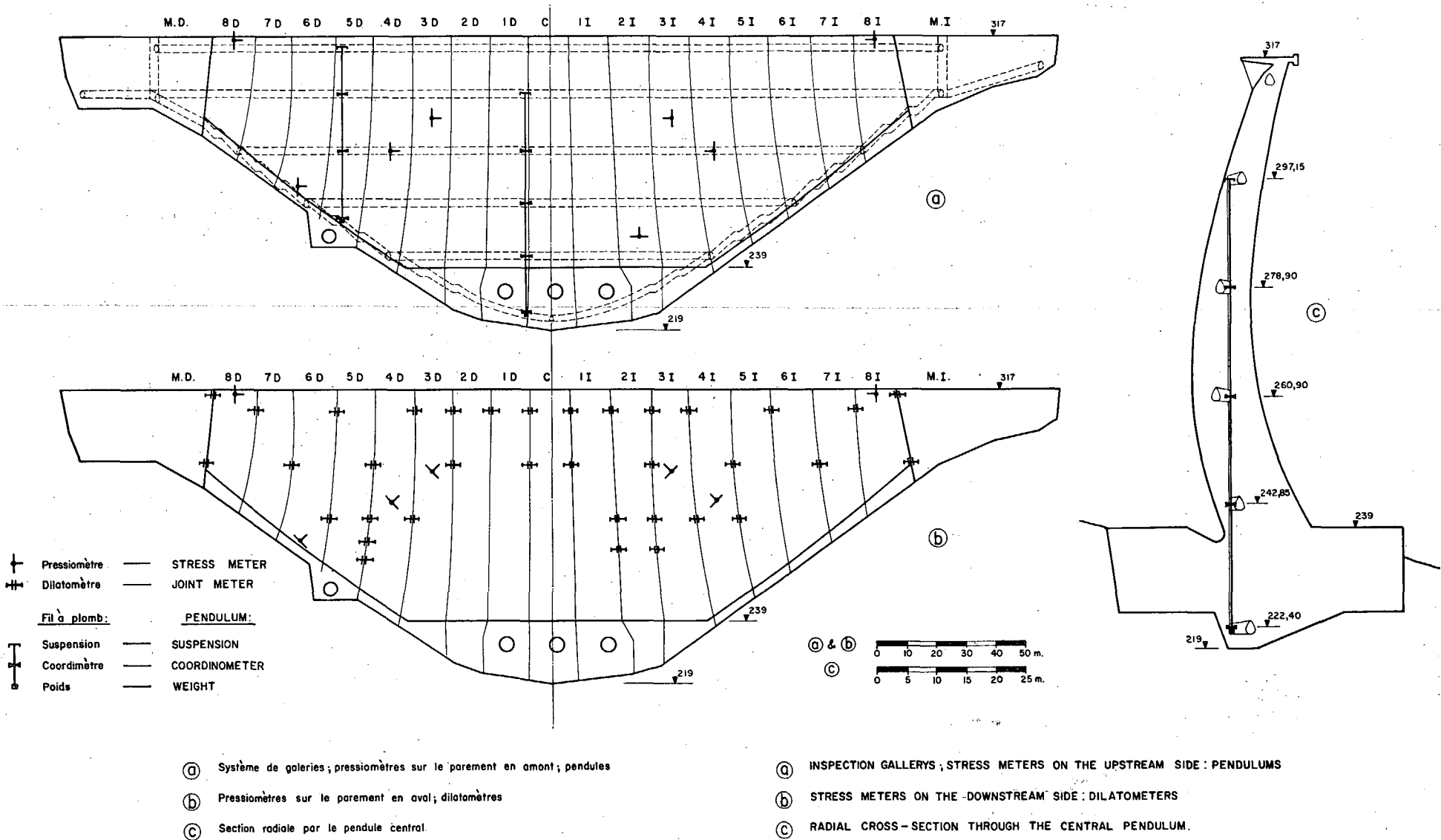


Figura 2.

