

El comportamiento de la Presa de Susqueda durante el primer decenio. Hasta 1980^(*)

Por ARTURO REBOLLO

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

La presa de Susqueda crea un embalse que atiende a la regulación del río Ter, suministrando más del 50 por 100 de la dotación total de abastecimiento de agua a Barcelona. Finalizada su construcción en 1968, desde entonces se ha desarrollado una minuciosa labor de auscultación y control, que ha dado lugar a un interesante estudio del comportamiento de este tipo de obras, cuya sistemática y conclusiones se describen en el artículo.

A todos los que con su esfuerzo han contribuido durante estos años a realizar el control del comportamiento de esta Presa.

1. POR QUE Y PARA QUE ESTE ESTUDIO

En 1964 se iniciaron las excavaciones para la construcción de esta obra y en enero de 1965 se comenzó su hormigonado, siendo concluido tres años más tarde, a principios del 1968.

Hidroeléctrica de Cataluña, S. A., durante estos años en que realizó la construcción, fue implantando paulatinamente el sistema de control para la estructura y macizo de apoyo. A su vez, se fueron obteniendo los primeros resultados de esta auscultación y con todos estos datos, juntamente con los obtenidos a lo largo de todo el año 1969, se confeccionó el primer estudio síntesis del comportamiento de la obra.

Esta primera visión global de la evolución estructural del complejo presa-terreno puso de manifiesto el interés y la utilidad de redactar dichos trabajos síntesis de forma sistemática y con carácter anual, a partir del dilatado caudal de información que día a día se iba obteniendo; trabajos que se han venido realizando con estricto rigor desde aquellas mismas fechas. Por todo ello y hasta el momento actual, se cuenta con 17 estudios síntesis de esta clase que responden a una veintena de años de medidas y

observaciones, cuya totalidad es la expresión más directa de la vida de esta Presa.

Pues bien, toda esta documentación, a pesar de venir ya suficientemente condensada, ampliamente resumida y correctamente ordenada, ha comenzado a perder agilidad de análisis y perspectiva crítica, precisamente por la progresiva acumulación de información a lo largo de los años. Por ello, de la misma manera que ha sido preciso confeccionar los estudios síntesis anuales a partir de la información diaria, en el mismo sentido se ha llegado a la conclusión del gran interés y de la enorme utilidad en redactar un primer trabajo de síntesis decenal a partir de toda la información anterior.

Estos trabajos de carácter decenal, cuya realización sistemática de cara al futuro sería muy de desear, van a tener múltiples y variadas ventajas, algunas de las cuales se señalan a continuación.

Primera. No sólo van a suponer la posibilidad de consulta para cualquier dato, concepto o acontecimiento en la vida estructural de la Presa, sino que podrán situar con suficiente perspectiva la evolución de los mismos.

Segunda. La situación de cualquier fenómeno en la perspectiva real de su evolución va a obligar a un análisis más riguroso de sus tendencias y por lo tanto va a permitir adoptar decisiones adecuadas para su prevención o corrección, lo que redundará no sólo en una mayor seguridad para la obra, sino también en una mayor garantía económica para su explotación. Es preciso recordar que actualmente la Presa de

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de julio.

Susqueda atiende a la regulación de las temidas crecidas del río Ter; que suministra más del 50 por 100 de la dotación total del abastecimiento de Barcelona; y que deriva sus caudales a la correspondiente central hidroeléctrica; es decir, una hipotética avería podría acarrear gravísimos problemas económicos, dejando aparte otras consideraciones de carácter social o político.

Tercera. Unos estudios síntesis de este tipo forzosamente han de desembocar en un mayor conocimiento técnico del funcionamiento estructural de la Presa, especialmente por parte de todos y cada uno de los integrantes del equipo que lleva a cabo su auscultación. Ventaja esta por sí sola para reclamar la elaboración de tales estudios.

Cuarta. El análisis de todos los datos de la auscultación, desde el pequeño detalle de la medida diaria hasta el análisis decenal, va a suponer para todos aquellos técnicos que en el futuro hayan de relevar a los que actualmente tienen la responsabilidad del control de esta obra, una inestimable ayuda para asumir su cometido y un decisivo estímulo para proseguir estos trabajos.

2. ORGANIZACION DEL CONTROL DE LA PRESA

2.1 Medidas y observaciones

Este conjunto de actuaciones que engloba la heterogénea toma de datos, dentro del amplio capítulo del control de la presa, está dirigido hacia cuatro objetivos básicos bien diferenciados.

El primero se refiere a las acciones o cargas que actúan o pueden actuar sobre la estructura y el macizo rocoso. Estas acciones se resumen fundamentalmente en el peso propio, la carga hidráulica, el efecto térmico y los movimientos sísmicos.

El segundo se centra en el tema de las tensiones en el hormigón, obtenidas bien a partir de sus deformaciones unitarias, o bien a través de medidas suministradas directamente por los correspondientes aparatos.

El tercero se proyecta sobre los desplazamientos que se presentan en la estructura y en la roca de apoyo, y se extienden a los movimientos

en las juntas, al control de los despegues bruscos en el contacto roca-hormigón y a los desplazamientos específicos tanto en el plano horizontal como en el eje vertical.

El cuarto va enfocado hacia el control de la estabilidad de la ladera de la margen derecha, que si bien no implica un efecto directo sobre la estructura de la Presa, su hipotética inestabilidad podría significar un riesgo para las torres de toma de agua y por tanto para la explotación de la central eléctrica.

Es preciso resaltar que todas las medidas y observaciones que se realizan para desarrollar el control de estos cuatro objetivos, han de realizarse por los técnicos encargados de la auscultación de forma personal y directa, acudiendo hasta el punto donde se halle ubicado el aparato de medida o la base de observación, con objeto de que necesariamente sea recorrido y visitado con asiduidad y frecuencia todo el entorno interior y exterior de la Presa. Es decir, se ha desestimado como norma toda posibilidad de centralización o informatización de las medidas a distancia.

2.2 Personal Técnico

Existe una vigilancia permanente en la Presa durante las veinticuatro horas del día. Esta vigilancia está organizada en turno de dos operarios, uno de los cuales puede realizar cualquier tipo de medida, e incluso su interpretación previa, en los diferentes aparatos de control; el otro operario, aparte de colaborar en dichas tareas, atiende a las órdenes de apertura y cierre de las diferentes compuertas en las torres de toma.

En general estos equipos actúan de acuerdo con programas de lecturas previamente establecidos. Estos programas son susceptibles de variarse o intensificarse de acuerdo con lo que requieran las circunstancias.

Durante estos años se ha hecho cargo de todo este equipo técnico de auscultación el Ingeniero Técnico de Minas J. López Arenas. A su vez, las medidas geodésicas y topográficas las han llevado a cabo los Ingenieros Técnicos en Topografía M. Olivar y F. Pérez Robles. En la interpretación y auscultación sísmica, cuyo sistema de registros se instaló a partir de 1977, ha colaborado el ayudante de Obras Públicas y

Licenciado en Ciencias Físicas, F. González del Campo.

2.3 Archivos técnicos

Cuando se realizó el proyecto de esta obra, allá por los años 1961-1962, y luego posteriormente mientras se realizó la construcción, surgió una ingente y variadísima documentación que fué preciso recogerla por separado en dos apartados distintos; el primero lo constituyó el «Archivo técnico de Proyecto»; el segundo el «Archivo técnico de Construcción». En ellos están recogidos todos los pormenores de la gestión de esta obra.

Es interesante señalar que todo el contenido básico del proyecto y todos los pormenores de la construcción de esta obra quedaron condensados en un total de trece documentos, registrados oficialmente, que fueron remitidos en su día a la Administración.

Pues bien, de forma análoga, cuando durante la propia construcción se empezaron a obtener datos sobre el control estructural de la presa, y luego posteriormente a lo largo de los años se continuaron acumulando nuevos datos sobre dicho control, fue necesario organizar un tercer apartado con toda esta dilatada documentación; de ahí surgió el «Archivo técnico de Auscultación».

Con todos estos datos ha sido posible organizar y redactar aquellos 17 Estudios síntesis sobre el comportamiento de la Presa a que se ha hecho referencia en el Capítulo 1.

3. ACCIONES EXTERIORES E INTERIORES QUE HAN ACTUADO SOBRE LA ESTRUCTURA Y MACIZO DE APOYO

A continuación y de acuerdo con lo expuesto, se hará referencia a los datos del comportamiento de la Presa durante su primer decenio, que para darle ya carácter de «decenio natural» se han hecho extensivos hasta 1980 inclusive.

3.1 Peso propio

Este efecto fue progresivo sobre el cimiento

mientras se realizó la puesta en obra del hormigón. Cabe destacar cómo el hecho de haber quedado algún tiempo aislados los bloques laterales en las zonas altas de las laderas, que por la disposición de sus juntas presentaban desplome natural hacia el cauce, repercutió sobre las aberturas de dichas juntas alcanzando valores de 5 y 6 mm mientras que en el resto de los bloques dichos valores no sobrepasaron los 2-3 mm.

El efecto del peso propio nunca ha actuado aislado, siempre ha estado indisolublemente unido al efecto térmico. Este efecto del peso propio durante la construcción, es decir, su traducción en las deformaciones que la presa debía adoptar en vacío aguas abajo, fue compensado progresivamente por el hecho del replanteo de la obra que la fue llevando siempre a su aséptica posición espacial establecida en la definición analítica. Es preciso recordar que el cálculo de la presa en vacío proporciona desplazamientos hacia aguas abajo, en todas las ménsulas de la estructura.

Pues bien, cuando en los meses de septiembre-octubre de 1967 queda prácticamente hormigonado, a efectos estructurales, el cuerpo de la Presa, el peso propio ha cumplido su ciclo pasando a ser un parámetro invariable en la vida de la obra; es en este momento cuando se fija el origen de medidas para todos los desplazamientos de la estructura, medidas que por el momento solamente pueden tomarse en la mitad inferior de la Presa, hasta tanto no se rematen todos los trabajos de los acabados en coronación. De ahí que cuando en junio de 1968 se realizan las primeras medidas de los desplazamientos en coronación sea preciso referirlos a los desplazamientos que han tenido lugar a lo largo de aquellos meses, durante los cuales, por otro lado, se inició un primer embalse parcial.

3.2 Carga hidráulica

3.2.1 La evolución del embalse

En el mes de marzo de 1967 se cerró el túnel de desvío, derivando el río por los cuatro desagües de fondo, iniciándose así sobre la estructura el proceso de la carga hidráulica.

No se produjo el llenado del embalse hasta

EL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE SUSQUEDA DURANTE EL PRIMER DECENIO

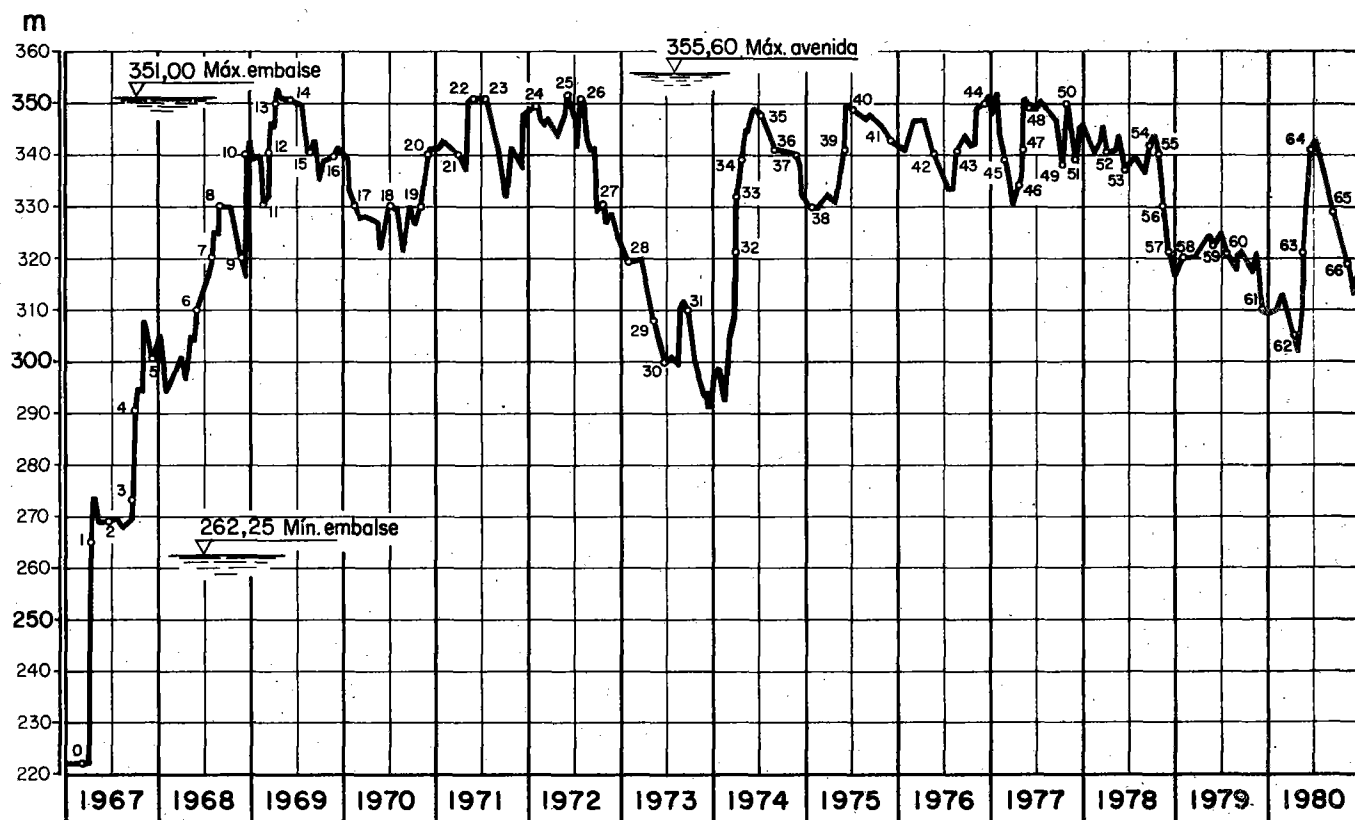


Figura 1. Curva de embalse. La numeración se corresponde con las fechas más representativas en las que se han realizado mediciones de los desplazamientos generales de la obra.

dos años más tarde, en abril de 1969, con el vertido más espectacular de todo el decenio, en que la lámina vertiente alcanzó los dos metros de altura con un caudal de 1.000 m³/seg. Esta primera situación de máximo embalse se mantuvo durante cuatro meses con lo que pudo comprobarse con detalle el comportamiento inicial de la presa.

En la figura 1 se representa la curva de embalse desde su inicio. Puede apreciarse, el considerable efecto regulador del embalse, dado el notable índice de irregularidad que presenta la hidrología de la cuenca. Como se puede observar son muy numerosas las situaciones de máximo embalse, algunas de las cuales se prolongan por espacio de dos y tres meses, frente a aquellas otras de bajos niveles que se producen exclusivamente en dos ocasiones, en una de las cuales, a finales de 1973, se llega a embalsar solamente un 10 por 100 de la capacidad útil.

Durante algunas de las mencionadas situaciones de máximo embalse se llegaron a producir

diversos vertidos por el aliviadero, cuya traducción en volúmenes anuales se resume en la siguiente relación:

1969	118,9 hm ³
1971	9,3 hm ³
1972	48,2 hm ³
1976	26,9 hm ³
1977	132,7 hm ³
Vertidos totales	336,0 hm ³

Estas cantidades sugieren dos reflexiones: Primera, que dadas las aportaciones del río Ter se ha obtenido una regulación del 95 por 100 de sus caudales. Segunda, que no obstante este óptimo resultado, los montantes de los volúmenes vertidos demuestran que habría sido rentable aumentar, incluso en un 20 por 100, la capacidad de embalse del sistema Sau-Susqueda, teniendo en cuenta que buena parte del agua va destinada al abastecimiento del Área Metropolitana de Barcelona y sus zonas de influencia.

3.2.2 Las subpresiones

El control del paso del agua a través del macizo de apoyo está encomendado a la pantalla de drenajes. Los taladros de esta pantalla penetran unos 30 m en la roca y atraviesan verticalmente las tres galerías de drenaje. Las cabezas de estos drenes llevan además acoplado el correspondiente manómetro para medir la presión o altura piezométrica dentro de la roca.

La primera operación que fue necesario realizar en esta pantalla, una vez que se produjo el primer llenado de embalse, consistió en la limpieza mecánica de las concreciones clásicas que, procedentes de la cal libre del cemento, tanto del hormigón como de las inyecciones, habían obturado total o parcialmente sus taladros. La segunda fue reducir la subpresión en los 8 ó 10 drenes del cuerpo central de la presa que eran los que daban alturas piezométricas de cierta consideración.

Para este segundo cometido se desestimó de entrada la posibilidad de realizar nuevas inyecciones en la roca, operaciones que ya se habían llevado a cabo con suficiente detalle y amplitud. También se desestimó, en principio, la ejecución de nuevos drenes que complementaran e intensificaran la pantalla inicialmente establecida; se habían hecho ensayos puntuales donde se comprobó cómo en taladros contiguos, situados a escasos metros, no era posible establecer comunicación entre ellos, al menos temporalmente, por lo que la idea de aumentar el número de drenes no prosperó.

Se optó sin embargo por inyectar cada uno de dichos drenes con presión estricta, para abrir un nuevo dren en sus inmediaciones sobre un entorno de dos metros, manteniendo aproximadamente las distancias establecidas entre ellos, es decir a razón de un dren por cada bloque, o sea a unos 15 m. De esta forma quedó resuelto el problema, al menos momentáneamente, en diciembre de 1969.

Sin embargo las subpresiones continuaron aumentando con lentitud pero progresivamente, por lo que en los primeros meses de 1972 se volvió a realizar un tratamiento similar al anterior, a base de una limpieza previa de todos los drenes, seguida de una inyección de los más activos, y de la perforación de otros nuevos que los sustituían. Pues bien, a pesar de todo, la zona central de la Presa continuó en los meses siguientes dando valores piezométricos altos; concretamente al final de aquel año, estos valores daban por término medio una altura piezométrica del orden del 70 por 100 sobre el nivel del embalse.

Este hecho obligó a replantear inmediatamente el proceso. En el primer trimestre de 1973 se perforaron 22 nuevos drenes en la referida zona central de la Presa que completaban los anteriores, resultando una medida de 3 drenes por bloque, es decir un dren por cada 5 m aproximadamente. Las alturas piezométricas en cada bloque al cabo de poco tiempo habían descendido ostensiblemente.

En la figura 2 se representan sobre un alza-

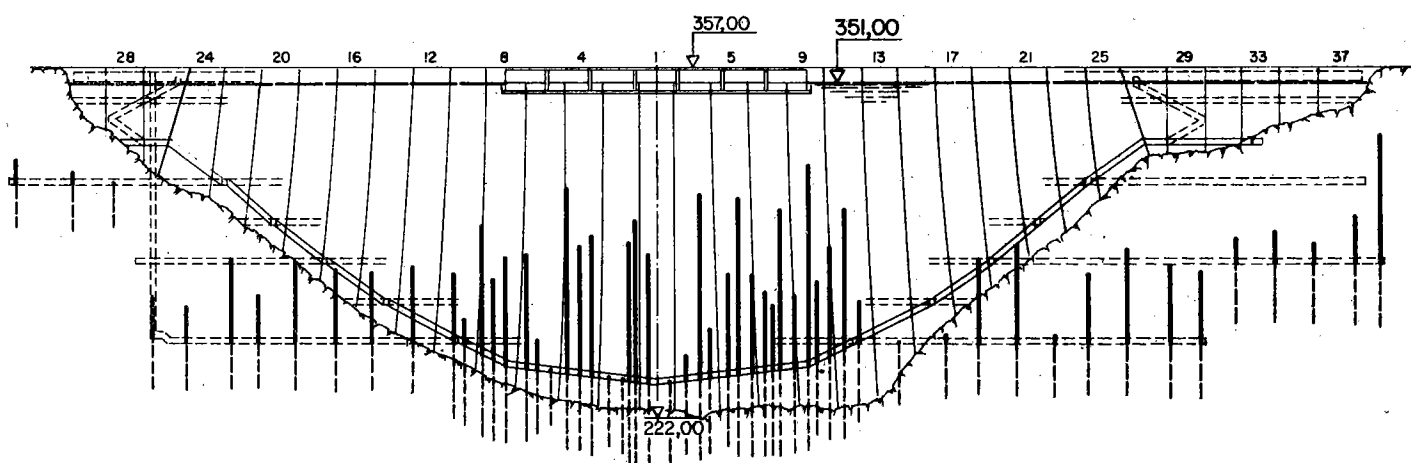


Figura 2. Alturas piezométricas en el interior de la roca de cimentación obtenidas a finales de 1976 con el embalse a su máximo nivel.

