

La presa de la Viñuela

Por ANDRES GUTIERREZ MESQUITA

Ingeniero Director de las Obras

La presa de la Viñuela está situada sobre el río Guaro, en la provincia de Málaga. Es una presa de materiales sueltos, cuyo proyecto y ejecución se describen en el siguiente artículo.

1. ANTECEDENTES

La Presa de la Viñuela, en adelantada fase de construcción, está situada en el término municipal del pueblo de La Viñuela, en la provincia de Málaga, sobre el río Guaro, que constituye el tramo superior del río Vélez y cuyas aguas vierten al Mediterráneo en las cercanías del turístico núcleo urbano de Torre del Mar.

La idea de la regulación de las aguas de la cuenca del río Vélez surgió hace ya muchos años.

Existen antecedentes que se remontan al año 1905. Más concretamente en el año 1911, se llevó a cabo un estudio para el aprovechamiento de las aguas subálveas en los diferentes cauces de la cuenca.

El planteamiento de la regulación de aguas fluyentes se inicia en el año 1933 con el «Estudio del Aprovechamiento integral de la Cuenca del Río Vélez», donde se seleccionan cuatro posibles emplazamientos de presas: Dos de ellas en el río Guaro y otra dos en sus afluentes, río Benamargosa y río Salia.

A partir de esta fecha se desarrolla una serie de estudios que se concretan en informes geológicos y soluciones de regulación alternativa que jalonan el período comprendido desde 1935 hasta el año 1977, en el cual queda definida la solución que se estima más conveniente para la regulación de las aguas fluyentes de la cuenca del río Vélez.

Pueden citarse los siguientes trabajos realizados a lo largo de los años citados:

1935: Informe de la Jefatura de Sondeos en relación con el «Estudio del Aprovechamiento integral del año 1933».

1939: Informe sobre los sondeos efectuados en el río Guaro para el estudio del Pantano del Monte.

1951: Anteproyecto del Pantano en el río Guaro, para riego de la zona de Vélez (Málaga).

1960: Plan de Mejora y ampliación de regadíos con aguas del pantano del Guaro.

1963: Proyecto de la Presa de La Viñuela.

1964: Informe Geofísico sobre el emplazamiento de la Presa de la Viñuela en el río Guaro.

1965: Informe Geológico acerca del resultado de los sondeos realizados para el estudio de la Presa de La Viñuela en el río Guaro.

1965: Informe Geológico acerca de la cerrada para el contraembalse de la Presa de La Viñuela del Plan del río Guaro (Málaga).

A partir del informe de don Manuel Antón en el año 1939, todos los informes han sido convergentes en la posibilidad de construcción de la Presa de La Viñuela (antes del Monte), con la consideración complementaria de un contraembalse en el mismo río Guaro, aguas abajo de sus afluentes los ríos Bermuza y Almachares.

En el año 1977 se redactó el «Proyecto de Construcción del Embalse de La Viñuela», donde queda definitivamente elegido el punto de ubicación de la presa sobre el río Guaro, así como sus características de presa con espaldones de gravas y escollera caliza y núcleo central de arcilla.

En cuanto a la regulación de los caudales fluyentes del resto de los cauces de la cuenca: los

ríos Salia, Bermuza, Almachares y Robite, afluentes por la izquierda, y del río Benamargosa, afluente por la derecha, se desecha la solución de contraembalse aguas abajo del río Almachares, y se estudia la conducción mediante canal de las aguas sobrantes de dichos afluentes al embalse creado por la presa de la Viñuela.

El proyecto 07/77 de referencia fue aprobado técnicamente por la Dirección General de Obras Hidráulicas el 17 de febrero de 1981.

Las obras fueron licitadas mediante Concurso restringido con posibilidad de presentar variantes y adjudicadas a la Empresa «Construcciones Hernando, S. A.», el 18 de octubre de 1982, en base al Proyecto «06/82 de Construcción de la Presa de La Viñuela».

Las obras de la presa y las de regulación de los caudales de los afluentes, están incluidas dentro del «Plan Coordinado del Guaro».

2. OBJETIVOS PROPUESTOS

El río Guaro, y su prolongación el río Vélez, discurren con dirección norte-sur a lo largo de un valle enmarcado por los «Montes de La Axarquía», vocablo árabe con significación «parte oriental», refiriéndose a su situación relativa respecto a la ciudad de Málaga.