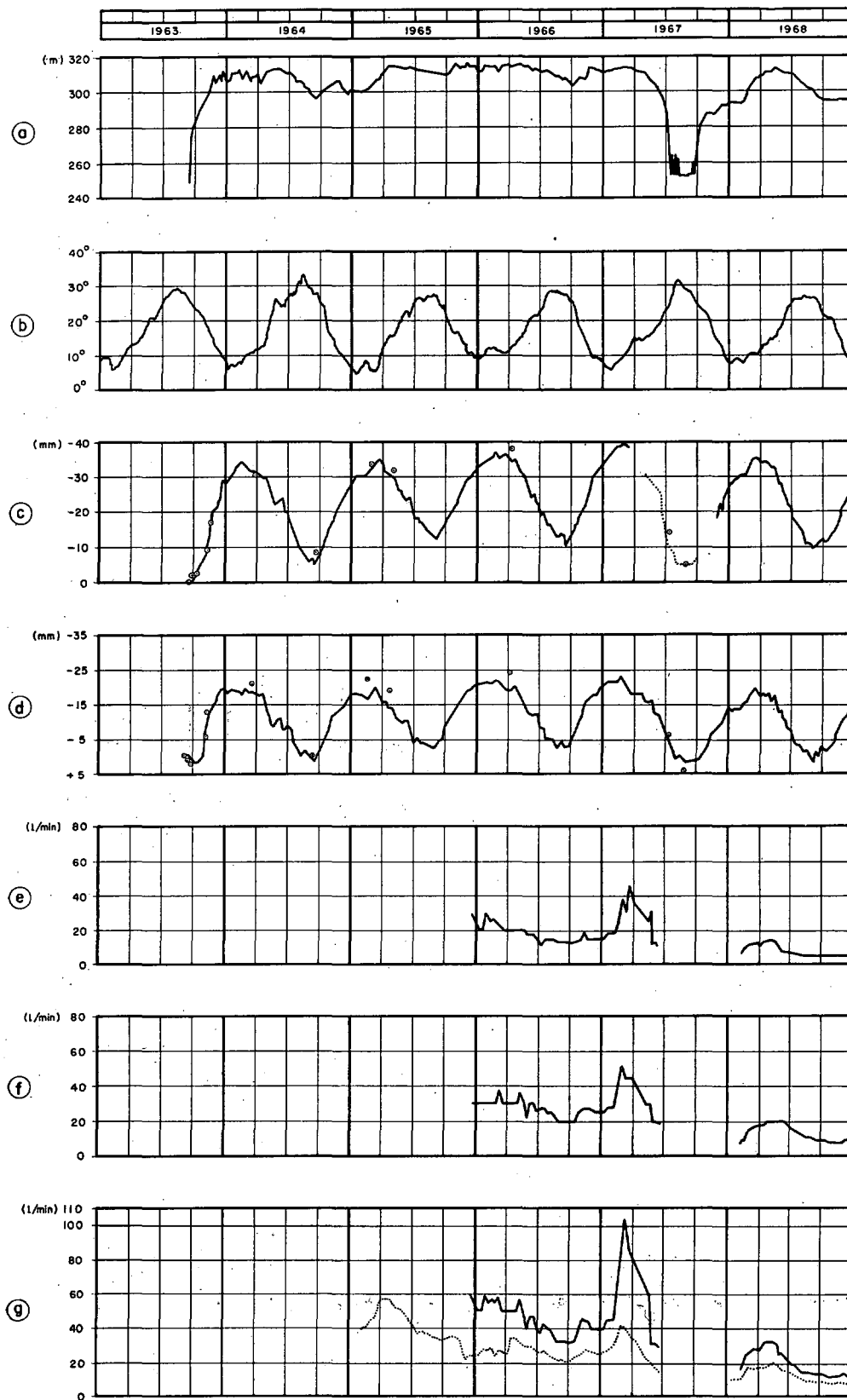


Figura 3.

(a) & (b) Niveau du réservoir et température de l'air

(c) & (d) Déplacements radiaux de la console centrale (cote 297,15) et du plot 5D (cote 313,10)

- Fil à plomb ⊙ Méthode géodésique

(e) & (f) Infiltrations à travers de la rive gauche et de la rive droite mesurées avec deversoir

(g) Infiltrations totales obtenues avec déversoir(-) et par addition des débits des drains (...)

(a) & (b) RESERVOIR LEVEL AND AIR TEMPERATURE

(c) & (d) RADIAL DISPLACEMENTS OF CENTRAL CANTILEVER (ELEVATION 297,15) AND BLOCK 5D (ELEVATION 313,10)

- PENDULUM ⊙ GEODETIC METHOD

(e) & (f) SEEPAGE THROUGH THE LEFT AND RIGHT SIDES OBTAINED WITH MEASURING WEIR.

(g) TOTAL SEEPAGE:
-MEASURING WEIR ... DRAIN FLOW

lisis de estos resultados da lugar a los siguientes comentarios:

- El comportamiento de la estructura es sensiblemente elástico. Puede existir una deformación irreversible, cuya magnitud sería *a priori* no mayor de 5 milímetros de la sección central y prácticamente nula en la sección lateral. Esta impresión se basa en dos hechos: la flecha remanente al vaciar el embalse en 1967, y una progresiva tendencia a aumentar de los valores máximos y mínimos de las curvas. No obstante, una conclusión definitiva respecto a esta cuestión sólo puede conseguirse después de haber realizado la separación de efectos.
- Los movimientos debidos a variaciones térmicas son muy importantes. Obsérvese la forma ondulada de las curvas de desplazamientos, con máximos y mínimos, sensiblemente coincidentes (con un cierto retraso) con los de la onda térmica. Como veremos más adelante, el resultado de una primera investigación indica que el desplazamiento máximo previsible en coronación de la sección central es debido en sus 2/3 a las variaciones térmicas y sólo en 1/3 a la carga hidrostática máxima.
- No existe prácticamente deslizamiento entre la presa y el cimiento. Esto puede verse por la coincidencia casi perfecta de los desplazamientos absolutos medidos por geodesia, con los relativos obtenidos a través de los péndulos.

Del estudio de los desplazamientos medidos por geodesia podemos citar dos conclusiones de interés:

- Los movimientos de los estribos se mantienen inferiores al grado de precisión que puede alcanzarse con este método de medida.
- Se observa una ligera disimetría entre los movimientos de una y otra margen debido probablemente al efecto de insolación.