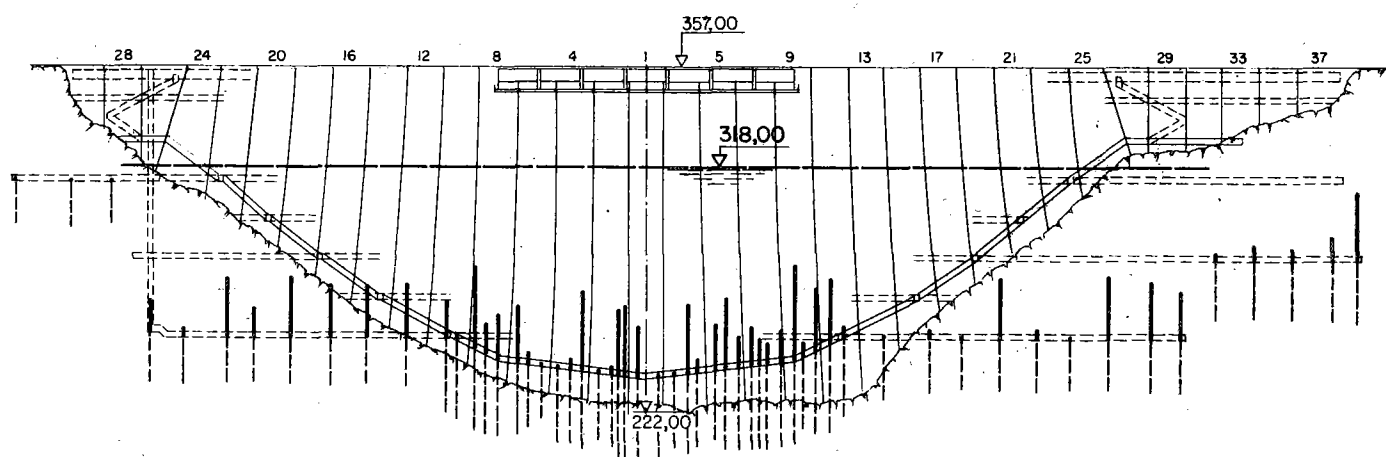


Figura 3. Alturas piezométricas en el interior de la roca de cimentación obtenidas al finalizar 1980 con el embalse a la cota 318.

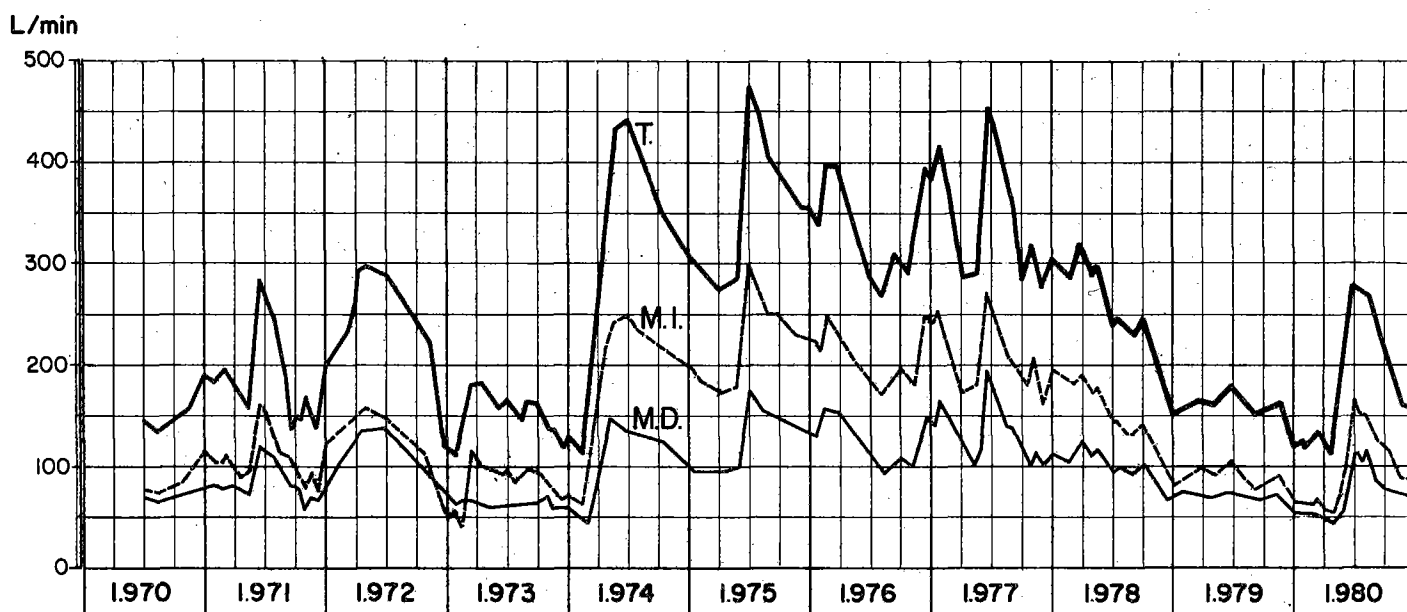


Figura 4. Aforos totales de las filtraciones, en litros/segundo, recogidas por las pantallas de drenaje y de control de movimientos.

do de la Presa las alturas piezométricas en diciembre de 1976 con el embalse a la máxima cota; puede observarse cómo la altura media piezométrica de los drenes que dan subpresión, en la zona central de la Presa, es del orden del 50 por 100, sin que ninguno llegue al 70 por 100 de 1972. en la figura 3 se representan de forma análoga las mismas alturas al final del decenio, en diciembre de 1980. con el embalse a la cota 318 m; sus valores son por el momento aceptables, aunque hacen pensar en una futura corrección.

3.2.3 Las filtraciones

Las filtraciones que hayan podido existir durante este período hay que calificarlas de insignificantes. Los aforos de los drenes y los taladros de la pantalla de control de movimientos van recogidos en los gráficos de la figura 4, donde se especifican los caudales medios en cada margen y el global de la Presa. En dichas representaciones se observa una total concordancia de dichos valores con la curva de embalse.

EL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE SUSQUEDA DURANTE EL PRIMER DECENIO

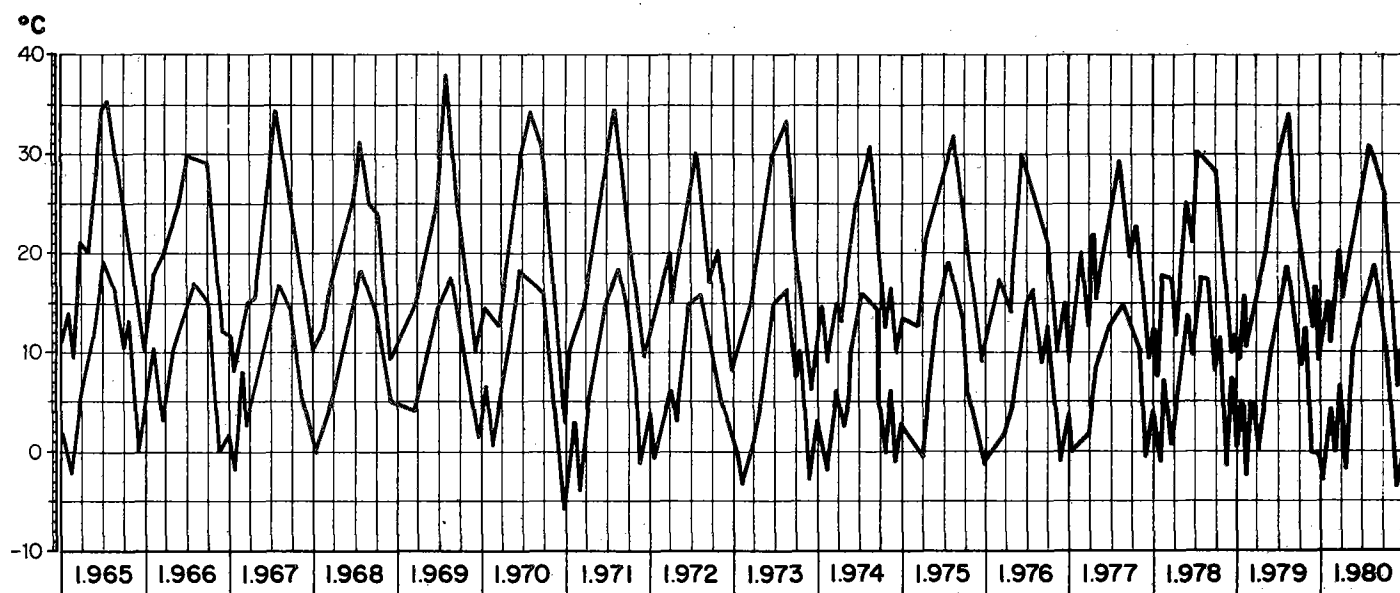


Figura 5. Evolución de los valores medios de las temperaturas diarias máxima y mínima obtenidos según la medida de los diez días precedentes, incluido el propio.

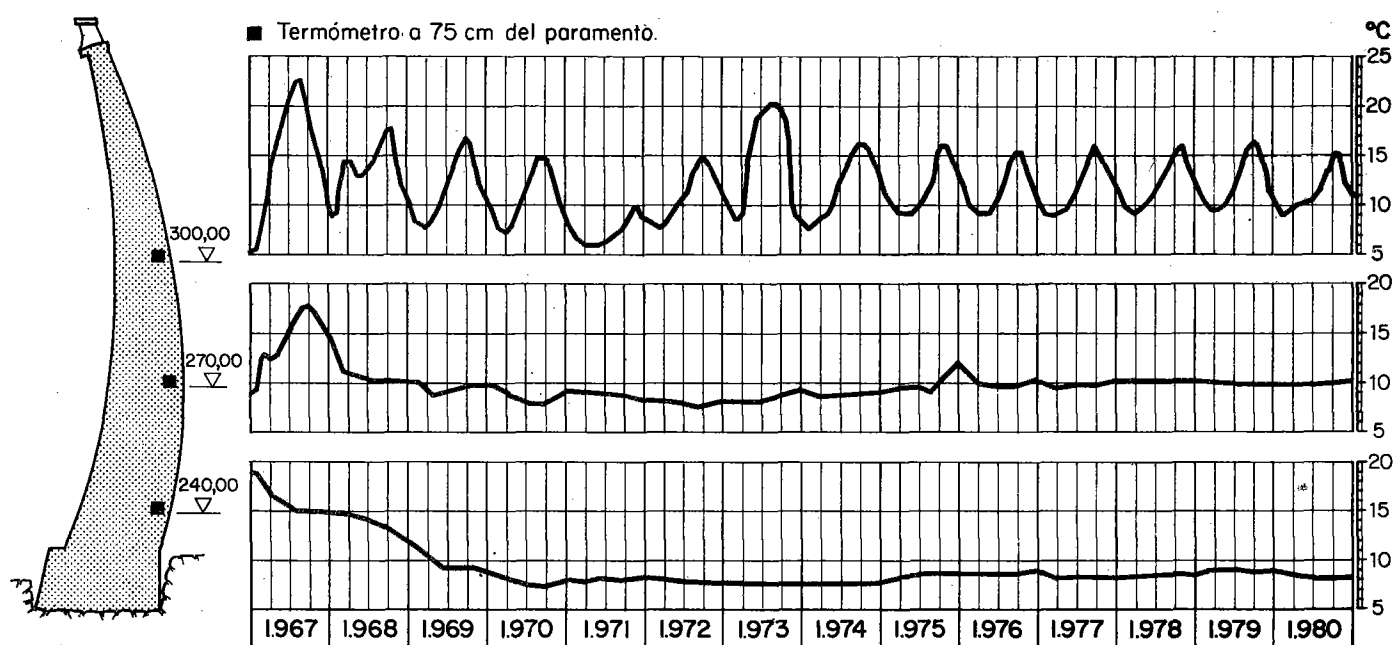


Figura 6. Influencia del agua del embalse sobre la temperatura del hormigón en distintos puntos situados a diferentes cotas y a 75 cm del paramento de aguas arriba.

3.3 Temperatura y retracción

3.3.1 La temperatura ambiente

La amplitud de la obra y su situación a 70 km del mar proporciona sobre la zona de emplazamiento un clima mediterráneo benigno que da lugar a un ciclo anual de temperatura con unos

máximos en verano sobre los 35° C para las temperaturas medias máximas y unos mínimos en inviernos sobre los 0° C para las temperaturas medias mínimas. Todo ello viene a comportar unos saltos térmicos diarios de unos 15° C.

Sobre la margen izquierda de la Presa se halla instalada una estación meteorológica, enla-

EL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE SUSQUEDA DURANTE EL PRIMER DECENIO

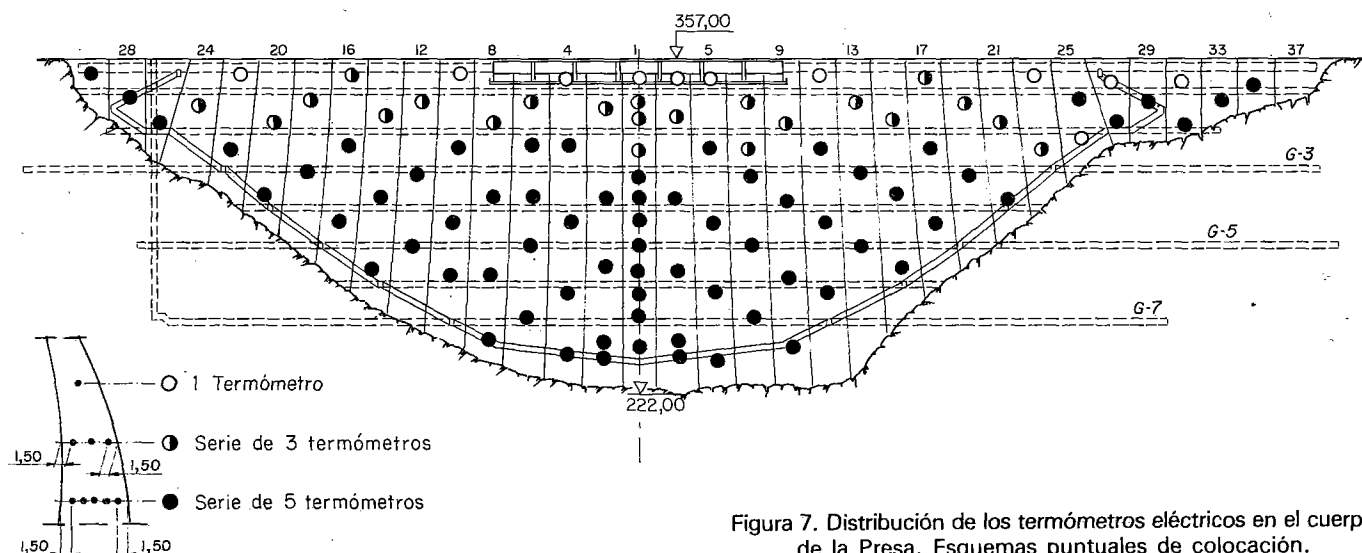


Figura 7. Distribución de los termómetros eléctricos en el cuerpo de la Presa. Esquemas puntuales de colocación.

zada a la red catalana, que suministra datos diariamente. En la figura 5 se indica la evolución de los valores medios de estas temperaturas diarias máximas y mínimas desde el inicio mismo del hormigonado hasta 1980. Sus valores responden a la media obtenida cada diez días.

3.3.2 La temperatura del agua

El agua del embalse al estar en contacto con el paramento de aguas arriba transmite una variación al gradiente térmico del hormigón que necesariamente ha de tener repercusión en el interior de su masa; factor por lo tanto que hay que tener en cuenta a la hora de analizar con detalle el comportamiento de la estructura debido a los cambios de temperatura. Para dar una idea de esta influencia en las cuvas de la figura 6 se representa la evolución de la temperatura en diferentes puntos situados tan sólo a 75 cm del paramento de aguas arriba y a diferentes cotas.

3.3.3 La evolución de la temperatura del hormigón

El control de la temperatura en el interior de la masa del hormigón se dispuso con cierta amplitud, fundamentalmente por no haber dispuesto sistema de refrigeración durante su puesta en obra. También era preciso tener en cuenta que se había previsto un embalse parcial, hasta la cota 300 m, para poner en marcha la central hidroeléctrica, pero sin inyectar las juntas,

en espera de concluir la construcción y contar con una situación térmica favorable.

En la figura 7 se representa la situación y colocación de los diferentes grupos de termómetros eléctricos, en el cuerpo de la Presa, cuyo número sobrepasa los 400. Todo ello sin tener en cuenta aquellos otros termómetros que van incorporados a los extensómetros, que normalmente no han sido utilizados para el control térmico específico del hormigón. Las temperaturas máximas alcanzadas en la estructura y medidas por estos grupos de termómetros oscilaron entre los 30° C y 50° C.

La inyección de las juntas se realizó en el primer trimestre de 1968, con unas temperaturas máximas en la estructura del orden de 15° C-18° C, es decir cuando ya había desaparecido el efecto de la retracción. Estas temperaturas en el momento de la inyección representaban el origen térmico de la estructura, y unidas a las aberturas de las juntas en aquel momento supusieron un dato capital a tener en cuenta en el futuro comportamiento de la obra.

A partir de la inyección de las juntas la Presa entró de lleno en el período de estabilización térmica, influido exclusivamente por los ciclos de temperatura ambiental invierno-verano y por el efecto del agua del embalse.