Este valle goza de unas condiciones climatológicas excelentes para el cultivo en regadío. Su microclima diferencia esta zona de otras limítrofes por la ausencia de heladas y por disfrutar de temperaturas medias y características edafológicas de los suelos que la hacen especialmente apta para el establecimiento de cultivos subtropicales: aguacates, mangos chirimoyos, etcétera, así como hortícolas de primor que permiten obtener altas cotizaciones en el mercado internacional.

Por otra parte, el gran desarrollo turístico de la Costa del Sol Oriental exige su consideración ante la demanda de agua potable exigida para su adecuado abastecimiento.

En consecuencia, la regulación de los caudales disponibles en la cuenca del río Guaro, tiene una doble finalidad: la de mejora del riego de los cultivos actualmente implantados, junto



con el aumento de la superficie regada y la del abastecimiento de agua potable a la población autóctona y turística asentada en la Costa y en algunos pueblos del interior.

De la evaluación realizada por el Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario, se deduce la posibilidad de regar 7.000 Has., de las que unas 2.700 corresponden a riegos existentes.

En cuanto a la población futura a abastecer, deducida de los índices de crecimiento de años pasados, se establece entre 450 y 500 mil habitantes.

El volumen de agua necesario para atender a las demandas de riego y abastecimiento indicados anteriormente, se han cifrado en 97 Hm³ anuales.

Los caudales medios disponibles que pueden ser regulados con el embalse se han estimado en:

— Río Guaro	31 Hm ³ /año
— Río Benamargosa	31 Hm ³ /año
Otros afluentes:	
— Salia, Bermuza	
— Almachares Robite	
— Río de la Madre	47 Hm ³ /año
SUMAN	109 Hm³/año

En consecuencia, para poder desarrollar en su totalidad los objetivos incluidos y propuestos en el «Plan Coordinado del Guaro», es necesario la construcción de la Presa de La Viñuela, sobre el río Guaro, así como las obras necesarias para conducir la aguas sobrantes de sus afluentes hasta el embalse de regulación creado por la presa.



Estas obras están incluidas en el «Proyecto de la Presa de la Viñuela, 2.ª Fase. Regulación de los Caudales de Avenida de los Afluentes del Río Guaro», en tramitación.

3. GEOLOGIA DE LA CERRADA Y SU ENTORNO

La presa de La Viñuela, situada sobre el río Guaro está ubicada en la zona más septentrional de un importante afloramiento de materiales paleozóicos pertenecientes a la unidad de Salares del complejo Alpujarride de la zona Bética.

La zona Bética, que corresponde a la parte más interna de la cordillera del mismo nombre, está constituida por tres grandes complejos denominados de abajo hacia arriba: Novado-Filábride, Alpujarride y Maláguide. A su vez estos complejos están formados por diferentes unidades constituidas, en su mayor parte, por series paleozóicas metamórficas superpuestas unas a otras por estructura de mantos de corrimiento.

La unidad de Salares es una de las unidades superiores del complejo Alpujarride de esta región (mapa geológico de España — hoja número 1.040— Zafarraya).

Dentro de la unidad de Salares, los materiales que afloran en la cerrada pertenecen a la formación más antigua, se trata de esquistos negros grafitosos compuestos de cuarzo, biotita, micas blancas, plagioclasas, andalucita, clorita, etcétera (datos de la Memoria de la citada hoja 1.040).

Hacia el norte, discordantemente sobre los materiales metamórficos alpujarride, se sitúa la formación de la Viñuela, formación detrítica transgresiva de edad Aquino-Burdigaliense (Mioceno).

La formación de La Viñuela está constituida por dos tramos. El tramo inferior es una brecha consolidada de colores rojizos y negros con un tamaño muy variable de los cantos, que a veces adquieren gran tamaño y sin ninguna clasificación. Hacia el techo disminuye el tamaño de los cantos y aparecen intercalaciones margosas. La potencia en las inmediaciones de la presa es superior a los 50 m. El tramo superior está formado por niveles de margas y margocalizas grises tableadas con niveles de microbrechas. El paso entre ambos tramos es gradual.

Más hacia el norte, sobre la formación de La Viñuela y mediante contacto tectónico se coloca el complejo de Colmenar-Periana, conjunto de materiales arcillosos que se localizan entre la zona bética al sur, y las unidades subbéticas (Zafarraya) al norte. Estos materiales constituyen el vaso de la presa en construcción.