3.5. Los aforos (figs. 3, e; 3, f y 3, g) se efectúan normalmente midiendo el caudal de cada dren con una vasija y un cronómetro. Estos datos permiten calcular los caudales desaguados por las distintas pantallas de drenes y, como suma de éstos, los caudales totales. La medición directa de dichos totales en el punto de recogida de todas las aguas permite comprobar los aforos parciales pudiendo determinarse además las filtraciones a través de puntos no controlados.

De los resultados obtenidos se deducen las siguientes conclusiones:

- El caudal total se mantiene normalmente por debajo de los 60 l./min.
- A principios de 1967 se observa un notable aumento del caudal total. En esta época, debido a la conjunción de un alto nivel en el embalse y una baja temperatura de la presa, se produjo el máximo giro hacia aguas abajo de las ménsulas centrales (ver gráfico 3, c del péndulo) dando lugar a una ligera

apertura de la junta bóveda-zócalo. Aunque este fenómeno produjo un aumento de filtraciones, el aforo total está falseado por el agua empleada en las operaciones de tratamiento de dicha junta. El tratamiento realizado ha sido eficaz como puede observarse en los caudales del invierno siguiente.

- Los caudales aforados son mayores en la margen derecha como consecuencia de la mayor fracturación de la roca de cimentación.
- La tendencia del caudal de filtraciones es la de ir disminuyendo con el tiempo; ésto no es debido a una obturación de los drenes que son sometidos periódicamente a una operación de limpieza.

Como complemento de estas medidas de aforo se controlan también las fugas de agua en toda la estructura, mediante la inspección directa del paramento de aguas abajo y de las galerías. Mensualmente se confecciona un plano, en el cual se refleja el estado de las humedades y grietas que han ido apareciendo. Los resultados de estas inspecciones demuestran que la impermeabilidad de la presa es excepcional.

3.6. Los movimientos de las juntas de construcción se controlan a través de medidores de resistencia eléctrica colocados en la superficie media de la bóveda. Durante el período de construcción, y hasta la ejecución de la inyección de juntas, se observaron aperturas por retracción del orden de 3 mm. como máximo; después de realizada la inyección, las medidas acusan, en general, una inmovilidad completa de las juntas. Únicamente se aprecian aperturas durante el invierno, del orden 1,5 mm. como máximo, en la parte alta (cota 316) de las juntas entre bóveda y estribos. Hemos comprobado que este efecto se limita a los 4 ó 5 m. finales y su causa probable es la realización de la inyección en dicha zona a temperaturas algo excesivas. La reinyección no parece aconsejable, pues en verano se cierran dichas juntas produciéndose en la coronación unas compresiones horizontales de origen térmico que alcanzan valores elevados.

3.7. Las tensiones en las proximidades de ambos paramentos de la presa se obtienen mediante la utilización de tensímetros de resistencia eléctrica. Estos aparatos tienen el inconveniente de ser sólo capaces de medir compresiones, pero su facilidad de interpretación les hace ideales para el control de seguridad.

En la figura 4 se representa la evolución de las tensiones medidas en el paramento de aguas arriba por este procedimiento; para poder efectuar una comparación con las tensiones teóricas se indica con una línea horizontal las obtenidas en el modelo reducido de la presa para la hipótesis de peso propio más nivel de embalse 317. Las conclusiones más importantes que pueden deducirse son las siguientes:

- La influencia de la temperatura es muy importante en los contornos de la bóveda (curvas a y b correspondientes a los arranques del arco de coronación y curvas f, h correspondientes a otros puntos