En la actuación de estos ciclos térmicos se advierte claramente el fenómeno de la inercia térmica, por lo que los máximos y mínimos dentro del cuerpo de la Presa no coinciden con los

EL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE SUSQUEDA DURANTE EL PRIMER DECENIO

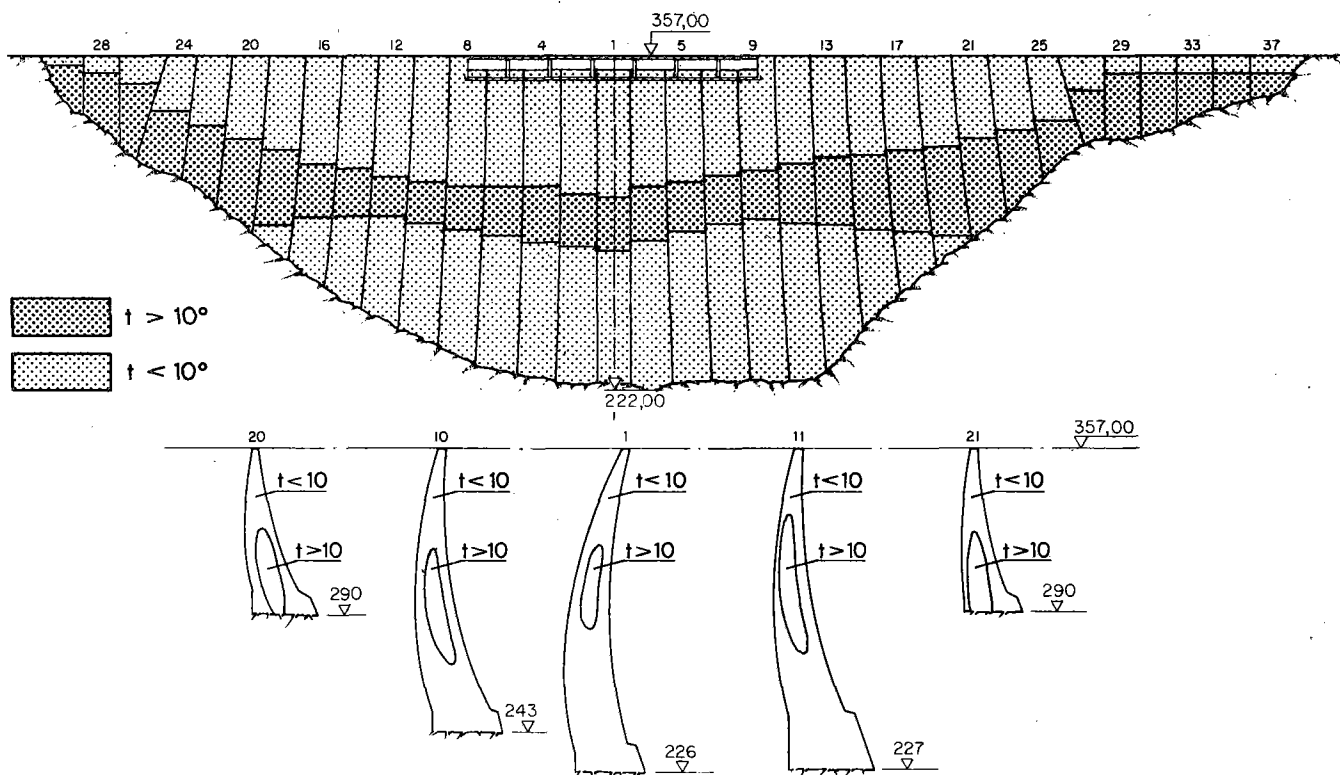


Figura 8. Temperaturas medias del hormigón en $^\circ$ C, el 1 de abril de 1980. Isotérmicas correspondientes a los bloques más representativos.

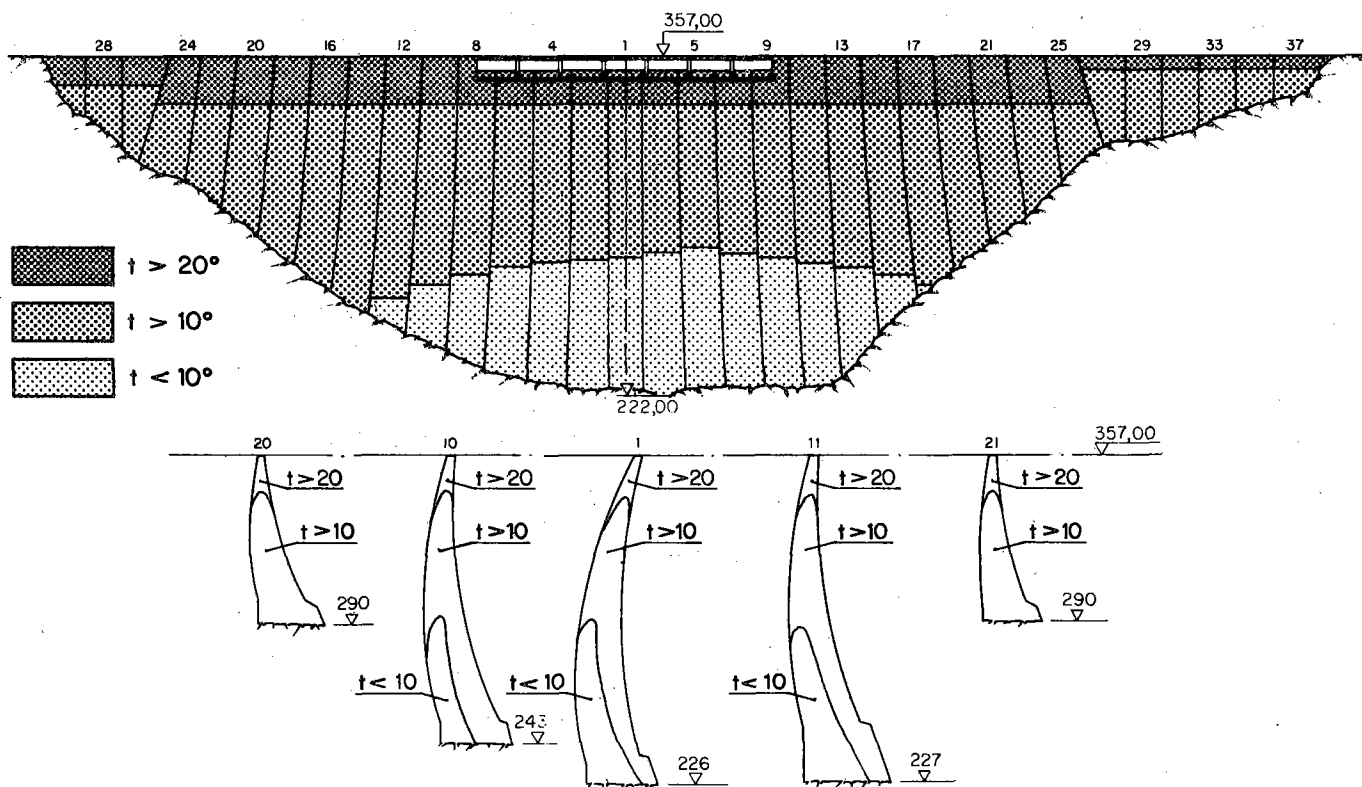


Figura 9. Temperaturas medias del hormigón en $^\circ$ C, el 1 de octubre de 1980. Isotérmicas correspondientes a los bloques más representativos.

EL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE SUSQUEDA DURANTE EL PRIMER DECENIO

correspondientes a las temperaturas ambientales, sino que están diferidos respecto a ellos; en general vienen a coincidir con el final del invierno y con el final del verano.

En las figuras 8 y 9 se representan los estados térmicos de la Presa a finales del decenio, en 1-abril y 1-octubre, coincidiendo aproximadamente con el mínimo y el máximo térmico de la estructura.

Fácilmente se comprende que esta acción de carácter cíclico va estrechamente ligada a aque-

lla otra de la carga hidráulica, de las que se obtienen siempre efectos conjuntos en la estructura. Deslindar el alcance cuantitativo parcial de los mismos constituye un problema cuya resolución objetiva será siempre dificultosa.

3.4 Movimientos sísmicos

3.4.1 La sismicidad regional

El emplazamiento de Susqueda se encuentra ubicado en la denominada zona Olotina, región

NUMERO
DE REGISTROS
ENTRE 0 Y 300 Kms

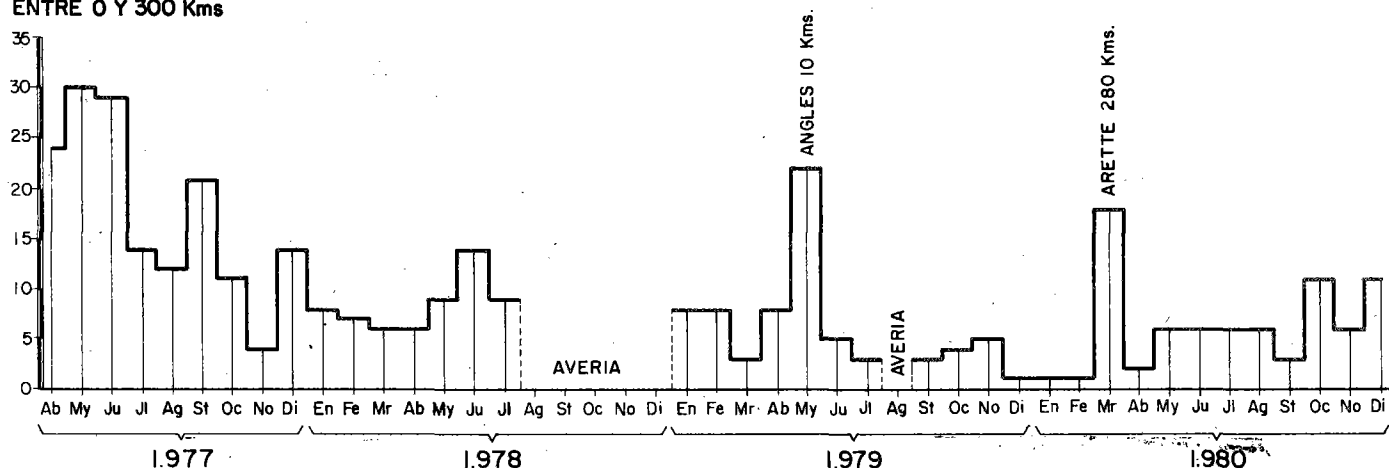


Figura 10. Frecuencias de la distribución temporal de los registros sísmicos en Susqueda obtenidos en los últimos años del decenio.

NUMERO
DE REGISTROS

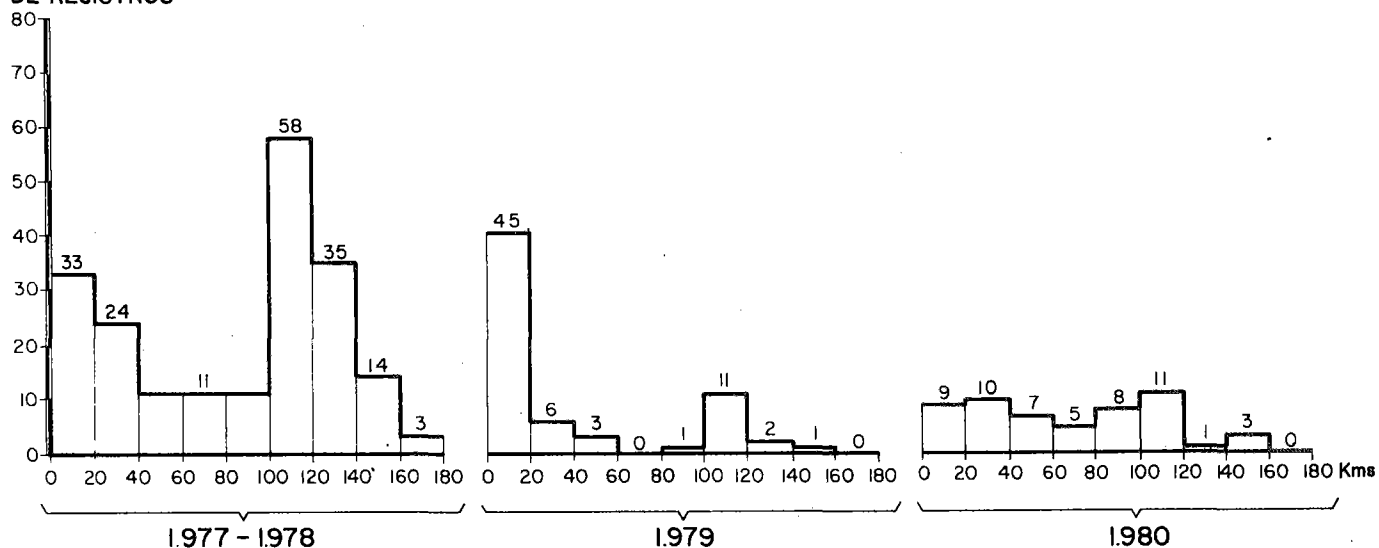


Figura 11. Frecuencias de la distribución espacial de los registros sísmicos de Susqueda obtenidos en los últimos años del decenio.

sísmica de especial interés dentro de la Península Ibérica; la configuración de su estructura geológica, aún sujeta a particulares acomodaciones tectónicas, la convierten en una fuente continua de respuestas sísmicas. En este sentido resulta obligado recordar que en los años 1427 y 1428 las series de terremotos, acompañados incluso de vulcanismo, provocaron la total destrucción de numerosos pueblos de la comarca, ocasionando centenares de víctimas; hechos sobre los cuales hoy día no se ha reflexionado lo suficiente.

Durante los primeros años de la puesta en servicio de la Presa, Hidroeléctrica de Cataluña, S. A. se propuso establecer en Susqueda una instalación para cubrir los dos aspectos de vigilancia sísmica: El control de la sismicidad local y el control de sus efectos dinámicos sobre la estructura. De esta forma en 1977 se instaló un sismógrafo cuya finalidad era registrar los sismos cuyo epicentro se encontrara en el área de influencia regional del embalse.

El equipo en cuestión se instaló a unos 300 m de la Presa, y durante los años siguientes fue registrando episodios cuya distribución temporal y espacial se representa en los gráficos de las figuras 10 y 11. Conviene advertir que durante 1977 el sismógrafo tenía una amplificación doble que en muchos posteriores por lo que resultó mayor el número de registros; dicha amplificación no pudo mantenerse al saturarse las señales de sismos próximos con magnitudes bajas.

De la observación de tales gráficos se deduce una cierta continuidad e insistencia de la actividad sísmica en la comarca, actividad que parece intensificarse en un radio de 20 km sobre

la propia Presa. No obstante todos estos registros destacan por su baja magnitud, por debajo del grado 2 Richter, con la excepción de los ocurridos en el mes de mayo de 1979, con epicentro en Anglés, a sólo 10 km de la Presa, donde se registraron una serie de sismos, alguno de los cuales alcanzó la magnitud 3,5.

Del fenómeno de la sismicidad inducida no se ha tenido en Susqueda evidencia alguna, por lo que, dado lo avanzado de su fase de explotación, no es probable que se manifieste.

3.4.2 Los registros dinámicos de la estructura

Tratan de obtener en primer lugar los datos correspondientes a las direcciones e intensidades de las aceleraciones que aquellas incidencias sísmicas transmiten a la estructura a lo largo del tiempo; para ello se han instalado 4 acelerógrafos distribuidos por la coronación y zócalo de la Presa. En segundo lugar tratan de recoger los desplazamientos que hubiera experimentado la estructura como consecuencia de las mencionadas aceleraciones; para ello se ha instalado una unidad de registro de vibraciones en la zona superior de la sección central, en la galería G-1.

Todas las medidas de estos aparatos vienen registradas según tres componentes ortogonales referidas al sistema de ejes de la estructura. Además todos estos aparatos están sincronizados a fin de que su eventual funcionamiento sea simultáneo.

En la figura 12 se indica la situación del con-

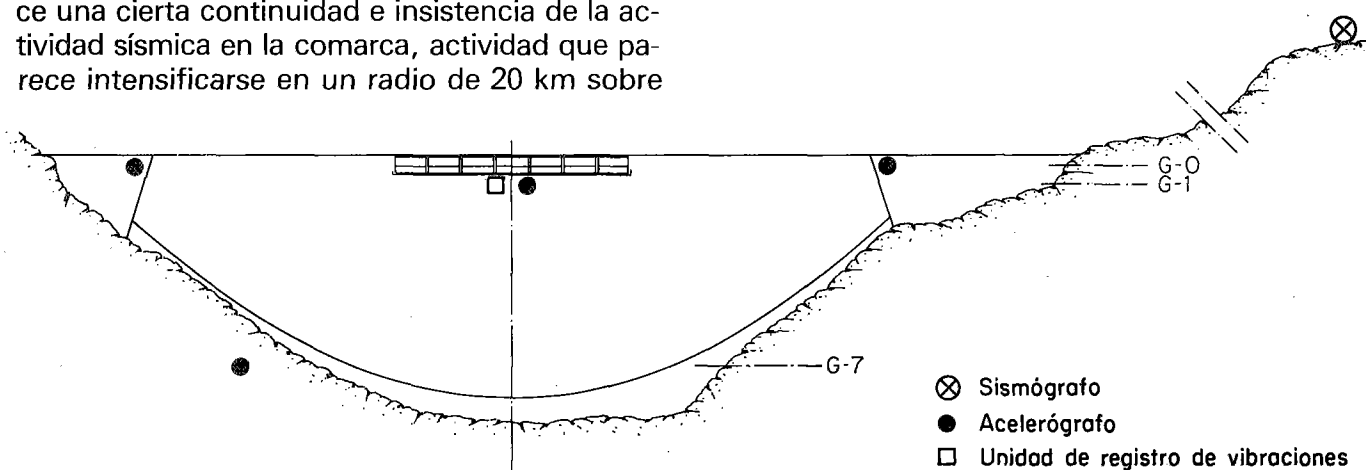


Figura 12. Situación de las diferentes unidades de registro para la vigilancia sísmica de la Presa.

junto de todos estos aparatos que componen la instrumentación de la vigilancia sísmica de la Presa.

repartidos por todo el cuerpo de la bóveda, situados muy próximos a los paramentos 70-80 cm, aunque concentrados sobre el contorno de la cimentación. Se colocaron bien aislados; bien en grupos de dos, es decir horizontal y vertical; o bien en rosetas de cuatro, o sea horizontal-vertical y a 45°. En todos los puntos de ubicación se acompañó cada grupo de un extensómetro corrector o de tensión nula. Su distribución se indica en la figura 14.

Estos extensómetros suministran deformaciones unitarias; a partir de ellas se deducen las tensiones en paramentos, dada la particular colocación de dichos aparatos. Esta deducción se realiza a través de las ecuaciones que suministra la teoría de la elasticidad. Sin embargo previamente ha sido necesario efectuar en las medidas de aquellos aparatos la corrección por temperatura; ha sido también necesario, en el caso de la disposición de rosetas, ajustar los resultados de aquellas deformaciones de tal forma que la suma de las deformaciones en las dos direcciones ortogonales fuera un invariante; ha sido preciso introducir la tensión de corrección calculada a partir de los datos suministrados por los, anteriormente mencionados, extensómetros de tensión nula; ha sido preciso corregir el efecto de la fluencia; ha sido necesario introducir el parámetro módulo de Poisson; y en fin ha sido también necesario hacer toda una extrapolación para introducir en el proceso de cálculo el hipotético valor del módulo de elasticidad, teniendo en cuenta además su variación media a lo largo del tiempo. Con todo ello se llega a la

Estos aparatos suministran directamente las tensiones que tiene el hormigón en el punto y en la dirección que se hallan instalados. De su lectura es preciso hacer una corrección térmica, normalizada por el fabricante, en función de la temperatura que suministra el propio aparato. Esta corrección térmica normalizada viene en función del módulo de elasticidad del hormigón.