Resumiendo esta descripción general de la zona, y refiriéndonos a las características que nos son más directamente vinculantes para prever el comportamiento del conjunto presa-vaso, puede decirse que en la zona correspondiente al vaso no cabe esperar una permeabilidad apreciable a causa de estar recubierta por grandes espesores de margas arcillosas.

En la zona de la cerrada, donde está emplazada la presa, se presenta una brusca transformación morfológica, consecuencia del cambio de litología como manifestación de un fenómeno de epigénesis. En ella afloran terrenos paleozóicos de una serie metamórfica constituida por esquistos cuarcíticos y pizarras que, si bien superficialmente han sufrido alteraciones físicas y químicas, constituyen por sus características un buen apoyo para una presa de materiales sueltos. En la zona ocupada por el núcleo, éste ha sido cimentado apoyándolo en la zona sana.

4. LA PRESA

La presa de La Viñuela es de materiales sueltos. Su sección tipo está constituida por un nú-

LA PRESA DE LA VIÑUELA

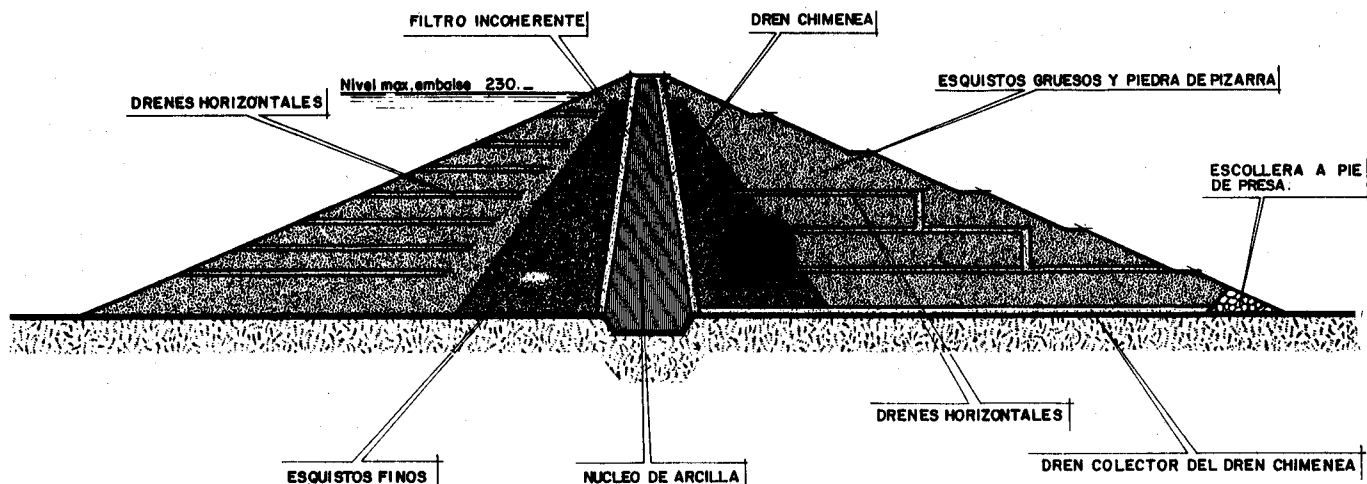


Figura 1.

cleo central simétrico respecto al plano axial, con taludes 1 : 6 (horizontal : vertical).

Los espaldones con taludes exteriores 2,5 : 1, están formados por esquistos y piedra de pizarra que se obtiene de canteras de zonas próximas aguas arriba y aguas abajo de la presa. Se hace una utilización diferenciada de los productos de cantera de acuerdo con sus características granulométricas. Los esquistos que proporcionan un material más fino son empleados en las zonas próximas al núcleo de arcilla, potenciando así su funcionalidad. Los materiales gruesos, de mayor dureza se emplean en la construcción de la parte exterior de ambos espaldones, consiguiéndose con ello dotarlos de mayor ángulo de rozamiento y mayor permeabilidad con la consiguiente disminución de las presiones intersticiales.

Entre el núcleo y los espaldones se dispone un filtro subvertical aguas arriba y, un filtro-dren aguas abajo, el cual conecta por su parte interior con un dren-manto colocado entre el terreno natural y la base del espaldón.

La sección tipo esquemático es la que se indica en la figura 1.