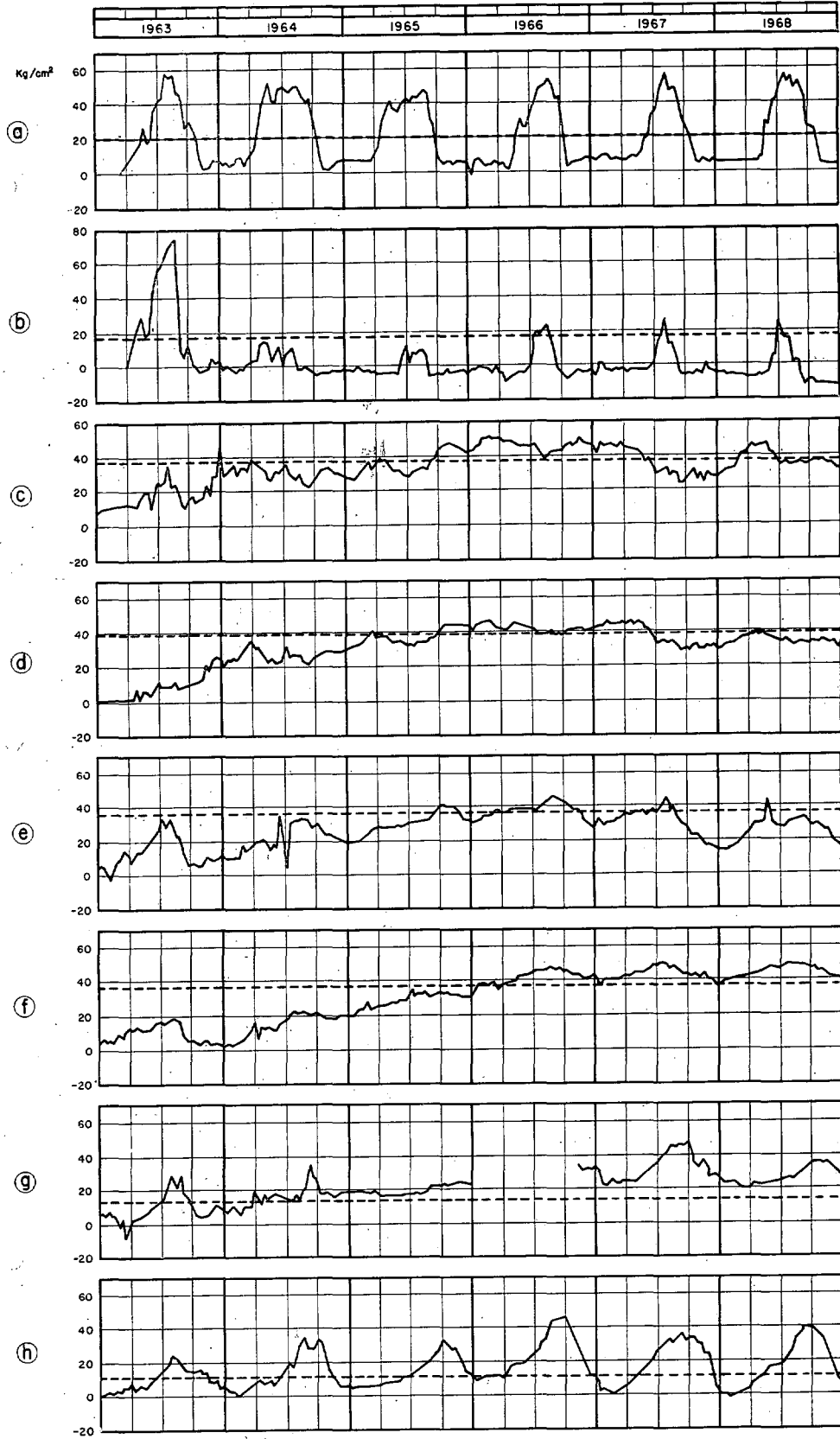
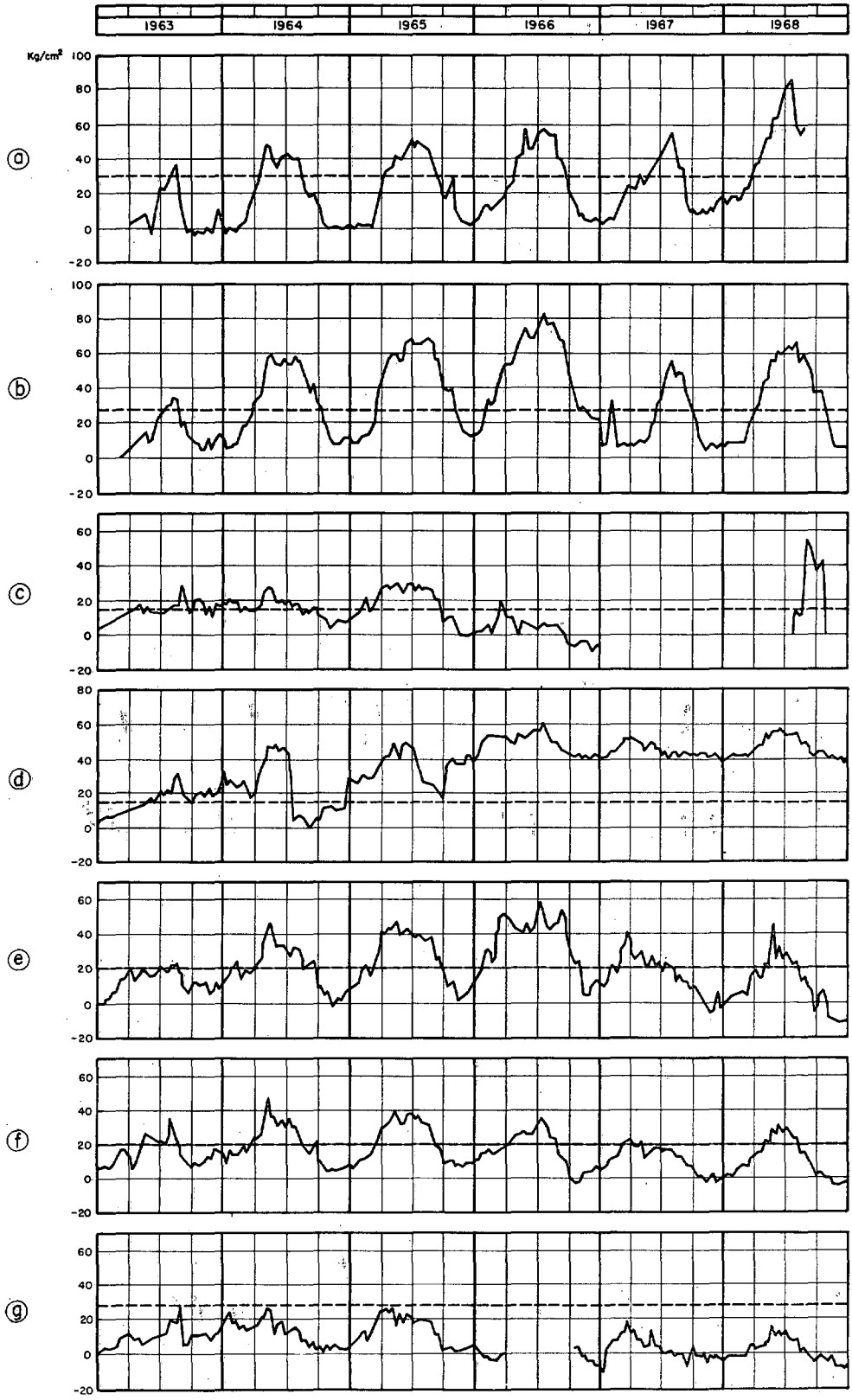