4.2 Obtenidas a través de los extensómetros

224

EL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE SUSQUEDA DURANTE EL PRIMER DECENIO

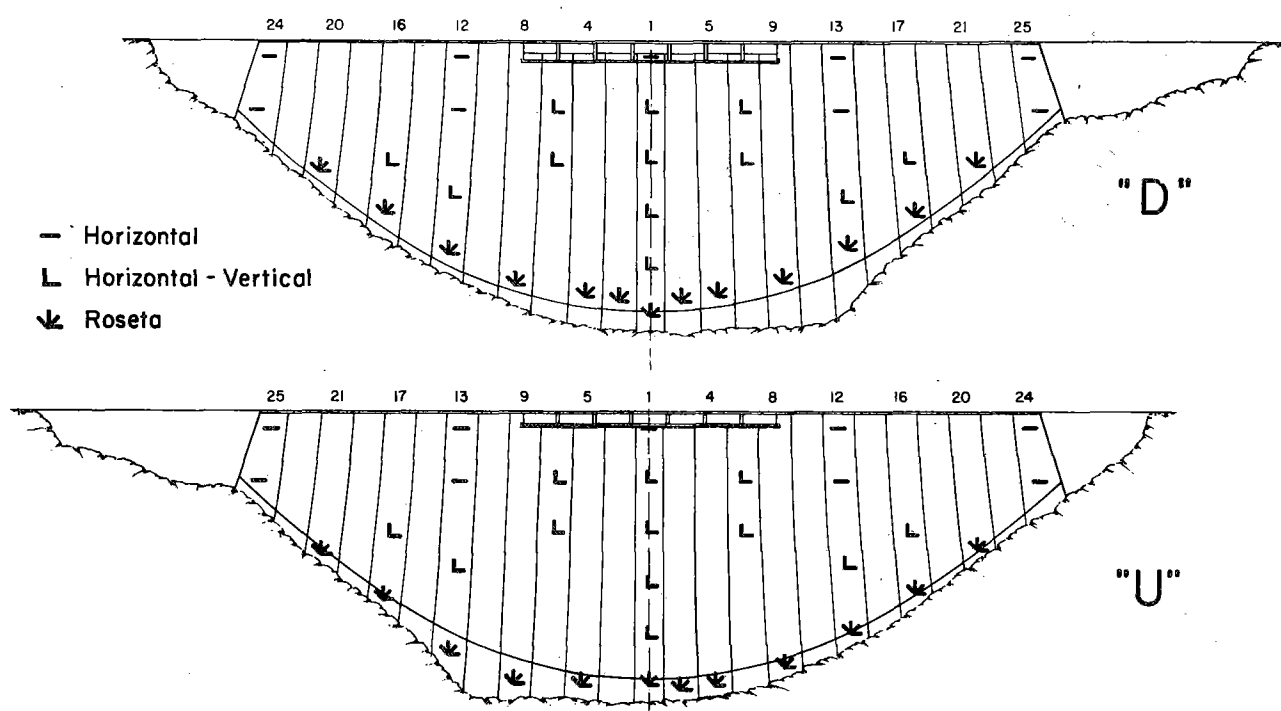


Figura 14. Distribución de los extensómetros en ambos paramentos de la bóveda; colocados a 70-80 cm de la superficie. D, U, paramentos de aguas abajo y aguas arriba respectivamente.

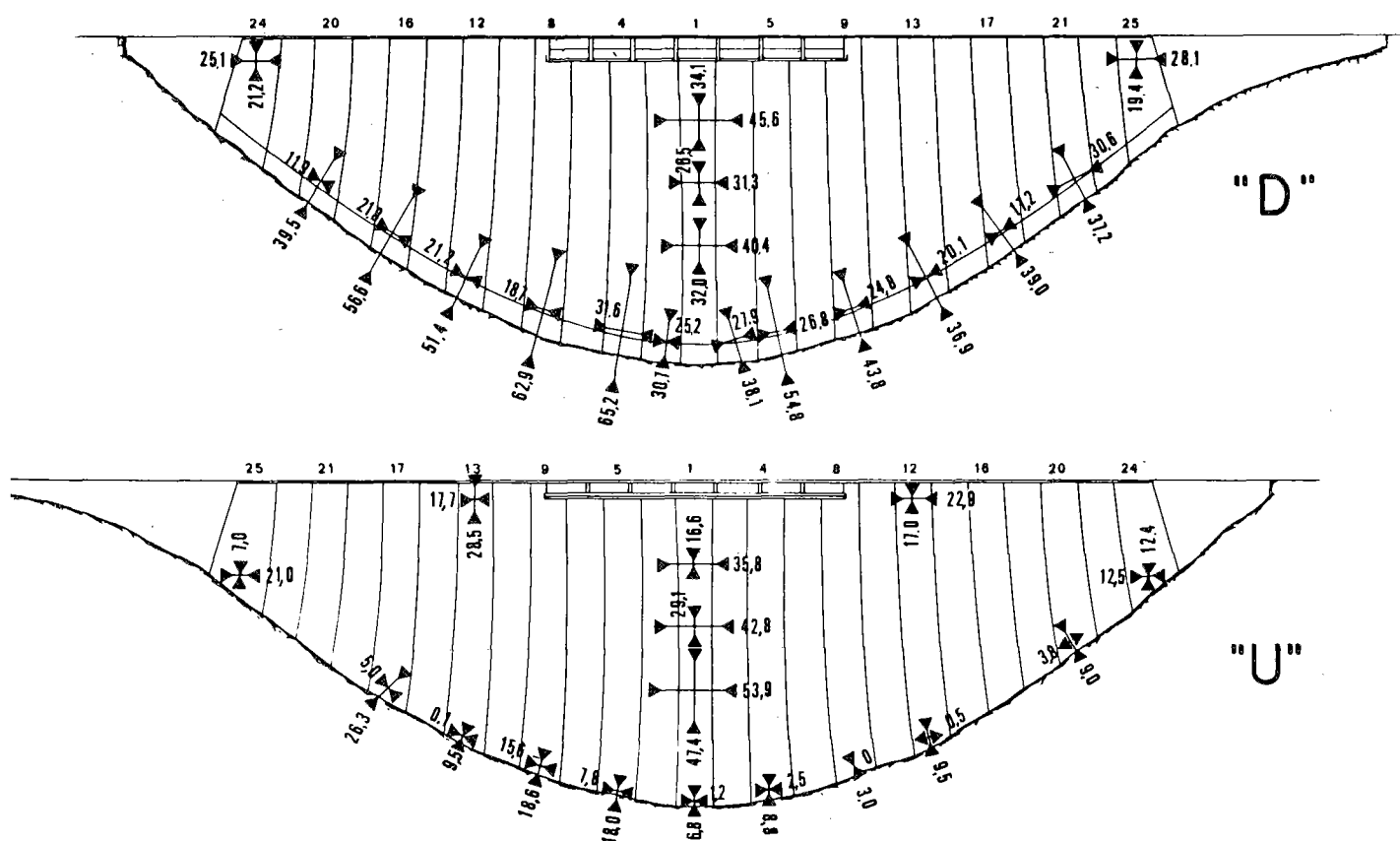


Figura 15. Estado tensional correspondiente a los primeros días de junio de 1969 con el embalse a su cota máxima, 351 m. D, U, paramentos de aguas abajo y aguas arriba respectivamente.

EL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE SUSQUEDA DURANTE EL PRIMER DECENIO

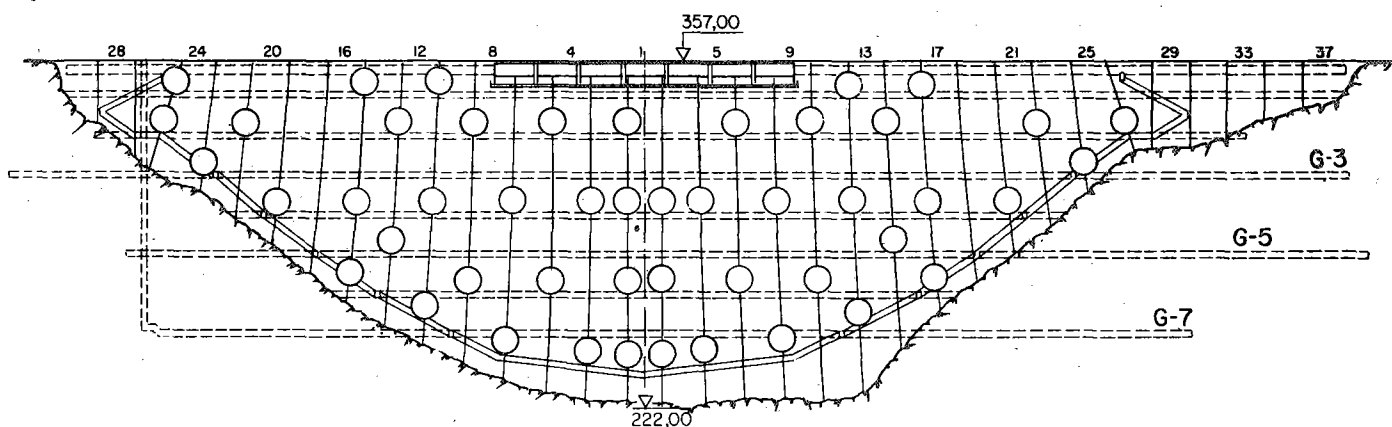


Figura 16. Distribución sobre el cuerpo de la bóveda, de los medidores eléctricos de las aberturas en las juntas de construcción.

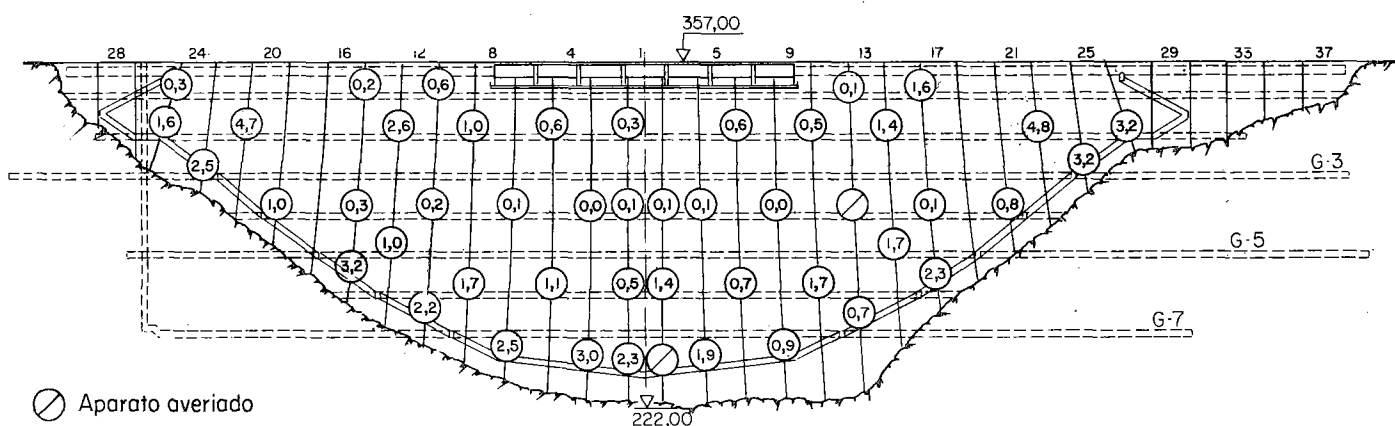


Figura 17. Incrementos en mm de las aberturas de las juntas hasta el momento de su inyección en el primer trimestre de 1968.

deducción de las tensiones principales y su orientación sobre los paramentos de la Presa (1).

En la figura 15 se representan sobre ambos paramentos los resultados de las tensiones principales con el embalse lleno y en el mes de junio de 1969.

Pues bien hay que señalar finalmente que después de todos estos inconvenientes que presenta este análisis de las tensiones sus resultados responden siempre a la acción simultánea de la carga hidráulica y la temperatura, lo que hace todavía más compleja su interpretación.

(1) Los pormenores de todo este proceso de cálculo se expusieron en el libro «La Presa bóveda de Susqueda», editado por el Instituto Eduardo Torroja, Madrid, 1972.

4.3 Utilidad y limitaciones de estos análisis

Al reflexionar sobre las diversas etapas de que constan los procesos del análisis de tensiones en el hormigón, y al considerar los intervalos de error en que se mueven la diversidad de parámetros y funciones que en ellos intervienen, se deduce que los valores que se obtienen para dichas tensiones pueden representar un elevado grado de dispersión, por lo que si se atiende a dicho valor como resultado absoluto es evidente que su interpretación puede llegar a ocasionar notables equívocos sobre el comportamiento de la estructura.

Es por ello por lo que parece más lógico y prudente interpretar estos valores como resultados relativos y en todo caso centrar su análisis

EL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE SUSQUEDA DURANTE EL PRIMER DECENIO

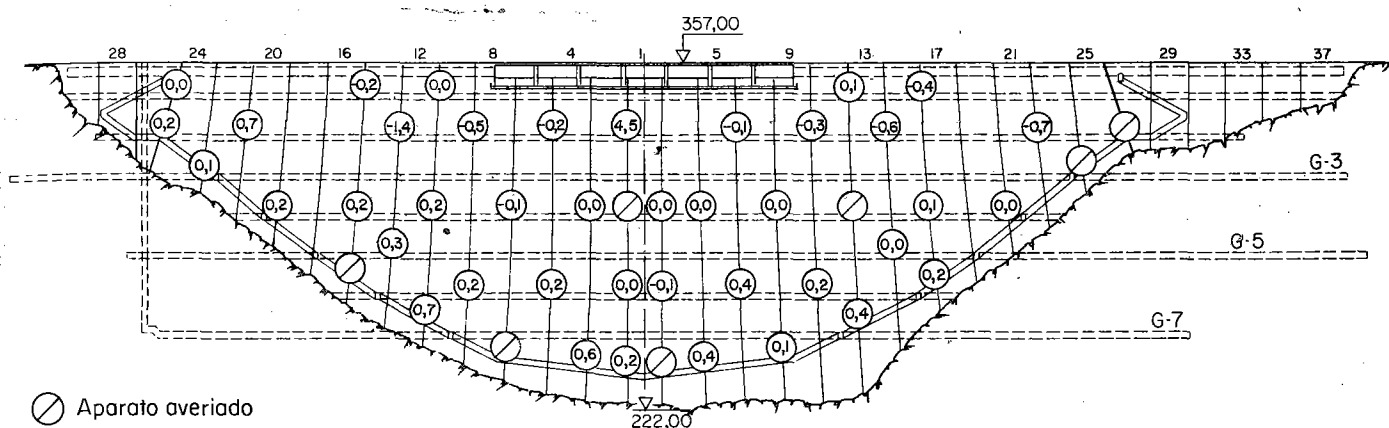


Figura 18. Incrementos en mm de las aberturas de las juntas desde su inyección, en 1968, hasta finales de 1980.

sis sobre la variación que puedan experimentar a lo largo del tiempo. No obstante puede suceder que se presente bien en la estructura, o bien en el macizo rocoso, un hipotético principio de fisuración e incluso de rotura, que desde luego no detectarán bajo ningún aspecto ni la contemplación de los valores absolutos de las tensiones ni la de su variación temporal, debido a que la consecuente redistribución tensional de todo el cuerpo de la Presa no alterará aquellos valores, es decir, se seguirá produciendo un estado tensional concreto. De ahí que el análisis de los valores de las tensiones no podrá tomarse nunca como indicador en la toma de las graves decisiones que puede plantear la responsabilidad de una auscultación como la que aquí se realiza. Y de ahí también que en este caso concreto, una vez transcurridos los primeros años de su puesta en carga, haya quedado relegado este análisis, desde el año 1971, al capítulo de lo meramente académico.

Es por estas razones por las que la auscultación en Susqueda se haya concentrado fundamentalmente, en primer lugar sobre el seguimiento de las acciones exteriores e interiores que han actuado sobre la estructura y macizo de apoyo, y en segundo lugar sobre los consiguientes desplazamientos que aquellas acciones originan, como el único indicador verdaderamente objetivo del comportamiento de la Presa.

5. DESPLAZAMIENTOS EN LA ESTRUCTURA Y MACIZO DE APOYO

5.1 Aberturas en las juntas de construcción

Se controlan a través de medidores eléctricos que, en número de 48, se hallan repartidos por todo el cuerpo de la Presa. En la figura 16 se indica la situación, viniendo colocados aproximadamente sobre el centro de la sección correspondiente.

En el apartado 3.1 se mencionaron algunas incidencias que sobre estas aberturas ocurrieron durante la construcción por efecto del peso propio en determinados bloques.

También en el apartado 3.3.3 se indicó la fecha de la inyección de las juntas, a principios de 1968, precisamente cuando el nivel del embalse y el estado térmico de la estructura lo aconsejaron. En la figura 17 se indican los movimientos de las aberturas hasta el preciso momento de su inyección. Mientras que en la figura 18 se indican esos mismos incrementos desde la inyección de las juntas, origen de dichas medidas, hasta el final del decenio, diciembre de 1980.

El hecho de que estas medidas fueran obtenidas exclusivamente por aparatos eléctricos, que en diversas ocasiones habían resultado averiados, aconsejó en estos últimos años del decenio la implantación sucesiva de bases elongométricas en las juntas para obtener las medidas de las aberturas por medio de comparadores mecánicos, en los que se garantizaba un error de lectura inferior a 1/10 mm. De esta forma se ha

EL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE SUSQUEDA DURANTE EL PRIMER DECENIO

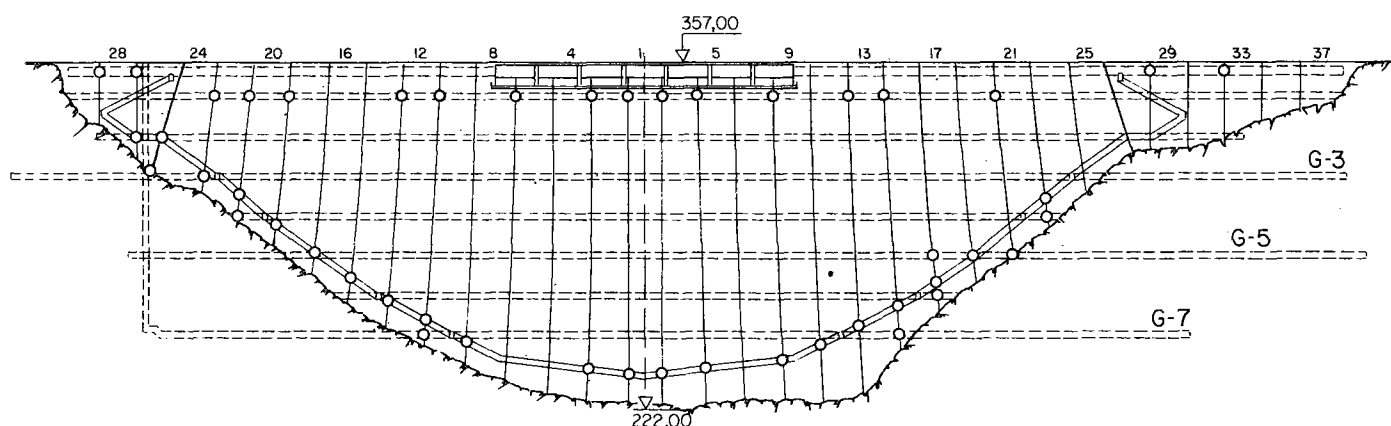


Figura 19. Distribución, sobre la bóveda y estribos, de las bases elongamétricas para el control de las aberturas de las juntas por medio de comparadores mecánicos.