Las características generales de la presa son las siguientes:

- Emplazamiento Río Guaro.
- Término municipal . La Viñuela (Málaga).
- Tipo de presa Materiales sueltos heterogéneos con núcleo central de arcilla.

- Altura desde cimientos 96 metros.
- Longitud de coronación 460 metros.
- Volumen total del cuerpo de presa . . . 4,4 millones de m³.
- Superficie de la Cuenca regulada por el Embalse: Río Guaro . . . 119 km².
- Afluentes . . . 220 km².
- SUMA 449 km²
- Volumen máximo de embalse 170 Hm³.
- Máxima avenida previsible 580 m³/s.
- Aliviadero de labio fijo - Capacidad 170 m³/s.

5. MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCION DEL CUERPO DE PRESA

Las características geotécnicas de los diferentes materiales empleados en el cuerpo de presa quedan definidos por los valores medios que se indican a continuación.

5.1. Arcilla del núcleo

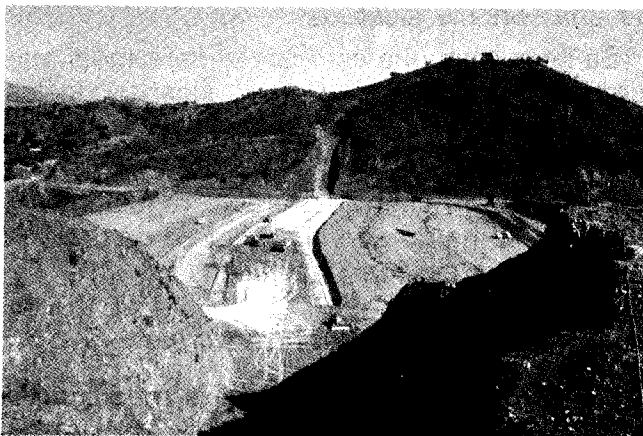
Se obtiene de canteras situadas a unos 600 m aguas arriba del emplazamiento de la presa.

- Cohesión 0,21 k/cm²
- Angulo de rozamiento 23°

- Límites de Atterberg $\left\{ \begin{array}{l} LL = 48 \\ Lp = 23 \\ IP = 25 \end{array} \right.$
- Densidad Proctor normal 1,70
- Humedad óptima .. 17 %
- Coeficiente de permeabilidad $K = \text{de } 2,0 \times 10^{-8} \text{ a } 5,0 \times 10^{-9}$
- Densidad media en obra 1,72
- Humedad de compactación en obra . 19 %

La puesta en obra se realiza, como se ve por los datos anteriores, del «lado húmedo», con una humedad dos puntos superior a la óptima con objeto de dotar al núcleo de mayor flexibilidad. Es de destacar que esta humedad superior a la óptima del Proctor mejora las condiciones de compactación, pues anula el fenómeno de hinchamiento, que si se observa en los ensayos edométricos con humedades inferiores en dos puntos a la óptima, e incluso, aunque en menor medida, con la humedad óptima. Procediendo así se obtiene una densidad «in situ» ligeramente superior a la del Proctor normal por realizarse la compactación con mayor energía que la equivalente a la del ensayo el laboratorio.

En cuanto a los ensayos de «actividad coloidal de los suelos», según la clasificación dada por J. A. Jiménez Salas, referida a la Historia Geológica, las arcillas utilizadas pueden considerarse como inorgánicas depositadas en agua dulce o estuarios.



El material no presenta indicios de dispersividad en el ensayo Sherard Pin Hole.

El comportamiento del núcleo construido con arcillas de las características reseñadas, frente a posibles fisuraciones, puede considerarse, con alta probabilidad, muy fiable.

A título indicativo, y utilizando los resultados estadísticos de un estudio de Biores, Bondes y Londe, en el que se hace intervenir la deformabilidad de los espaldones que abrigan al núcleo, los parámetros A y B, por ellos definidos, son $A = 0,75$, $B = 4,67$, los cuales, llevados al gráfico de los citados autores, definen un punto que se encuentra en la zona de presas estadísticamente sin problemas de fisuración.