Figura 4.

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Angle formé par la direction de la contrainte mesurée avec une ligne verticale. ANGLE BETWEEN A VERTICAL LINE AND THE DIRECTION OF THE MEASURED STRESSES.	90°	90°	90°	90°	90°	90°	0°	90°
Situation: plot et niveau. SITUATION: BLOCK AND ELEVATION.	81	80	31	30	41	40	21	60
	315	315	289	289	279	279	249	263

Contraintes mesurées avec des pressiomètres sur le parement en amont.

STRESSES MEASURED WITH STRESS METERS ON THE UPSTREAM SIDE.



	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
Angle formé par la direction de la contrainte mesurée avec une ligne verticale. ANGLE BETWEEN A VERTICAL LINE AND THE DIRECTION OF THE MEASURED STRESS.	90°	90°	45°	45°	45°	45°	45°
Situation: plot et niveau. SITUATION: BLOCK AND ELEVATION.	8D 315	8I 315	3D 289	3I 289	4D 279	4I 279	6D 263

Figura 5.

Contraintes mesurées avec des pressiomètres sur le parement en aval.

STRESSES MEASURED WITH STRESS METERS ON THE DOWNSTREAM SIDE.

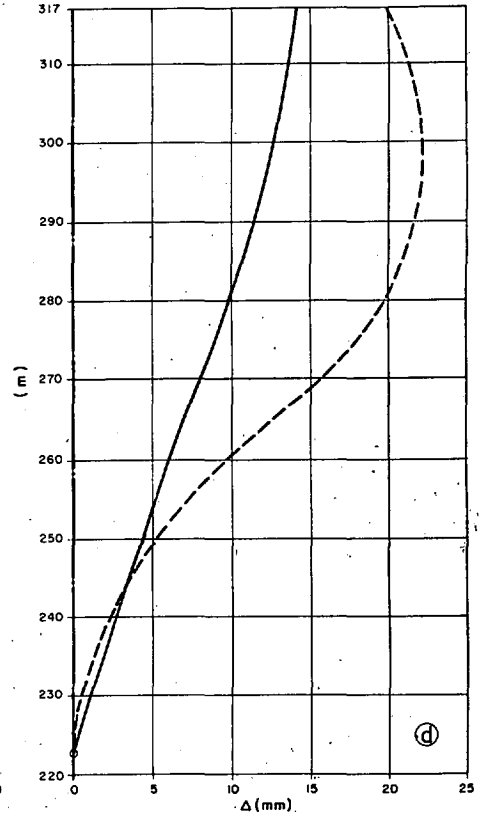
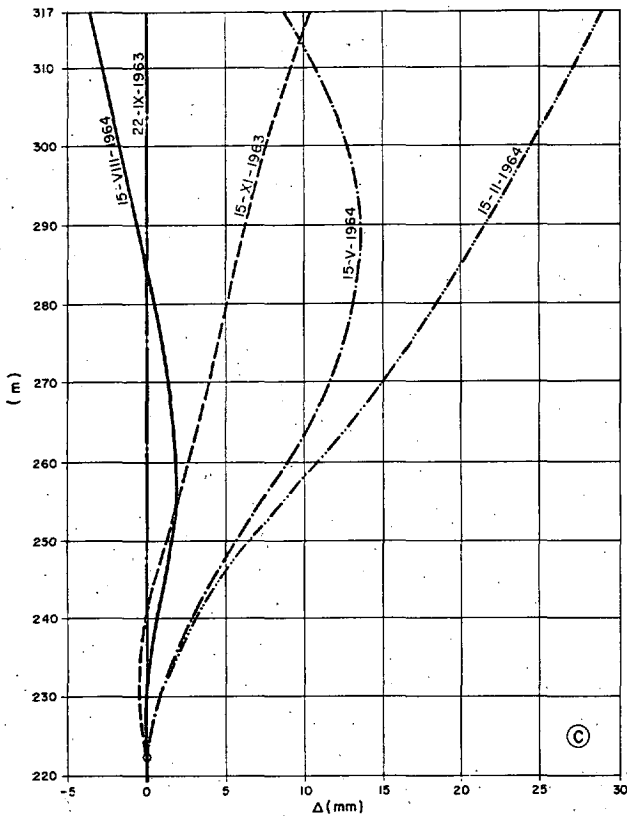
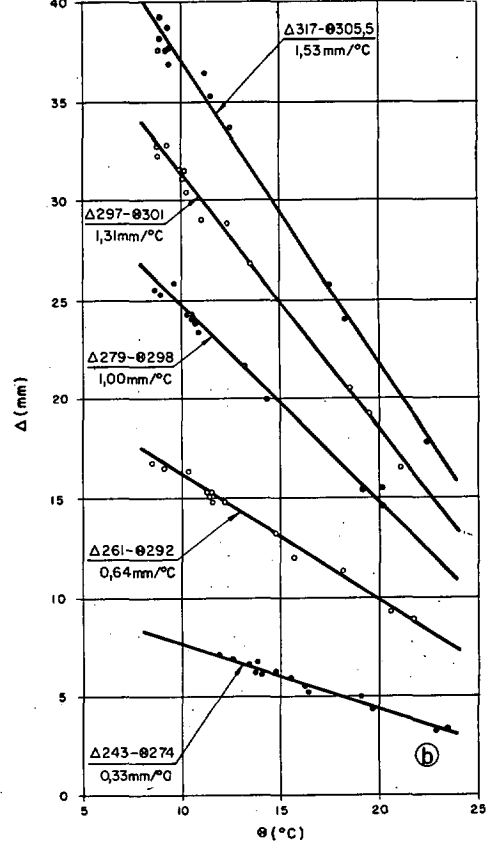
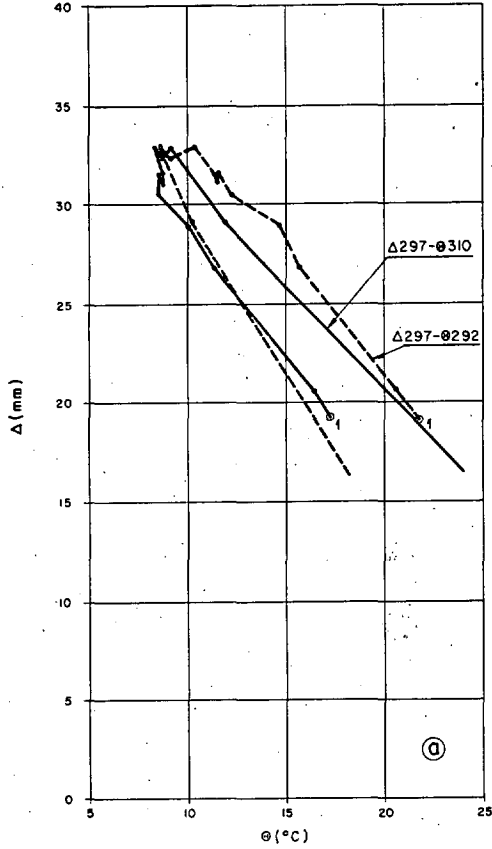


Figura 6.

- (a) Déplacements du point à la cote 297 en fonction de deux paramètres thermiques
- (b) Déplacements en fonction des paramètres thermiques choisis.
- (c) Élastiques dans les quatre saisons de la première année.