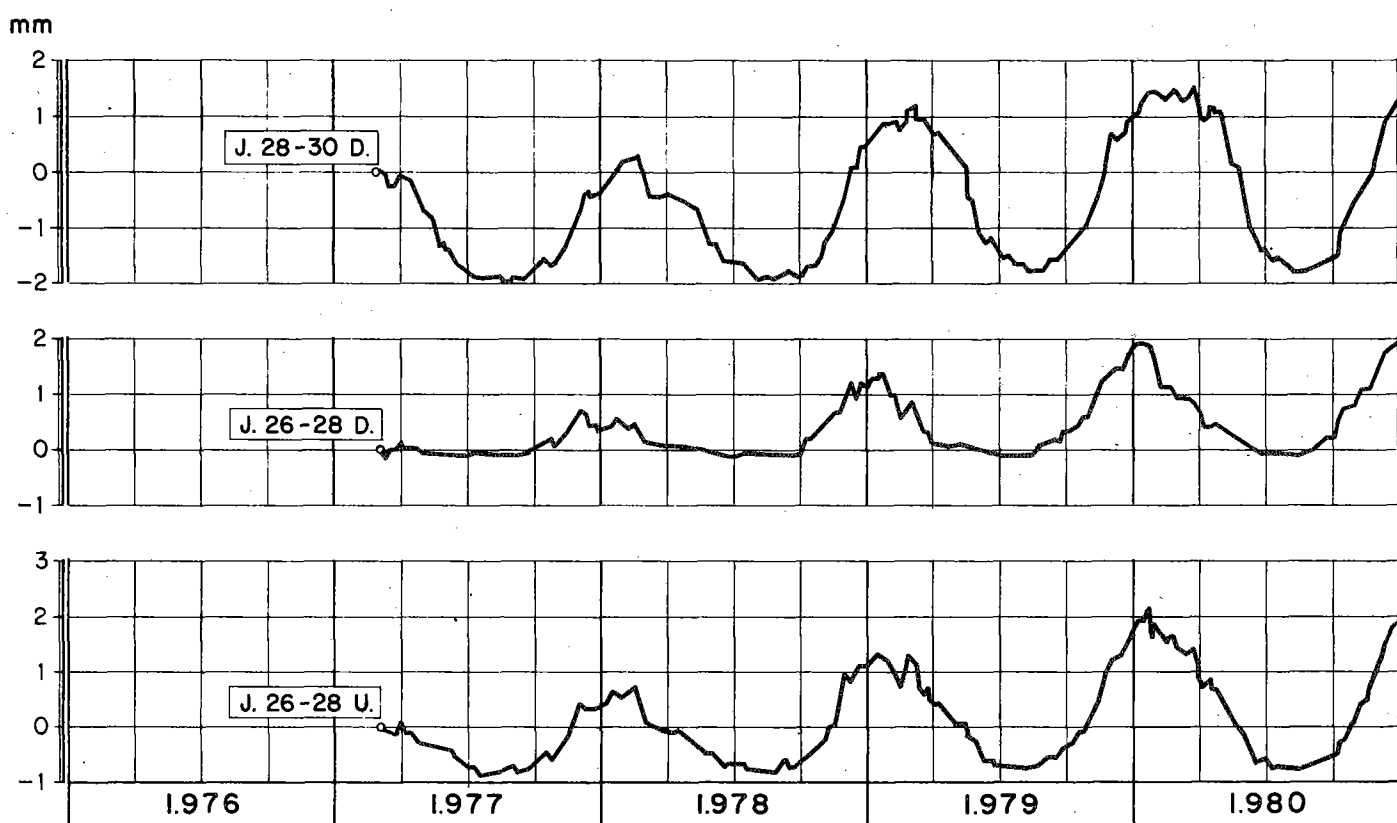


Figura 20. Evolución de las aberturas de algunas juntas del estribo derecho, situadas a la altura de la galería G-0, obtenidas por medio de comparadores mecánicos.

llegado a cubrir con dichas bases todo el contorno de la galería perimetral y la galería 1, es decir todo el contorno de la estructura, colocando algunas de ellas incluso en la zona superior de los estribos. En la figura 19 viene señalada la posición de estas bases sobre un alzado desarrollado de la Presa.

Los resultados obtenidos durante los últimos cuatro años del decenio en las aberturas de las juntas a través de las medidas de la elongación en las referidas bases han estado dentro de un intervalo de $\pm 0,5$ mm. Hay que exceptuar los resultados de los estribos. En las figuras 20 y 21 se detalla la evolución de dichas aberturas

EL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE SUSQUEDA DURANTE EL PRIMER DECENIO

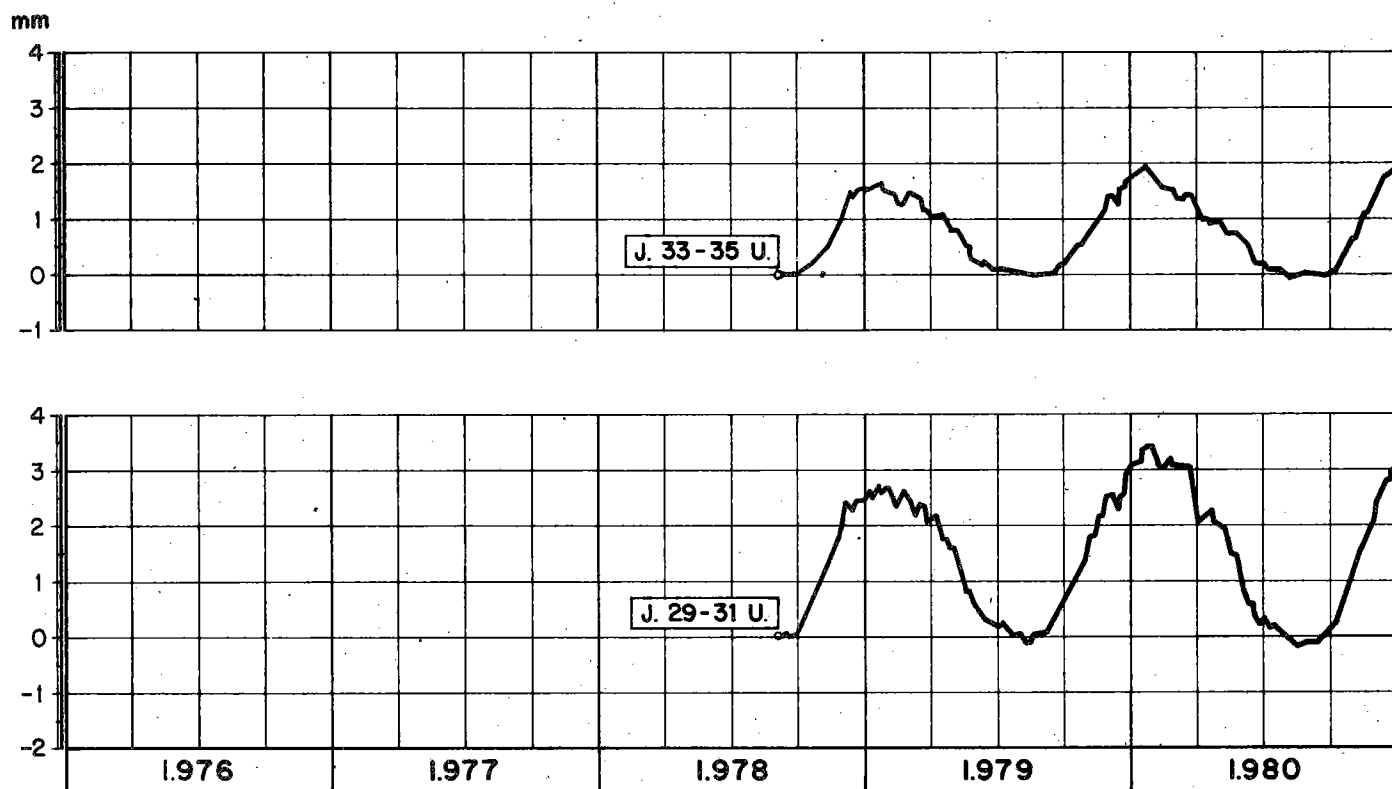


Figura 21. Evolución de las aberturas de las juntas, del estribo izquierdo, situadas a la altura de la galería G-0, obtenidas por medio de comparadores mecánicos.

en la zona alta de los estribos, tanto en las posiciones de aguas arriba como de aguas abajo, observando como los valores que suministran parecen responder exclusivamente a la acción de los ciclos términos ambientales.

Hay que remarcar también que se ha echado de menos la posibilidad de haber instalado los medidores eléctricos, al menos en algunos puntos de la zona central, en grupos como mínimo de tres: aguas arriba, centro y aguas abajo; con lo que se habría podido analizar el efecto rótula de las primeras superficies de las juntas, especialmente en aquellas épocas en que el embalse alcanza niveles muy bajos y la estructura se desplaza hacia aguas arriba intentando recuperar el cero inicial de sus desplazamientos.

5.2 Caudales en la pantalla de control de movimientos

Esta pantalla está formada por una serie de taladros realizados desde la galería perimetral y penetrando 40 m en la roca; son normales a la cimentación, con una inclinación de unos 30°

hacia aguas arriba, y van dispuestos a razón de uno por cada dos bloques.

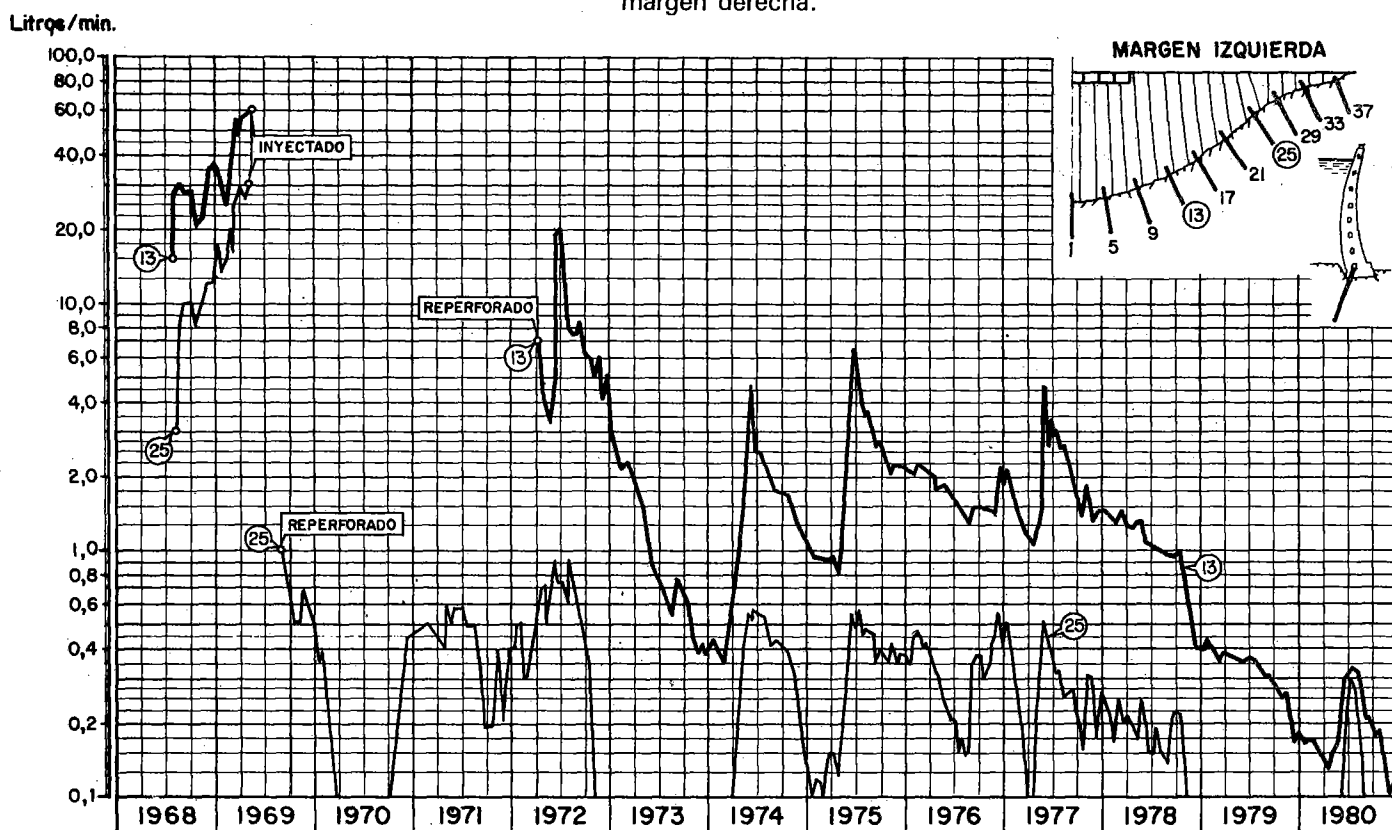
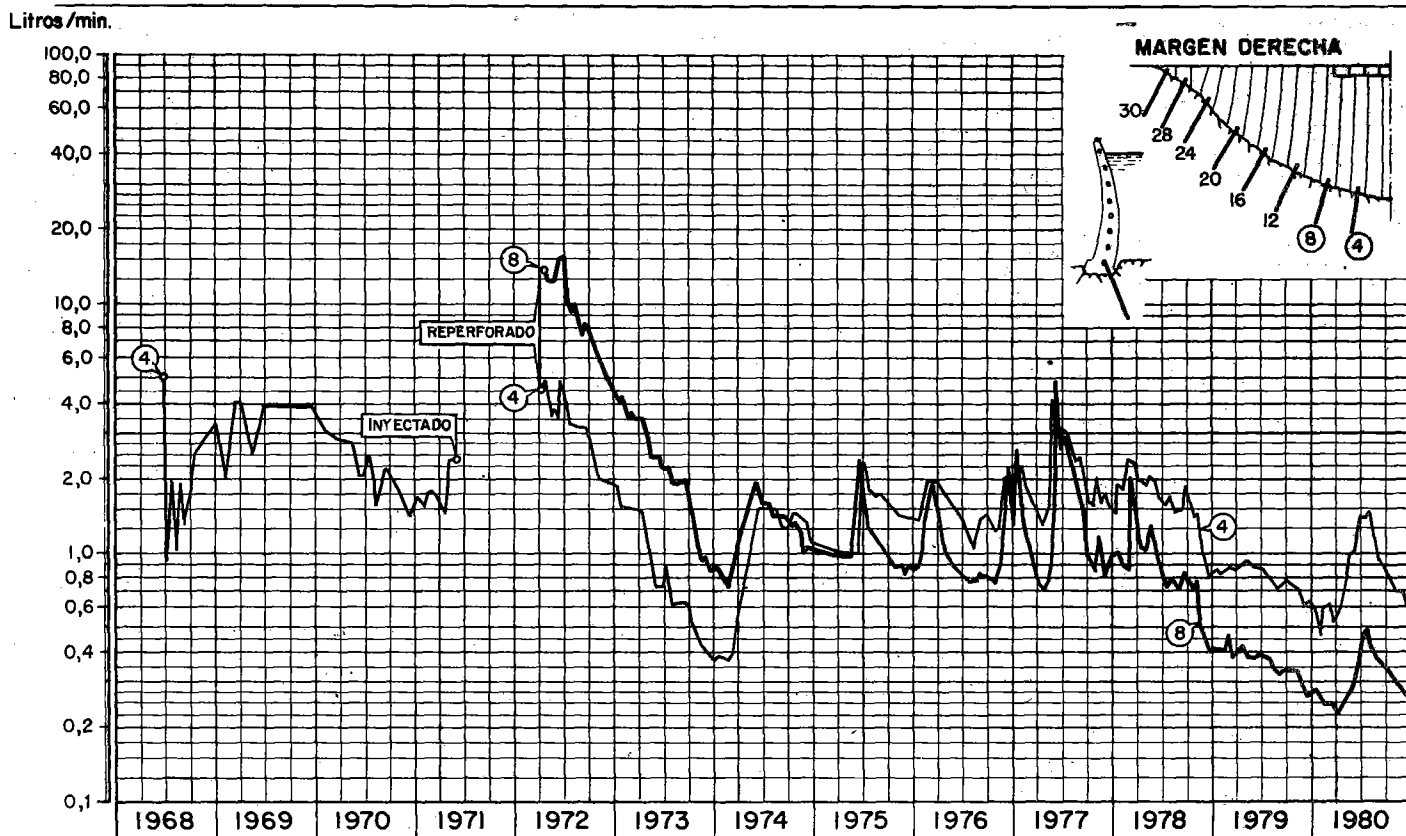
Tiene por finalidad detectar cualquier inicio de fisuración o rotura, progresivo o brusco, en el pie de aguas arriba, en la zona de influencia zócalo-roca. El registro de esta anomalía está encomendado al control de la variación de los caudales que suministran dichos taladros, dada su relación directa con las eventuales aberturas en los posibles procesos de fisuración o fracturación.

En las figuras 22 y 23 se representan algunos gráficos correspondientes a los taladros que suministran los caudales más característicos en ambas márgenes. No sólo no se advierte ninguna variación brusca en dichos caudales, sino que éstos guardan una normal concordancia con la curva de embalse.

5.3 Desplazamientos según el plano horizontal

Estas medidas están suministradas por la auscultación geodésica, por los péndulos y por las

EL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE SUSQUEDA DURANTE EL PRIMER DECENIO



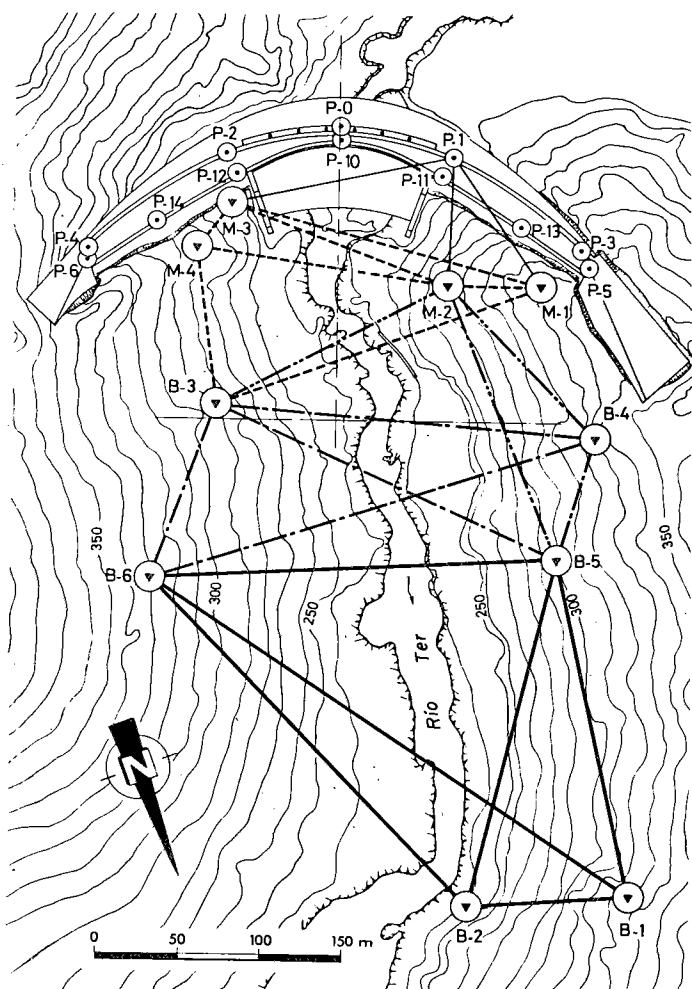


Figura 24. Esquema general de la auscultación geodésica. B, bases fijas; M, bases móviles; P, puntos de control en el cuerpo de la Presa.

colimaciones que se realizan en el interior de las galerías de drenaje.

La auscultación geodésica se realiza desde bases exteriores sobre puntos de control colocados en la estructura. Estas bases exteriores están situadas aguas abajo de la Presa y son de dos tipos: unas, más alejadas, consideradas fijas, en número de 6, y otras más cercanas, consideradas móviles, en número de 4. Desde estas últimas se observan por trisección los 11 puntos de control que barren todo el contorno de la estructura. En la figura 24 se sitúan todos estos elementos sobre un plano topográfico de la zona de emplazamiento de la Presa.

Existen por otro lado tres péndulos directos

instalados dentro del cuerpo de la bóveda y cuyo esquema de instalación está reflejado en la figura 25. Al mismo tiempo desde el interior de las galerías de drenaje, alguna de las cuales penetra hasta un centenar de metros en la roca, se ha situado toda una cadena de puntos de colimación considerando como referencia fija una base ubicada en el final de dichas galerías. Como quiera que estas cadenas de colimación van completadas con las correspondientes cadenas de nivelación, se tienen así establecidos dentro de estas galerías unos auténticos «péndulos horizontales».