En cuanto a los resultados de análisis químicos para determinar las sales solubles y no convenientes, los valores obtenidos se encuentran por debajo de los límites aceptables:

- Carbonatos 5,5 %
- Sulfatos 0,56 %
- Yesos 0,745 %
- Materia orgánica 0,633 %

La compactación de las arcillas del núcleo se realiza mediante Compactador CAT-825-B, «Pata de Cabra», de 32,4 toneladas de peso. El espesor de las tongadas es de 25 cm, que se vierten sobre la superficie escarificada de la capa anterior. El número de pasadas medio para conseguir una densidad en obra de $1,72 \text{ T/m}^3$, ligeramente superior a la del Proctor Normal, es de cuatro.

5.2. Esquistos

El material de esquistos empleado en la construcción de los espaldones se compacta por capas de 60 cm con vibro-compactador.

Como se indicó anteriormente, el material más fino se dispone junto al núcleo y el más grueso en las zonas externas del cuerpo de presa.

El primero, por su composición granulométrica y relativa impermeabilidad, viene a reforzar la función del núcleo de arcilla, lo que hace aumentar el espesor equivalente del mismo. Por otra parte las características geotécnicas del núcleo se aproximan más a las de estos esquis-

tos finos inmediatamente próximos a él que a los del material grueso exterior, lo que contribuye a una mejor adecuación y comportamiento en cuanto a deformaciones y asentamientos diferenciales.

Los valores medios de las características más representativas de estos *ESQUISTOS FINOS* son:

- Angulo de rozamiento 34°
- Densidad Proctor 2,12
- Humedad óptima..... 8,5 %
- Densidad media en obra 2,22
- Humedad de compactación .. 9,0 %
- Permeabilidad en obra 7×10^{-4}

En cuanto a los *ESQUISTOS GRUESOS*, estas características son:

- Angulo de rozamiento $38^\circ-40^\circ$
- Permeabilidad media en obra . 6×10^{-2}

5.3. Filtros

Con una granulometría adecuada, el filtro de aguas arriba contiene una proporción de finos relativamente alta, con objeto de disponer de material que eventualmente colabore en la colmatación de alguna fisura en el núcleo. Su permeabilidad es característica irrelevante en su funcionalidad.

El filtro de aguas abajo es un dren chimenea subvertical que conecta con el dren horizontal establecido en la base de apoyo del espaldón de aguas abajo. Se emplea en su construcción los áridos procedentes del río, con una granulometría que le dota de gran permeabilidad:

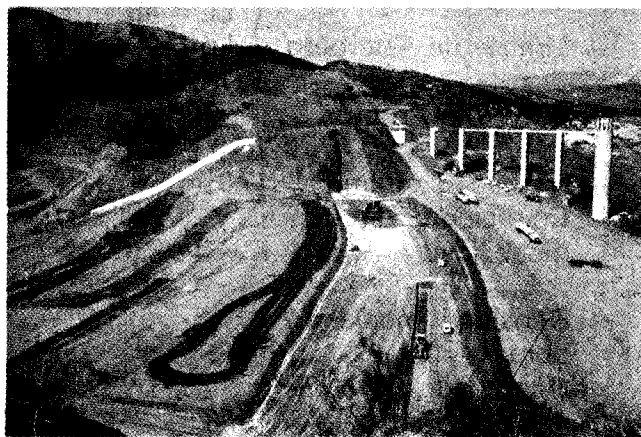
$$K = 1,2 \times 10^{-2}$$

Esta característica contribuye, de forma muy apreciable a disminuir las presiones hidrostáticas en el espaldón de aguas abajo, especialmente en la zona próxima al núcleo en que el material de esquistos empleado es más fino.

6. ORGANOS DE DESAGUE

6.1. El Aliviadero

El Aliviadero queda encajado en el estribo derecho, y separado del cuerpo de presa para evi-



tar el contacto de un material rígido con otro flexible.

Es de labio fijo frontal, con una embocadura inicial de 30 m de longitud. El canal de descarga, de 10 m de ancho, tiene una longitud de 297 m desde el vertedero al cuenco amortiguador.

En planta presenta dos alineaciones rectas que forman entre sí un ángulo de 6° , enlazado por un acuerdo circular de 100 m de radio. En un primer tramo de 92 m su pendiente es del 2 por 100, y en los sucesivos, del 53 por 100 y 31 por 100.

El caudal máximo de avenida correspondiente a un período de retorno de 500 años, se ha determinado mediante el ajuste de una ley teórica de frecuencias deducidas de los caudales observados en el río durante los años comprendidos entre 1942 y 1983.

Para este ajuste se emplearon las leyes asimétricas de Gumbel y Gibrat-Gauss, que representan la distribución de los valores extremos de una variable aleatoria.