- (d) Élastiques avec retenue pleine (niveau 317):
 — Dans le barrage réel — — — Dans le modèle réduit
- (a) DISPLACEMENTS OF POINT AT LEVEL 297 AS FUNCTION OF TWO THERMAL PARAMETERS.
- (b) DISPLACEMENTS AS FUNCTIONS OF THE THERMAL PARAMETERS CHOSEN.
- (c) ELASTIC LINES DURING THE FOUR SEASONS OF THE FIRST YEAR.
- (d) ELASTIC LINES FOR RESERVOIR FULL (LEVEL 317):
 — PROTOTYPE — — — MODEL

de contorno), mientras que es casi nula en la zona central.

- Las tensiones horizontales en arranques del arco de coronación (curvas a, b), acusan la apertura de juntas de que hablamos en el apartado anterior; en invierno son prácticamente nulas y crecen rápidamente en verano, alcanzando valores del orden de 55 Kg./cm.² en la margen izquierda y de 25 Kg./cm.² en la margen derecha (las "puntas" de 1963 corresponden a la época anterior al llenado del embalse, en la cual la influencia térmica era aún más acusada).
- Las tensiones horizontales en la zona media de la bóveda (curvas c, d, e, f), acusan un comportamiento bastante simétrico, observándose un aumento de las compresiones durante los primeros años, que luego se detiene. El valor medio en 1966 es del orden de 40 Kg./cm.², ligeramente superior a las tensiones obtenidas en el modelo reducido.
- Las tensiones en la zona baja (curvas g y h), presentan valores aceptables, no produciéndose tracción en las situaciones más desfavorables.