Pues bien, el origen cero de las medidas organizadas con todos estos procedimientos se estableció hipotéticamente en el momento en que se había concluido prácticamente el hormigonado del cuerpo de la Presa, lo que ocurrió en el tercer trimestre de 1967. A partir de esa época se estableció un embalse parcial cuya ac-

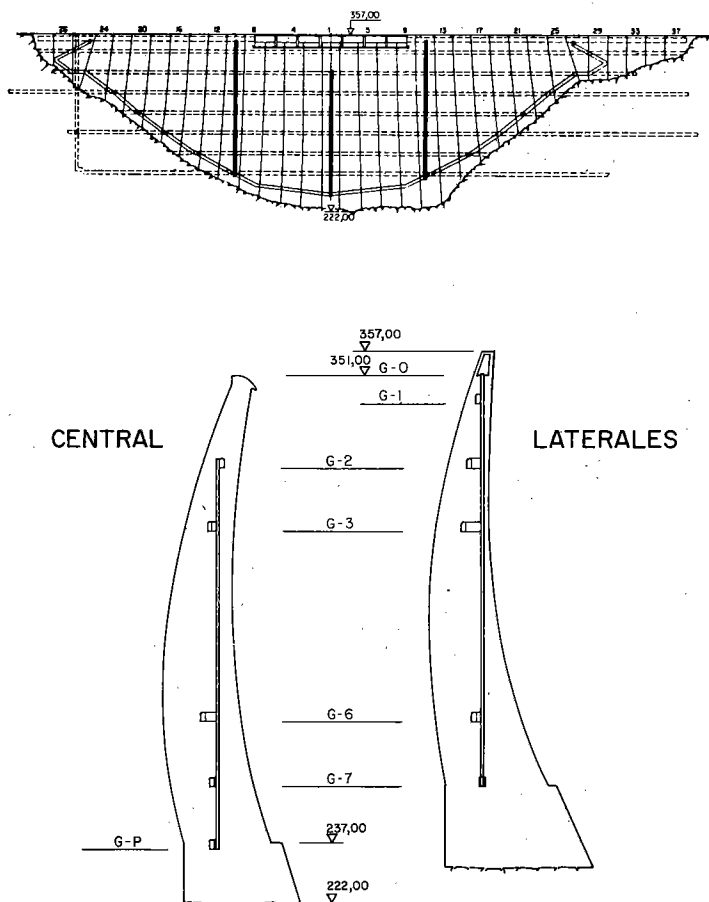


Figura 25. Esquema general de la instalación de los tres péndulos en el cuerpo de la bóveda.

EL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE SUSQUEDA DURANTE EL PRIMER DECENIO

ción provocó los primeros desplazamientos en la estructura que fueron oportunamente registrados a través de puntos de control provisionales, situados sobre la cota 295 m. Como quiera que hasta mediados del siguiente año 1968 no pudieron instalarse los péndulos ni los puntos de control en la coronación para la auscultación geodésica, fue necesario referir su primera medida a estos desplazamientos previos, que ya habían sido registrados en la estructura, a través de una simple exploración. De esta forma el origen de tales medidas, que se produjo sobre las lecturas 6 y 7, quedó incorporado a la lista iniciada desde el cero absoluto de todas las observaciones.

Con esta pauta, durante este decenio considerado, se fueron analizando un gran número de medidas a través de la auscultación geodésica, los péndulos, las colimaciones de galerías y también de todas las nivelaciones establecidas a las que más adelante se hará referencia. En ocasiones se han realizado todas ellas simultáneamente coincidiendo con las cotas más

características del embalse por lo que a estas lecturas más representativas se les ha dado una numeración correlativa que viene expresada sobre la curva de embalse en la figura 1, contabilizándose así en el decenio un total de 66 lecturas de este tipo.

Al considerar todas estas medidas, es decir, todos los desplazamientos que ha experimentado la estructura y el cimiento, es preciso señalar que han sido debidas a la acción simultánea de la carga hidráulica y el efecto térmico. Para intentar analizar por separado el alcance de cada uno de ellos, se ha recurrido a observar estos desplazamientos partiendo de situaciones fijas para la carga hidráulica, es decir observando los diferentes desplazamientos que se producen en las también diferentes ocasiones en que el embalse ha mantenido una misma cota; las coordenadas de los desplazamientos así contemplados, de cada punto observado en la Presa, formarán un conjunto de puntos cuya envolvente exterior dará lugar al «área de desplazamientos» correspondiente al punto en

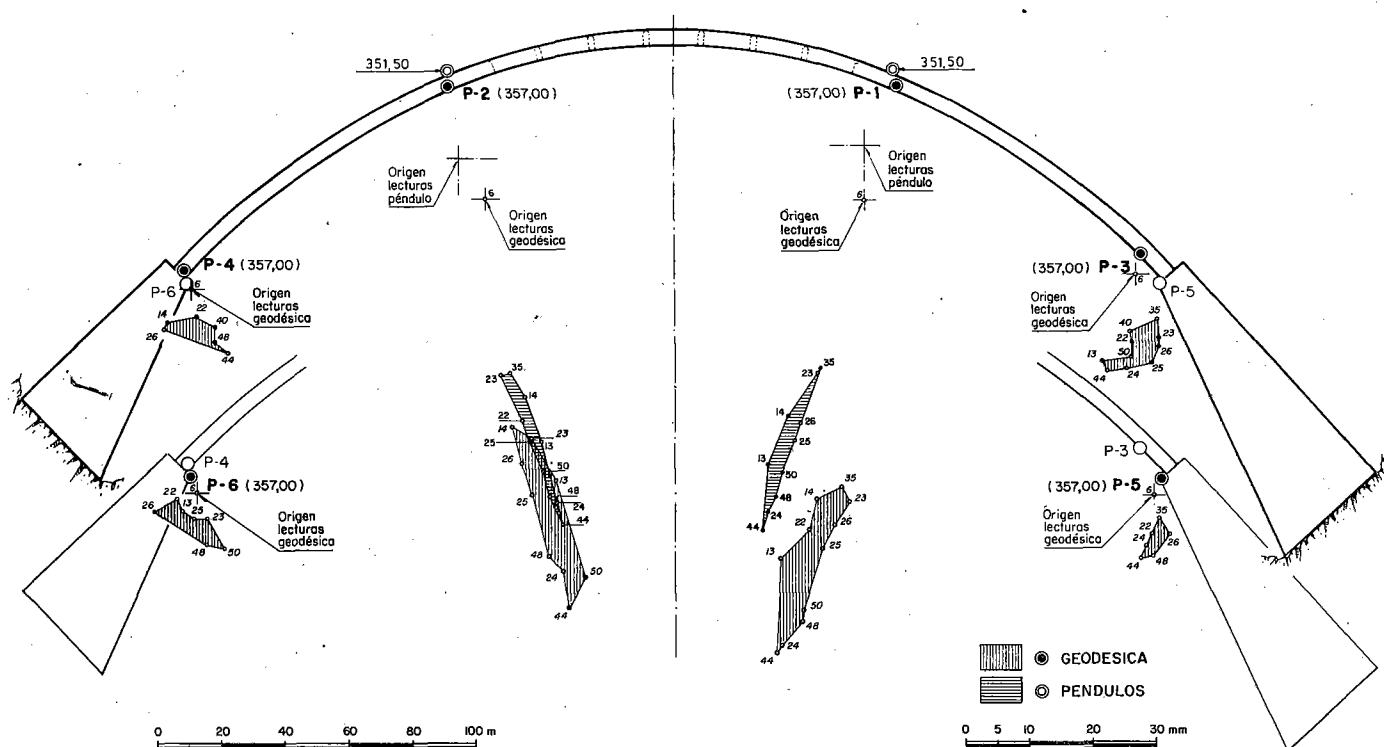


Figura 26. Areas de desplazamientos en el arco de coronación, 357 m, bajo carga constante del embalse a su cota máxima, 351 m. Dichas superficies responden a los intervalos dentro de los cuales se mueven los diferentes puntos observados de la Presa, fundamentalmente por el efecto térmico y en mucho menor grado por el efecto de remanencia, que va acumulando paulatinamente desplazamientos irreversibles.

EL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE SUSQUEDA DURANTE EL PRIMER DECENIO

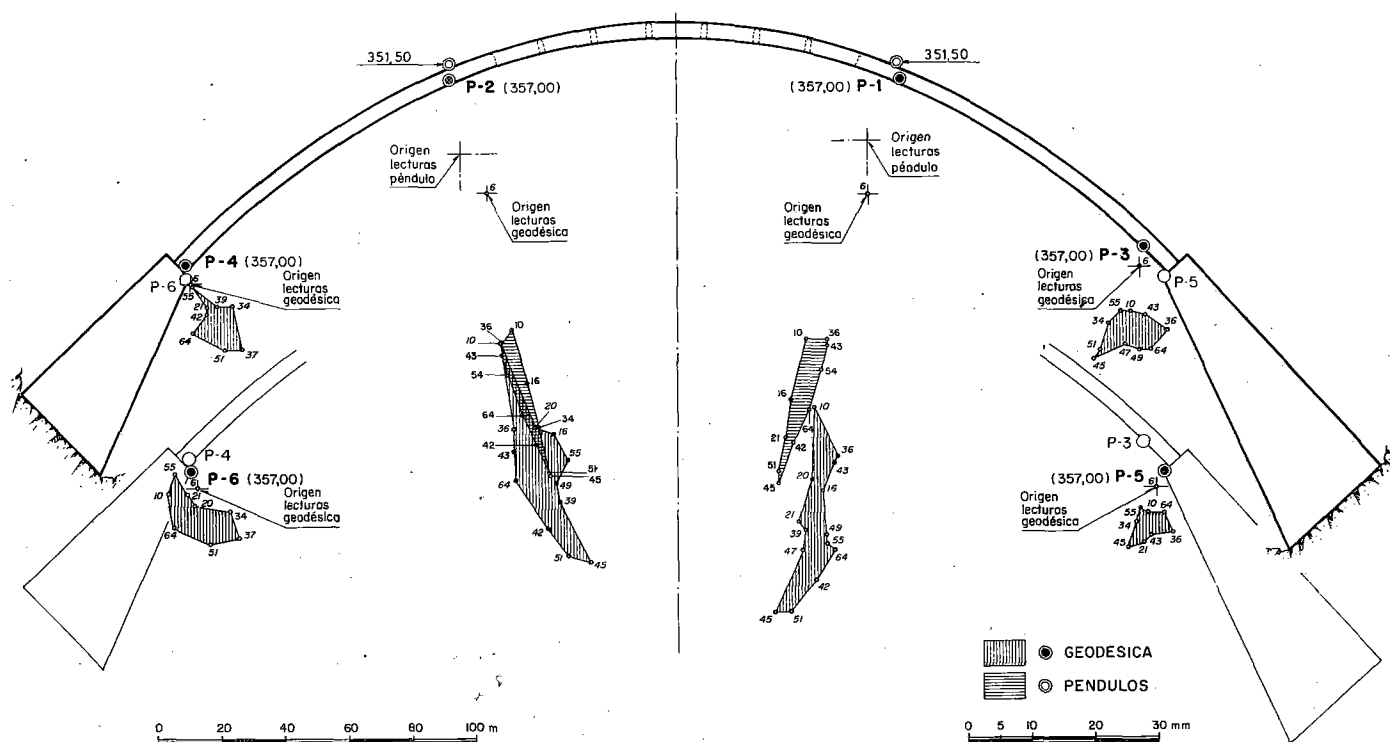


Figura 27. Areas de desplazamientos en el arco de coronación, 357 m, bajo carga constante del embalse a la cota 340 m. Al comparar estos resultados con los de la figura 26 se observa la importancia que adquiere el efecto térmico a medida que desciende el nivel del embalse, ya que aquellas áreas de desplazamientos van presentando intervalos de mayor amplitud.

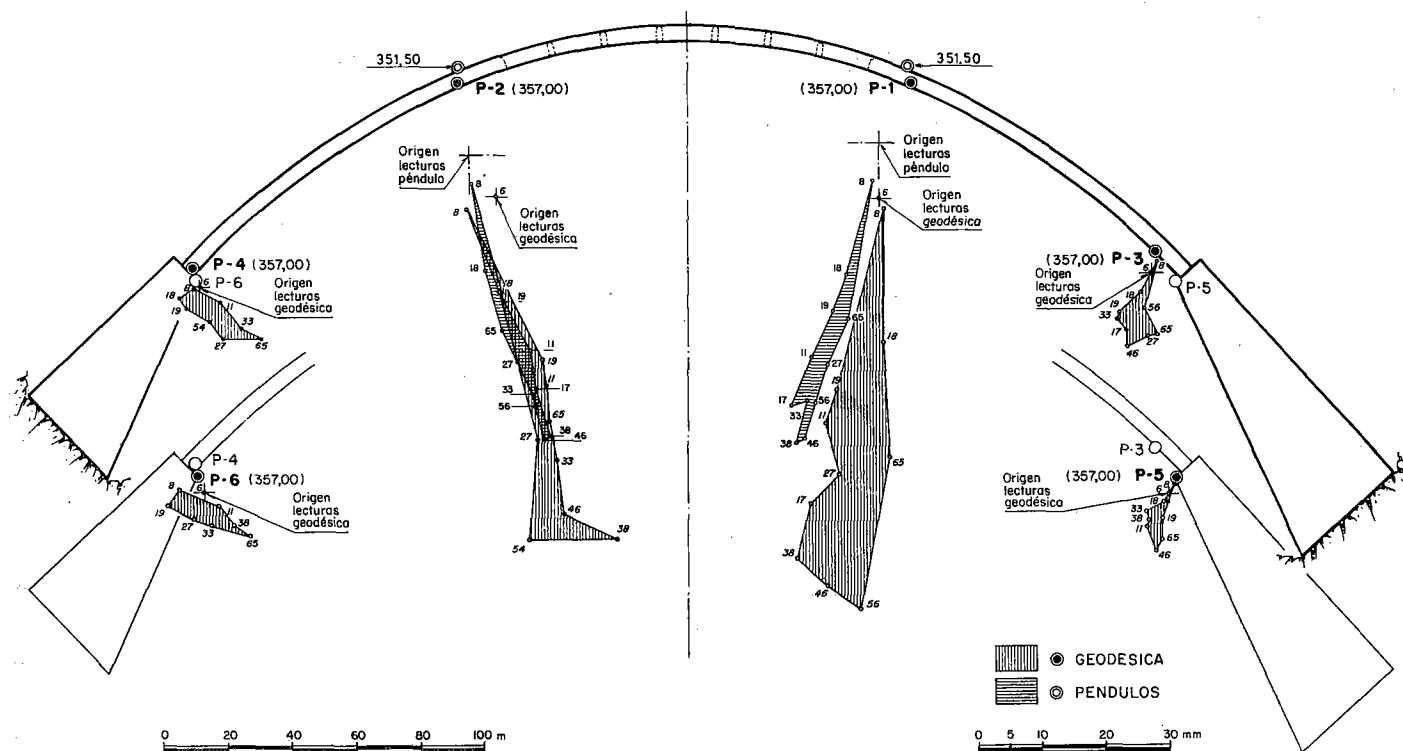


Figura 28. Areas de desplazamiento en el arco de coronación, 357 m, bajo carga constante del embalse a la cota 330 m. Es patente la mencionada importancia y amplitud del efecto térmico. En este sentido resulta curioso resaltar cómo los desplazamientos máximo que adopta la estructura son del mismo orden que aquellos que presentaba con el embalse a la cota 351 m, figura 26; y sin embargo la integral total de la carga hidráulica ha descendido, hasta la cota 330 m, exactamente un 37 por 100.

cuestión y a la cota de embalse estudiada. Dichas áreas de desplazamiento serán los intervalos de los desplazamientos debidos al efecto térmico, puesto que dicho efecto mantiene una actuación de carácter cíclico-anual, mientras que el desplazamiento por carga hidráulica sería en principio un vector fijo.

Esto no es rigurosamente exacto, pues en dichos desplazamientos están también incluidos aquellos otros de carácter irreversible, si bien por movimientos no recuperables en la roca de apoyo, bien por deformaciones remanentes debidas a la fluencia en la estructura o cimiento, y a la fatiga experimentada en los propios ciclos de carga-descarga.

No obstante valdrá la pena contrastar en qué orden de magnitud se mueven estos conceptos. Con esta idea en las figuras 26, 27 y 28 se representan los desplazamientos del arco de coronación 357 m, con la carga hidráulica a la cota de máximo embalse, 351 m; a la cota de embalse 340 m; y a la cota de embalse 330 m, respectivamente. Los desplazamientos de dicho arco van referidos por un lado a los puntos P-1 a P-6 de la auscultación geodésica, situados sobre la misma cota de coronación; y por otro lado a los dos péndulos laterales, anclados a la cota 351,50 m. En todos los casos se han dibujado las anteriormente denominadas áreas de desplazamientos.

Lo primero que sorprende al analizar todos

estos valores es comprobar cómo los desplazamientos máximos suministrados por cada uno de aquellos puntos de control son prácticamente del mismo orden a pesar de que el embalse tenga cotas muy diferentes en los tres casos considerados, equidistantes 11 y 21 m desde la cota 351 m. Concretamente los desplazamientos mayores, que los suministra el P-1, dan valores máximos muy similares en cada uno de los tres casos anteriores: 9,1, 8,6 y 8,3 cm respectivamente. Es decir, la influencia del efecto térmico se compensa progresivamente con la carga hidráulica a medida que el embalse baja de nivel, o sea que el agua sobre el paramento de aguas arriba actúa claramente de cobertura térmica sobre la estructura.

A continuación resulta interesante comprobar como el efecto térmico en el caso del embalse a la cota 351 m, tendría un intervalo medio de desplazamientos de ± 15 mm en los puntos P-1 y P-2; en el caso del embalse a la cota 340 m este intervalo aumenta a ± 18 mm; y finalmente en el caso del embalse a la cota 330 m este intervalo salta a ± 30 mm. Por lo que puede intuirse que a embalse vacío este efecto térmico puede llegar a alcanzar ya cierta consideración.

Los desplazamientos totales en los puntos situados en los arranques del arco y en los estribos, no resultan nunca superiores a los 2 cm, siendo la amplitud de su intervalo térmico del

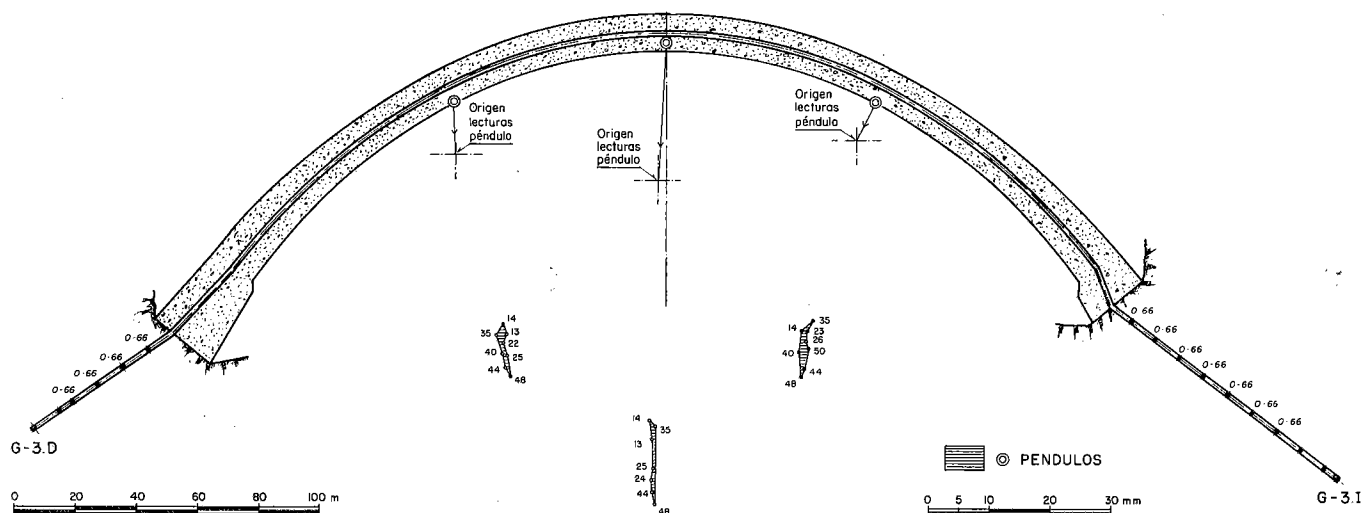


Figura 29. Areas de desplazamientos en el arco de la cota 313 m, bajo carga constante del embalse a su cota máxima, 351 m.