En la figura 5 se representa la evolución de las tensiones en el paramento de aguas abajo, que presentan las siguientes características:

- La influencia de la temperatura es muy importante en todos los puntos de la bóveda, siendo tal vez menos acusada en la parte alta de la zona central margen derecha (curva d).
- Las tensiones horizontales en arranques del arco de coronación (curvas a y b), acusan la apertura de las juntas entre bóveda y estribos. Los valores máximos en verano llegan a alcanzar los 85 Kg./cm.², que son las compresiones máximas medidas en toda la bóveda.
- Las curvas c y d corresponden a las tensiones a 45° en la zona media alta. El comportamiento se hizo francamente asimétrico a partir de 1965, con compresiones del orden de 50 Kg./cm.² en la margen izquierda y valores que entran en el campo de las tracciones en la margen derecha. Realizada una investigación mediante las lecturas de un extensómetro colocado en esa zona se llegó a la conclusión de que las tracciones son francamente pequeñas.
- Las curvas e y f corresponden a las tensiones a 45° en la zona media baja. Se observa claramente una mayor influencia de la temperatura en la margen derecha (curva e) como consecuencia del efecto de insolación. No obstante, a pesar de este efecto, existe una cierta simetría, siendo los valores medios comparables a los del modelo reducido.
- Las tensiones a 45° en la zona baja de la margen derecha (curva g) son aceptables, manteniéndose su valor medio por debajo del obtenido en el modelo reducido.

4. INFLUENCIA DE LAS ACCIONES EXTERNAS EN LA DEFORMACION DE LA MENSULA CENTRAL

Sobre los desplazamientos de la presa influyen fundamentalmente dos acciones, temperatura y nivel de embalse. Es interesante la separación de los efectos debidos a cada una de estas causas, como paso previo a la comparación con los resultados de proyecto y al establecimiento de una función que nos permita predecir en el futuro los movimientos de la presa.

Como datos de partida disponemos de un registro continuo de desplazamientos de la ménsula central obtenidos mediante el péndulo y la colimación de la curva de nivel de embalse y de numerosos datos de temperaturas. La fijación del parámetro térmico a utilizar constituye la mayor dificultad *a priori*; en este primer estudio hemos elegido los valores medios por planos horizontales de las temperaturas en la superficie media de la bóveda.

El primer paso consistió en la fijación de una de las acciones, el nivel de embalse, determinándose las fechas en que éste alcanzó una cota determinada. Los desplazamientos, en dichas fechas, de cada uno de los puntos considerados se representaron en función de los valores alcanzados el mismo día por los parámetros térmicos. La figura 6a corresponde a uno de estos gráficos; se observa en ella que si representamos el desplazamiento $\Delta 297$ en función del parámetro $\Theta 310$ se produce un ciclo de histéresis hacia la derecha, mientras que si lo hacemos en función del parámetro $\Theta 292$ un ciclo del mismo orden magnitud tiene lugar hacia la izquierda. Estableciendo unos nuevos parámetros que sean combinaciones lineales de los de partida se llega a anular prácticamente el ciclo de histéresis; estos nuevos parámetros pueden asimilarse a las temperaturas medias de la bóveda a unas ciertas cotas.