EL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE SUSQUEDA DURANTE EL PRIMER DECENIO

orden de 1 cm. No se advierte comportamiento diferencial entre estas zonas extremas del arco con los propios estribos.

Hay que señalar las ligeras disimetrías existentes entre los desplazamientos del P-1 y P-2; sin duda por el desigual comportamiento del macizo rocoso de la margen izquierda, como más adelante se comprobará. También se debe resaltar el ligero desajuste entre los desplazamientos suministrados por la auscultación geodésica y los péndulos; es preciso notar que estos últimos están instalados 5,5 m por debajo de la coronación, lo que condiciona una diferencia en el módulo de la medida del orden de 5 mm; a su vez hay que notar también que la auscultación geodésica proporciona medidas de carácter absoluto, incluyendo todas las deformaciones del cimient, mientras que los péndulos sólo proporcionan medidas relativas a la estructura y solamente en el cuerpo de la bóveda, excluyendo el zócalo.

Debe quedar constancia también de que el punto P-0, colocado en el eje de la coronación fue necesario suprimirlo por pandeo de la pasarela ante los empujes laterales de la bóveda.

De forma similar en la figura 29 se representan las áreas de desplazamientos del arco de cota 313 m, con el embalse a su máxima cota 351 m. Los desplazamientos en la estructura vie-

nen suministrados por los tres péndulos, dando desplazamientos máximos el central con 7,5 cm, mientras que el efecto térmico se mueve en torno de ± 7 mm. En este caso es interesante señalar cómo las colimaciones en las galerías de drenaje no han detectado ningún movimiento en el macizo rocoso.

En la figura 30 se grafían las áreas de los desplazamientos globales del arco de la cota 282 m, es decir, representando todas las medidas que se han tomado sobre los tres péndulos y los P-13, P-14 de la auscultación geodésica. Resalta lo reducidos que comienzan a ser en estas cotas los módulos de desplazamientos, dada la escasa amplitud de áreas de desplazamiento; sin embargo destacan los notables desplazamientos del P-13 en la dirección tangencial del arco, con un valor máximo de 27 mm, resultados que tratarán de analizarse en el próximo apartado 5.5. Se observa también que los resultados de las colimaciones en las galerías de drenaje están dirigidos hacia aguas abajo no superando el módulo de sus desplazamientos 1 cm; siendo interesante comprobar cómo las deformaciones del cimient se detectan hasta los 30 m de profundidad en la margen izquierda.

De forma totalmente análoga se presentan las reducidas áreas globales de desplazamiento del arco en la cota 251 m, que presenta en la figu-

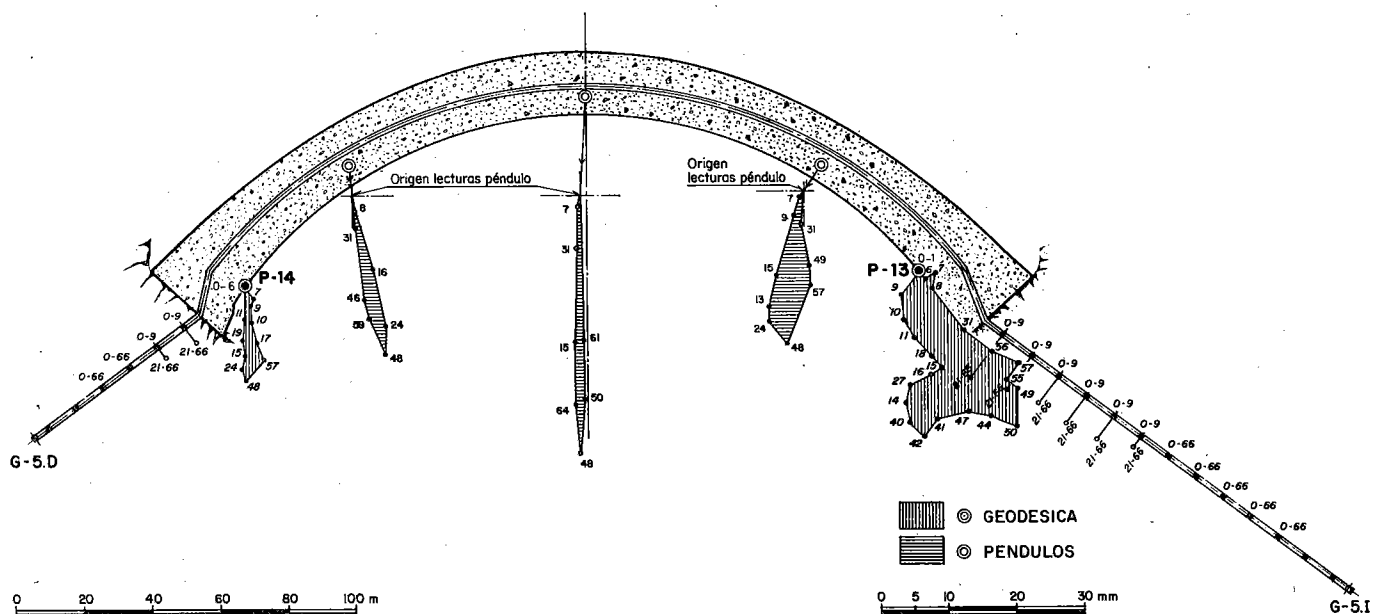


Figura 30. Áreas de desplazamientos globales en el arco de la cota 282 m, bajo todas las acciones que actúan sobre la estructura y macizo de apoyo.

EL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE SUSQUEDA DURANTE EL PRIMER DECENIO

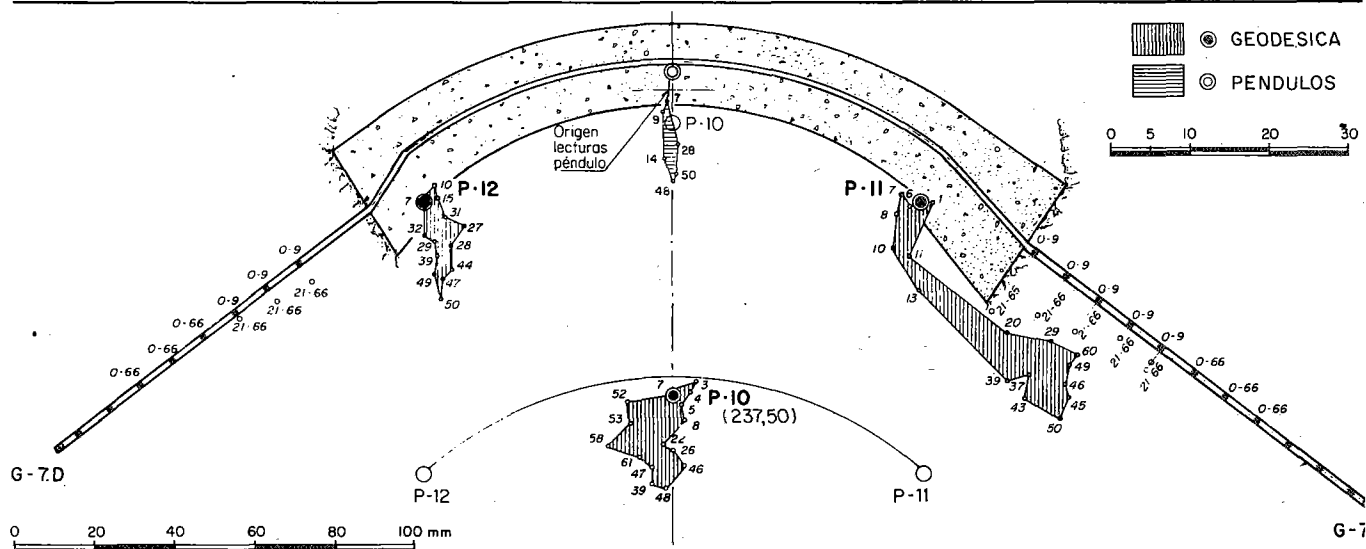


Figura 31. Areas de desplazamientos globales en el arco de la cota 251 m, bajo todas las acciones que actúan sobre la estructura del macizo de apoyo.

ra 31; excepción hecha del punto P-13, unos notables desplazamientos tangenciales hacia el interior del macizo, con un módulo máximo de 31 mm, de cuyo significado se hará un análisis global al final del presente capítulo. Muy simi-

lares resultan los valores de las colimaciones en las galerías de drenaje, donde también en el margen izquierda se han detectado movimientos más allá de los 20 m de profundidad.

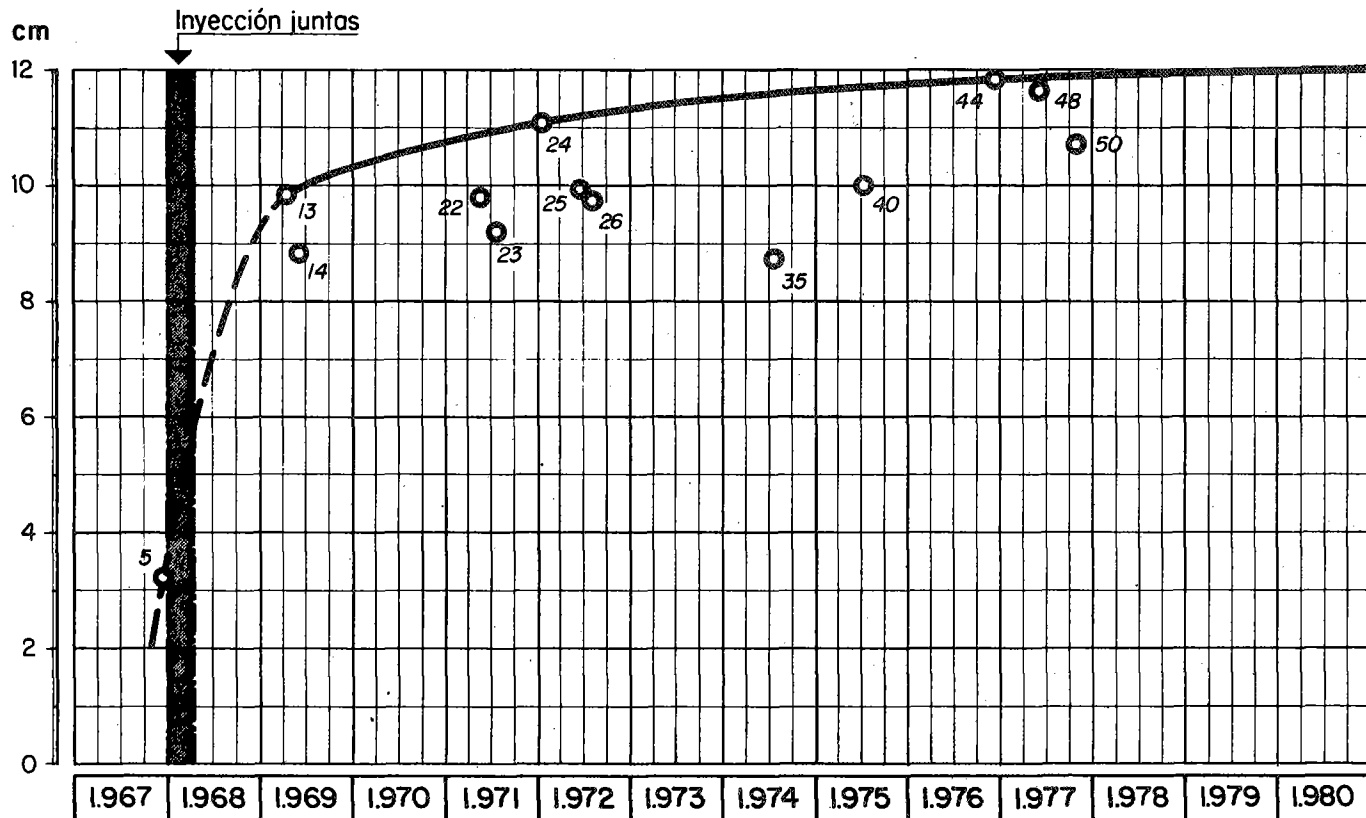


Figura 32. Diferentes desplazamientos que ha adoptado la clave con el embalse a su cota máxima, 351 m. Su envolvente límite-superior indica la tendencia y la magnitud de los desplazamientos remanentes a lo largo del tiempo.

5.3.1 Los desplazamientos en la clave

Anteriormente se señaló como inservible el P-0 situado en la clave de la coronación, lo que impedía tener datos directos de este punto clave. Al propio tiempo el péndulo central, por razones de la curvatura de la bóveda, hubo que instalarlo a partir de la cota 329 m en la galería G-2. Estas particularidades han complicado la deducción de las flechas en la clave de la Presa, por que ha sido necesario proceder rigurosamente a una serie de extrapolaciones cuyo proceso es el siguiente: Se dibujan las deformadas de los péndulos laterales en una lectura cualquiera, que se tienen exactamente hasta la cota 351,50 m, por lo que se extrapolan de forma sencilla y continua hasta la 357 m. Lo mismo se hace con el péndulo central cuyos datos solamente existen hasta la cota 329 m; la extrapolación de esta deformada hasta la cota 357 m se realiza siguiendo la pauta ya marcada por los péndulos laterales. Finalmente esta directriz total del péndulo central se somete a una traslación según el valor de la lectura radial que proporciona el punto P-10 de auscultación geodésica a la cota 237,50 m, es decir, se le incluyen al péndulo central las traslaciones del cimien-to, con lo que se tiene la deformada absoluta de la clave, que dará un valor concreto en mm a la cota 357 m de coronación.

Siguiendo este proceso se ha visto que la máxima flecha en clave se ha obtenido en la lectura 44, alcanzándose un desplazamiento radial en coronación de 11,8 cm. De esta misma forma se han obtenido los 12 desplazamientos en la clave de coronación correspondientes a las 12 lecturas realizadas con el embalse sobre la cota máxima, 351 m. Estos resultados se han representado en la figura 32, estando comprendidos en un intervalo de unos 3 cm entre 8,5-11,5 cm. Es decir puede suponerse un intervalo por efecto térmico de ± 15 mm, por lo que la flecha media debida exclusivamente a la carga hidráulica más las deformaciones remanentes sería de 10 cm.

En la mencionada figura 32 se ha dibujado también la envolvente superior de tales desplazamientos resultando una curva sumamente curviosa, cuyo trazado hace intuir las deformaciones por fluencia y las remanentes del macizo rocoso,

y naturalmente su tendencia a lo largo de todos estos años.

Otro aspecto no menos importante de los desplazamientos en clave lo constituyen aquellos otros desplazamientos que adopta la estructura cuando el embalse desciende a niveles bajos, con tendencia a cerrar el ciclo del embalse mínimo que tenía en el momento de establecerse el cero inicial absoluto para todos los orígenes de las lecturas de dichos desplazamientos.

La ocasión más propicia para estas observaciones se produjo en el año 1973 en que se desarrolló una notable depresión en los niveles del embalse; el punto de recuperación máxima de los desplazamientos de la estructura se situó entre las lecturas 30 y 31, precisamente el 18 de agosto con el embalse a la cota 300,20 m, y

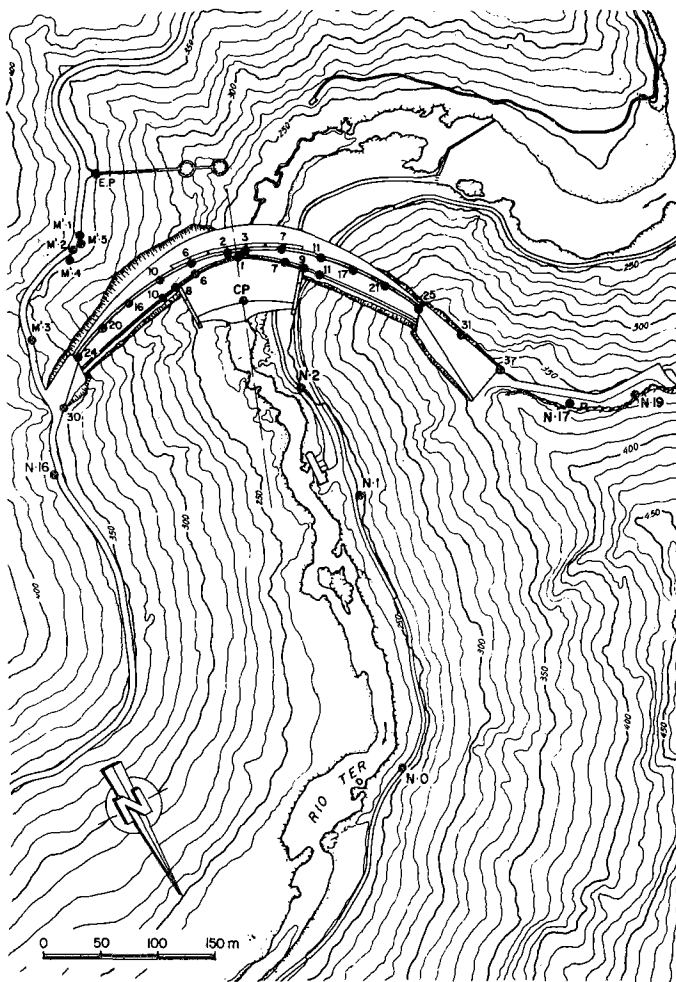


Figura 33. Situación de las bases fijas y de los puntos de observación para el control de los desplazamientos de la estructura y macizo de apoyo según el eje vertical.

quedó detectado por las medidas de los péndulos. Es natural que se produjera en aquel punto dada la incidencia térmica del verano en aquellas fechas; hubo cotas a continuación casi 10 m por debajo de aquella que sin embargo suministraron desplazamientos mayores, precisamente también por la incidencia de la época fría a finales de 1973 y principios de 1974. Así pues en la citada fecha se registró el desplazamiento mínimo en clave desde el inicio de la puesta en carga, es decir desde el cero absoluto de todas las medidas, alcanzado un valor de 5,5 cm.

5.4 Desplazamientos segun el eje vertical

Se registran a través de diversas cadenas de nivelación que controlan toda una serie de puntos sobre la coronación; sobre la zona inferior del zócalo y contrapresa; y sobre la carretera que atraviesa el talud de la margen derecha hasta la pasarela de las torres de toma. Además se nivelan las galerías de drenaje en su interior desde una base fija situada en su extremo.

En la figura 33 se sitúan todas estas cadenas y los puntos que se controlan en el exterior de la Presa.

En la figura 34, sobre un alzado desarrollado de la estructura se representan en cada uno de los puntos nivelados los intervalos de oscilación; los asientos máximos se obtienen en coronación llegando en la zona central hasta 16 mm; las sobrelevaciones máximas también se obtienen en la misma zona de la coronación con un registro máximo de 9 mm.

5.5 Desplazamientos remanentes

La valoración de este tipo de desplazamientos sería necesario realizarla entre dos situaciones de carga totalmente idénticas, para así deducir los desplazamientos diferenciales; se comprende la complejidad de alcanzar una valoración precisa del fenómeno ya que podrán encontrarse situaciones idénticas para la carga hidráulica, es decir con la misma cota de embalse, pero no situaciones con idéntico estado térmico ya que se ha visto en el apartado 5.3 los amplios intervalos en que se mueven estos desplazamientos térmicos, especialmente en cuanto el embalse comienza a descender por debajo de los 15-20 m de su cota máxima.

Más sencillo resulta analizar estos desplazamientos irreversible en la zona de cimientos, desplazamientos que solamente tienen interés en la mitad inferior de la margen izquierda de la Presa. En el arranque del arco de cota 282 m. en dicha margen, puede asegurarse que existe un desplazamiento no recuperable del orden de 1 cm en el sentido radial del arco, desplazamiento que viene contrastado con las colimaciones de la galería G-5; próximo a esta zona se advierte en el punto P-13 del zócalo otro desplazamiento no recuperable del orden de 1 cm en el sentido tangencial del arco aunque este movimiento no debe imputarse al cimiento, sino más bien a la acomodación de las juntas, de lo contrario no tendría explicación lo exiguo que resultan los asientos verticales en aquel mismo punto de la citada galería G-5. Análogamente en el arranque del arco de la cota 251 m, tam-

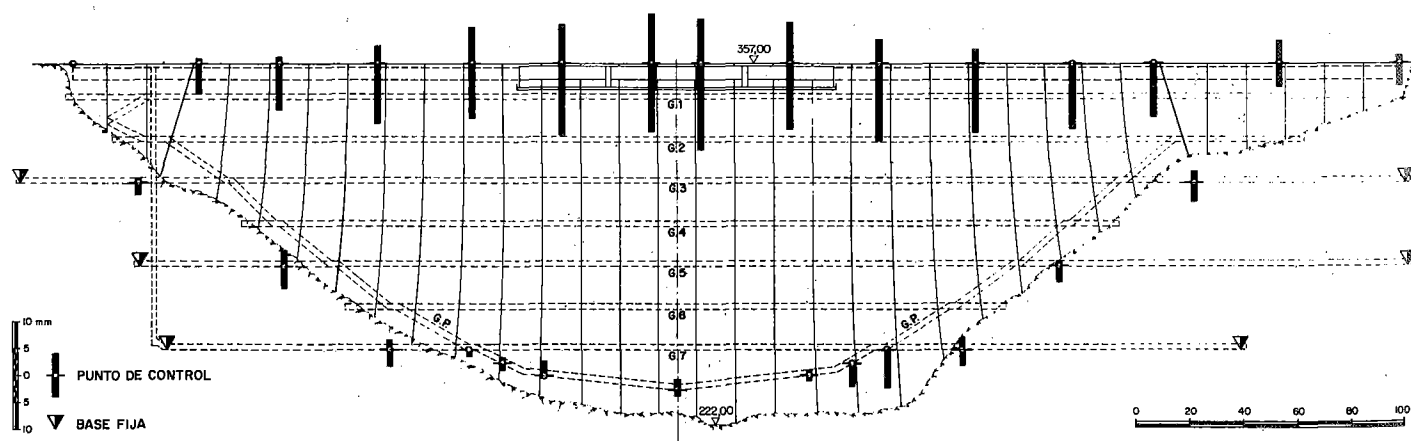


Figura 34. Intervalos máximos de los desplazamientos según el eje vertical en la estructura y macizo de apoyo.

bién en la margen izquierda, se produce otro desplazamiento irreversible del orden de 1 cm en el sentido radial, corroborado también por las colimaciones de la galería G-7; y de forma también similar en el zócalo, el punto P-11 situado en las inmediaciones de aquel mismo arranque, se vuelve a producir otro desplazamiento en carácter irrecuperable del orden de 2 cm en el sentido tangencial del arco sin que tampoco sea imputable a la deformación del cimientamiento ya que los asientos verticales en aquel mismo punto son también imperceptibles desde la propia galería G-7.

Al pasar a analizar los desplazamientos remanentes en la estructura necesariamente quedarán englobados en ellos todos los que haya experimentado también el cimientamiento. Llama enseguida la atención cómo al repasar los diferentes desplazamientos registrados según el eje vertical a lo largo de los diferentes años, no se observa desplazamiento remanente alguno ya que en diversas ocasiones se han vuelto a recuperar los niveles de la primera lectura, lo que concuerda con las observaciones realizadas en el párrafo anterior.

Otro tema son los desplazamientos remanentes de la estructura según el plazo horizontal, donde evidentemente absorben los ya detectados en el cimientamiento. Su evaluación, como se ha señalado, es especialmente dificultosa, por lo que a falta de contar con un ciclo total de carga-descarga, en el caso de que el embalse hubiera recuperado las cotas de los desagües de fondo, parece que sería factible realizar diferentes análisis puntuales entre los diversos ciclos parciales correspondientes a lecturas con igual cota de embalse y análoga fecha del año; sin embargo estos análisis proporcionan unos datos absolutamente dispersos de los que no es posible sacar conclusiones prácticas debido siempre a la sensibilidad y amplitud del efecto térmico.

No obstante al analizar nuevamente la figura 32, donde se dibuja la curva envolvente de todos los desplazamientos máximos en clave con el embalse a su máxima cota, se advierte que a finales de 1980 estos desplazamientos máximos habrían alcanzado los 12 cm, mientras que al cerrarse el primer ciclo de carga en 1969, estos desplazamientos máximos alcanzaban aproximadamente los 10 cm. Todo ello quiere decir

que esta diferencia de 2 cm es la que puede considerarse como el desplazamiento irreversible más representativo y objetivo que puede ofrecerse.

Se comprende que para el futuro será interesante proseguir con el análisis de estas curvas globales para cuya confección se tendrán mayor número de datos, siendo así posible a través de ellas conocer y evaluar con mayor objetividad los resultados de estos procesos de remanencia, cuya evolución es de capital interés en el control del complejo estructura-terreno.

6. ESTABILIZACION DE LA LADERA DE LA MARGEN DERECHA

Desde un principio se pusieron de manifiesto las delicadas características, tanto geológicas como geométricas, resultantes de la excavación del talud a fin de lograr un empotramiento adecuado de la Presa en aquella ladera. Su desnivel de algo más de 200 m, por incluir al camino de rodadura de los blondines, comportó una extracción de 350-400.000 m³ de roca. Esta excavación se realizó por fases sucesivas a fin de no provocar descompresiones de gran volumen en el macizo que pudieran afectar a las obras adyacentes, blondines, carretera y toma de agua; pudiéndose cimentar la obra a principios de 1966 aprovechando la estabilidad temporal que se había logrado alcanzar.

Sin embargo durante la construcción de la Presa se observó que el talud se desplazaba hacia la vertiente a razón de 0,5-1 cm por mes, por lo que fue preciso realizar en noviembre de 1967 una primera serie de anclajes estáticos, una vez que se consideró suficientemente liberado el macizo de sus tensiones internas y cuando se había apreciado en los diversos puntos provisionales de observación desplazamientos globales de 15 a 25 cm.

Es importante notar que los anclajes fueron puramente estáticos y no dinámicos, para no coartar la decompresión de la roca al liberarse de sus tensiones y añadir fuerzas complementarias que modificaran las condiciones de equilibrio del talud.

A partir de esta primera serie de anclajes y hasta el mes de abril de 1968, los movimien-

EL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE SUSQUEDA DURANTE EL PRIMER DECENIO

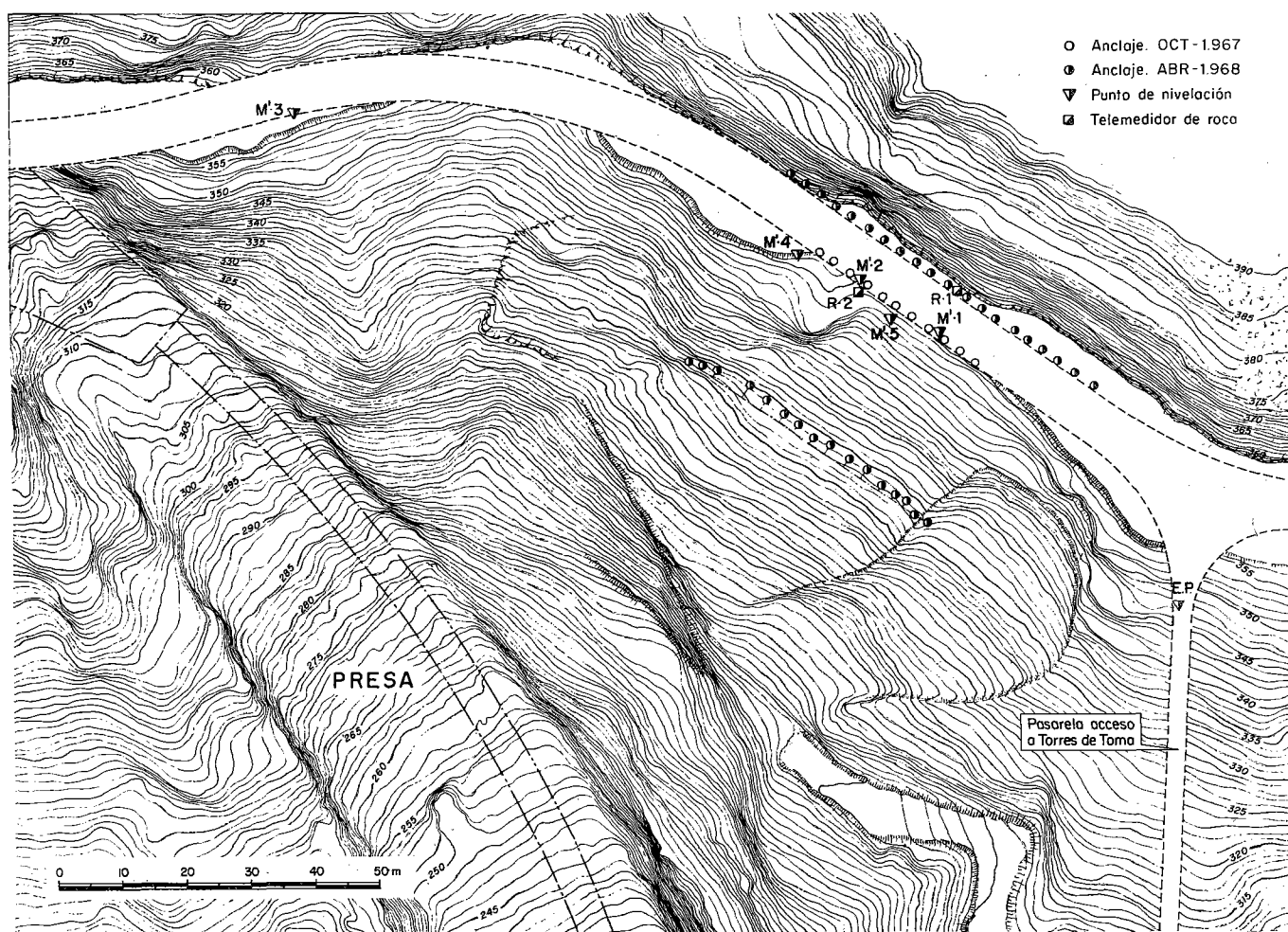


Figura 35. Sistema de control de la estabilidad del talud de la margen derecha. Series de anclajes realizados.

tos apreciados en el talud consistieron en asientos de hasta 18 mm y desplazamientos hacia el valle de 3 mm. No obstante en aquella misma época se decidió proseguir con el proceso de estabilización, realizando una segunda y una tercera serie de anclajes estáticos a diferentes cotas, que, como los anteriores, consistieron en alojar en taladros subhorizontales \varnothing 100 de 20-25 de profundidad, barras de acero corrugado con una capacidad mecánica por anclaje de unas 60 toneladas.

A partir de esa fecha el sistema de control de la ladera quedó establecido a base de dos puntos de observación geodésica desde bases exteriores; diferentes puntos de nivelación sobre la zona de la carretera de las torres de toma; y dos telemedidores de roca anclados a 20 m de profundidad. En la figura 35 se especifican sobre un plato topográfico de la zona las dife-

rentes actuaciones de anclaje y la situación de los puntos de observación.

Es necesario observar cómo las diferentes acciones que actúan sobre el talud, especialmente las aguas de lluvia, las condiciones térmicas ambientales, la decompresión del macizo rocoso y las variaciones del embalse, introducen unos ciclos de carga-descarga en sus presiones intersticiales y en su carga vertical que se traduce en un notable proceso de fatiga sobre su estabilidad. Todo ello sin contar con las acciones esporádicas de los eventuales movimientos sísmicos. Es por ello por lo que todo este sistema de actuaciones y control sobre su estabilidad deberá ser considerado como revisable o ampliable según lo vayan exigiendo las circunstancias.

Hay que señalar que en el mes de junio de 1973 se produjo en este talud un desprendimien-

EL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA DE SUSQUEDA DURANTE EL PRIMER DECENIO

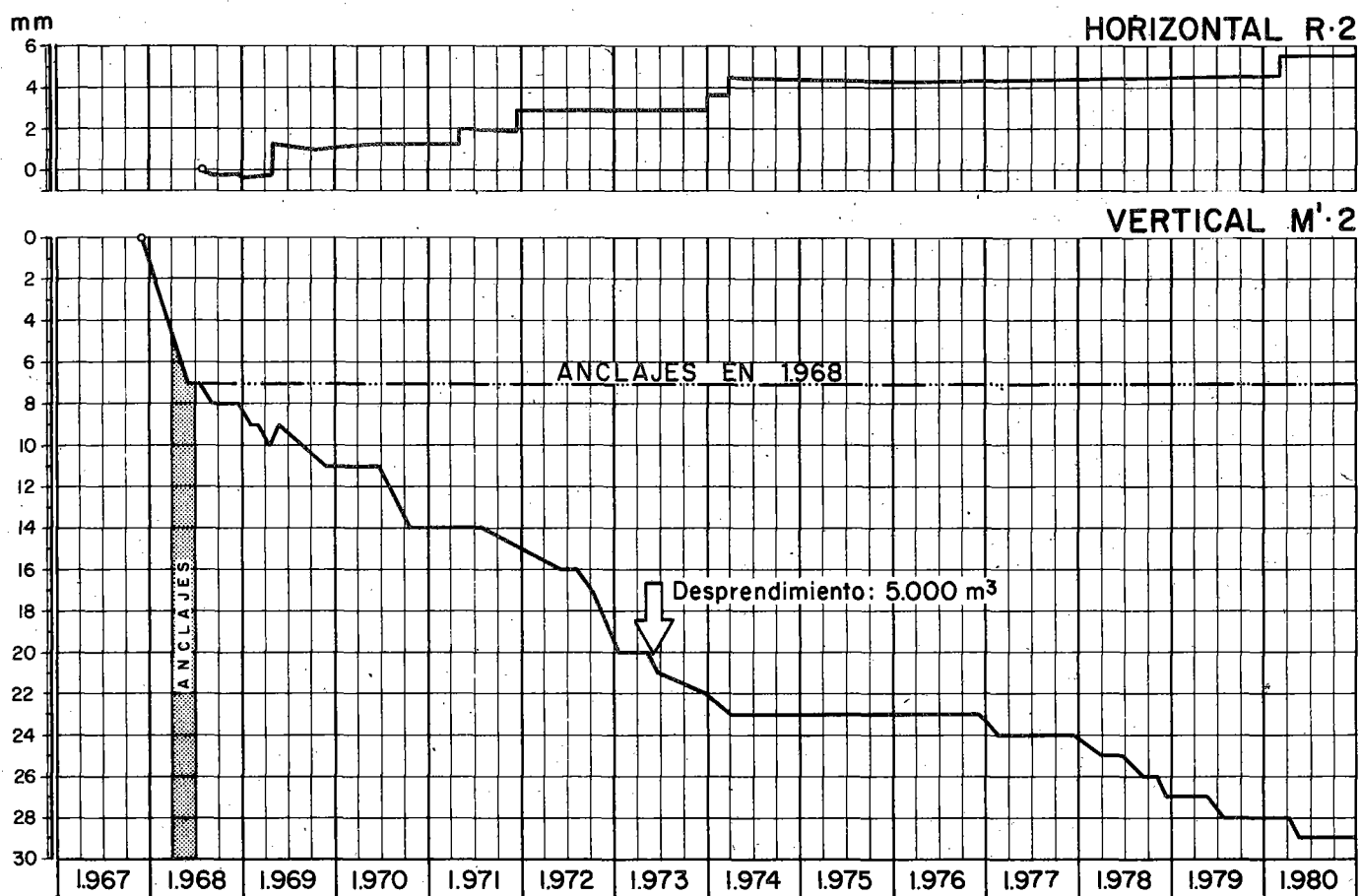


Figura 36. Evolución de los desplazamientos horizontal y vertical más significativos del talud de la margen derecha, registrados por el teledetector de roca R-2 y obtenidos en el punto de nivelación M' -2, respectivamente.

to de unos 5.000-5.500 m³ de roca, no teniendo más consecuencias que depositar una notable cantidad de bloques sobre las rejillas de hormigón del desagüe de fondo próximo, tal y como se comprobó posteriormente en una inmersión de inspección. Y hay que señalar también que este desprendimiento se produjo precisamente después de la notable depresión que había experimentado el embalse en aquella época, en que descendió 50 m desde su máximo nivel hasta alcanzar la cota 300 m.

En la figura 36 se representan unos gráficos de la evolución de los desplazamientos horizontal y vertical más característicos observados en este talud durante el decenio. Puede observarse el sucesivo aumento de los, por el momento, escasos milímetros que contabilizan dichos movimientos. No obstante, su tendencia progresiva debe obligar a intensificar su control en los próximos años.

7. CONSIDERACIONES Y CONCLUSIONES

Solamente un repaso somero a todo el contenido de lo que ha significado el comportamiento de esta Presa durante el primer decenio de su existencia, basta para llegar al convencimiento de que al final de este período el complejo presa-macizo rocoso no representa unas condiciones mecánicas y resistentes tan favorables como las que tenía en el momento de su puesta en servicio allá por 1967-68. La expresión «no tan favorables» no significa en absoluto que sean deficientes sino que sencillamente durante toda esta época han incidido sobre aquel complejo de la Presa toda una serie de procesos de fatiga más o menos intensos, que lógicamente le han producido ese pequeño y natural desgaste que no sólo ha sido perceptible sino también cuantificable.

De ahí se deduce inmediatamente que la vi-

gilancia de esta obra en el próximo futuro, no solamente no debe descuidarse sino que incluso habrá que complementar su actuación en algunos aspectos. Y todo ello sin entrar en otro tipo de consideraciones sobre las amplias repercusiones económicas a que atiende su explotación.

Si se intensifica algo más el repaso sobre el contenido de este primer comportamiento decenal se advierte el especial cuidado que se ha puesto en dejar claro que todas las medidas y conclusiones son específicas y de exclusiva aplicación al caso de Susqueda. Es decir, se ha evitado caer en la tentación, siempre atractiva, de generalizar. Cada persona es un caso completamente diverso; y no sólo por sus variadísimas especies tipológicas y formales sino también por la terrible complejidad de las características litológicas y estructurales de los macizos rocosos. La utilidad de este trabajo se supone que debe recaer en su propia particularidad técnica.

Finalmente, si se profundiza en la exposición de todo este comportamiento decenal se deduce cómo la filosofía de la auscultación de Susqueda se ha centrado en dos cuestiones primordiales: Las acciones y sus consecuencias últimas, es decir, los desplazamientos, considerando a éstos como los únicos indicadores válidos para poder tomar decisiones consecuentes sobre la explotación del complejo presa-terreno. Y lo más significativo: Se deduce también que

la auscultación de tales desplazamientos se ha procurado siempre realizarla por dos métodos distintos, para tener la suficiente seguridad de que cada vez que sea preciso decidirse por una intervención cualquiera, en la estructura o en el cimiento, se realice con la debida garantía y el lógico conocimiento.

Cuando se concluye la redacción de todo este trabajo está a punto de concluir el año 1986, lo que quiere decir que ha transcurrido ya buena parte del próximo decenio 1981-90. Solamente dejar constancia de la decisiva influencia que ya está teniendo este trabajo en la actual orientación de todos los procesos del control de la Presa; precisamente como consecuencia de las largas y profundas reflexiones a que voluntariamente se ha sometido todo el equipo técnico que colabora en estas apasionadas tareas.

Arturo Rebollo

Doctor Ingeniero de Caminos, promoción de 1959. Es también Arquitecto por la E.T.S. de Arquitectura de Barcelona y Licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad de Barcelona. Durante su vida profesional ha realizado más de dos centenares de trabajos entre proyectos, estudios y direcciones de obra, relacionados con la Ingeniería Civil, la Arquitectura y el Urbanismo.