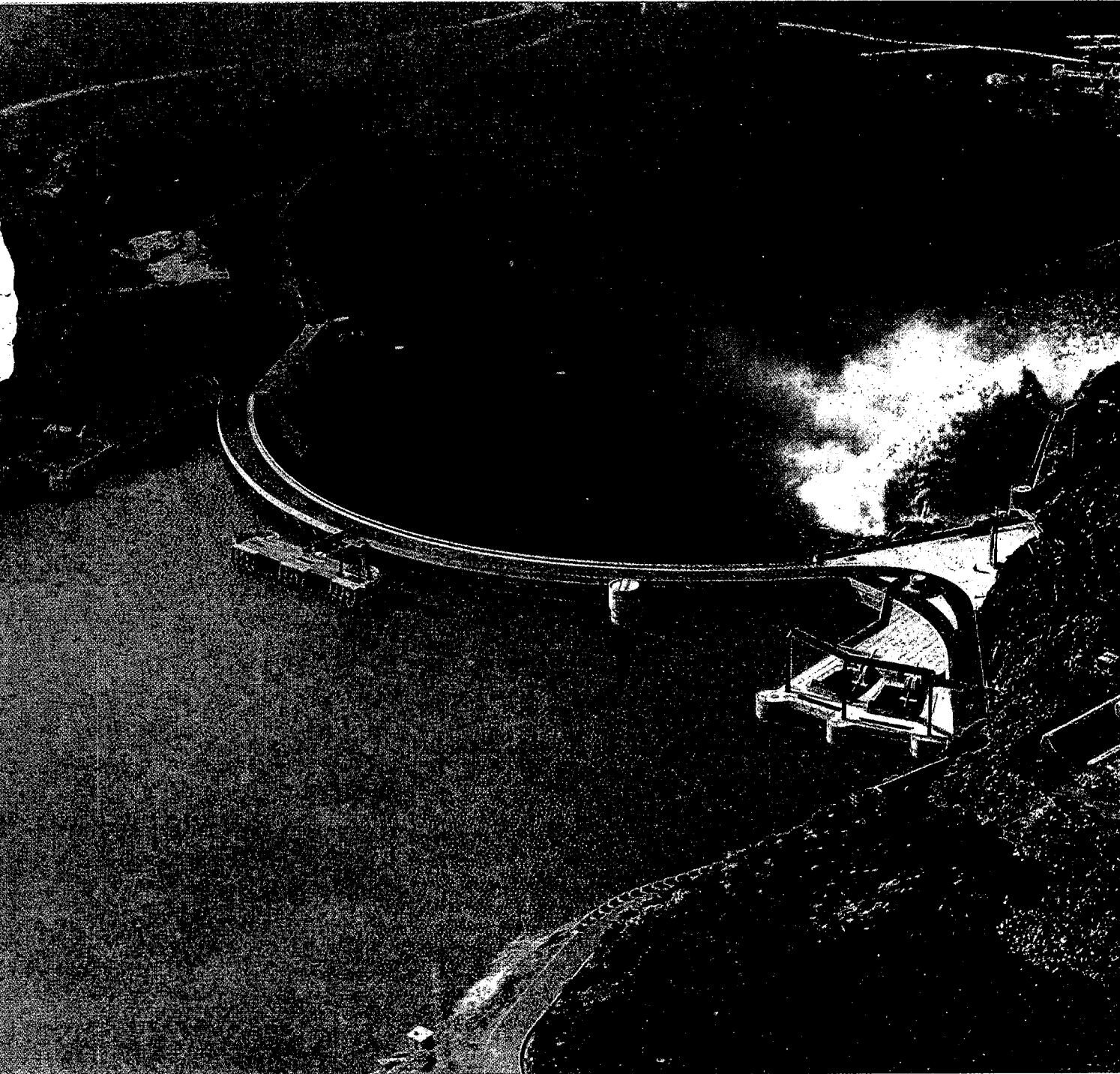
En la figura 6b se representan las funciones lineales deducidas de esta manera, mediante un ajuste de rectas por el procedimiento de los mínimos cuadrados. Es interesante observar que las temperaturas que influyen son las correspondientes a una franja relativamente estrecha, la situada entre las cotas 305,5 y 274, de la zona media alta de la bóveda.

La deducción, a partir de estos resultados, de las curvas representadas en 6c y 6d, es fácil de imaginar y no nos detendremos en una explicación del proceso.

La deformada real de la ménsula central (fig. 6d), difiere notablemente de la obtenida en el modelo reducido; en aquella el desplazamiento máximo es de 14 mm. y se produce a cota 317, mientras que en esta última es de 22 mm. a cota 295. Consideramos que en esta discrepancia juegan dos factores:

- El alto módulo de elasticidad del hormigón que alcanza valores del orden de 700.000 Kg./cm.² a los trescientos sesenta y cinco días, según los ensayos realizados.
- El hecho ya comentado de la inyección de juntas a temperatura elevada en la zona alta de la bóveda.

Vista desde agua arriba durante la riada de enero de 1970.
(Upstream view during the january 1970 floods.)



5. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados que acabamos de presentar, consideramos que el comportamiento de la obra es altamente satisfactorio. Como es lógico, existen ciertas discrepancias entre dicho comportamiento y el previsto en el proyecto, las cuales pueden explicarse en función de las particularidades detectadas en la obra real, del siguiente modo:

- La existencia de un elevado módulo de elasticidad del hormigón se traduce en una mayor sensibilidad de las tensiones a las variaciones de temperatura y en una disminución de los desplazamientos elásticos.
- Los movimientos, en una zona muy localizada, de las juntas entre bóveda y estribos tienen un efecto favorable sobre las tensiones de origen térmico, pero contribuyen, por otra parte, a una rotación excesiva de la bóveda y, como consecuencia, a la apertura de la junta bóveda-zócalo.
- Las diferencias geológicas entre ambas márgenes y la desigual insolación sobre el paramento de aguas abajo pueden constituir las causas del comportamiento asimétrico de la bóveda, que consideramos poco importante.

En definitiva, la vigilancia constante de todos estos fenómenos nos lleva a un conocimiento más profundo de

la presa real, de la cual podemos decir que se encuentra en muy altas condiciones de seguridad.

RESUMEN

El artículo trata del control de la presa de Valdecañas sobre el río Tajo. Se hace en primer lugar un comentario sobre la diferente influencia que los objetivos de seguridad e investigación tienen a la hora de establecer los métodos de auscultación e interpretación. Después de hacer una descripción somera del aprovechamiento, se pasa a describir las instalaciones efectuadas para el control de la presa bóveda.

A continuación se muestran los sistemas de medida seleccionados para el control de seguridad, presentándose más adelante los resultados obtenidos durante los seis primeros años de explotación del Salto. Se estudian en particular la distribución de temperaturas, los desplazamientos, los movimientos de juntas, las filtraciones y las tensiones en paramentos. A partir de estos datos, se llega a una separación de los desplazamientos debidos a carga hidrostática de aquéllos que son imputables a las variaciones de temperatura. Las discrepancias observadas entre los resultados reales y los valores calculados en el proyecto pueden explicarse en función de ciertas particularidades de la presa real puestas de relieve durante el control.