Se llega así a una estimación del caudal máximo de avenida de $55 \text{ m}^3/\text{s}$, alcanzando los $588 \text{ m}^3/\text{s}$, al considerar la aportación de los trasvases de afluentes.

Teniendo en cuenta el efecto regulador del embalse, se ha dotado al aliviadero de una capacidad para evacuar $170 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.1.2. Desagües de fondo y tomas

El desagüe de fondo se realiza mediante la instalación, a lo largo del túnel de desvío, de

dos tuberías de chapa de palastro de 1.600 mm de diámetro y 420 m de longitud. En la cámara de válvulas de aguas arriba, junto a la torre de toma, se disponen 4 compuertas tipo Bureau, dos (2) por cada uno de los conductos de desagüe.

Se disponen tres (3) tomas a las cotas 165, 190 y 215 m en la generatriz de la torre de toma.

Esta torre, con 88 m de altura y 9 m de diámetro, da acceso mediante escalera y ascensor, a la cámara de válvulas.

7. SISTEMA DE AUSCULTACION

En el interior del núcleo y espaldones, en 3 secciones transversales de la presa y 4 niveles se han dispuesto los elementos de auscultación que permiten el control de deformaciones y tensiones durante la construcción de la obra y, posteriormente durante su explotación.

El sistema de auscultación consta de:

- 6 sondas electromagnéticas para determinación de asentos.
- 15 células hidráulicas de asentos.
- 15 células neumáticas de presión total.
- 43 piezómetros para control de presiones intersticiales.
- 1 acelerógrafo triaxial.
- 32 bases para control de desplazamiento y deformaciones.

8. CONTROL DE CALIDAD

Desde el comienzo de las obras se ha dispuesto de un laboratorio a pie de obra, que finalmente ha quedado dotado de todos los elementos necesarios incluido edómetros y equipo triaxial, para determinar las características geotécnicas de los materiales empleados en la construcción de la presa, así como de las magnitudes que determinan las condiciones de la puesta en obra de las mismas.

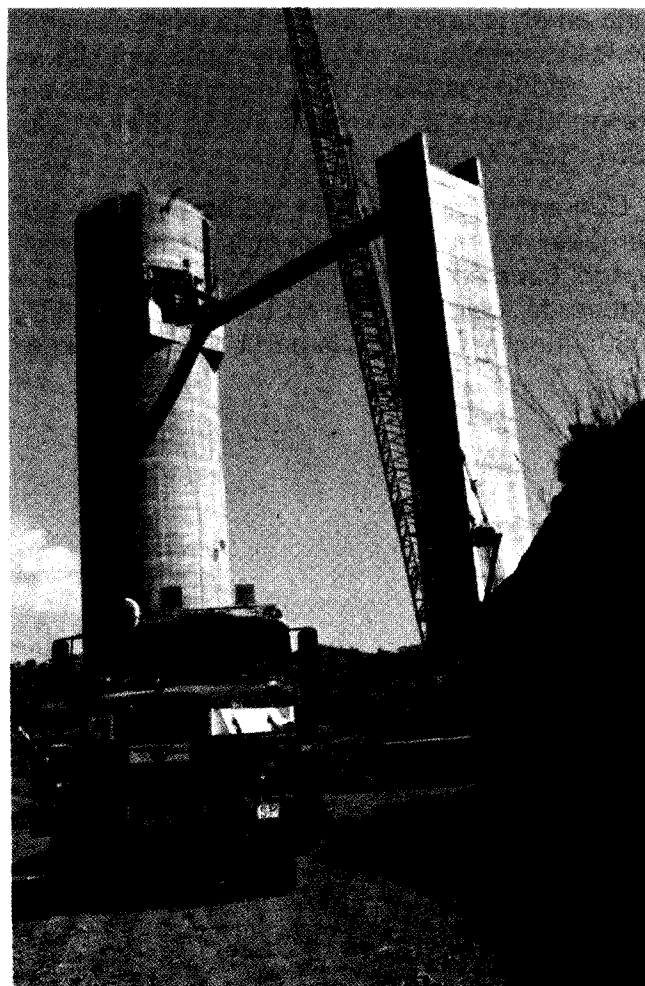
La conveniencia de disponer de un laboratorio directamente adscrito a la obra, es evidente, toda vez que se dispone de los resultados de forma inmediata sin demora que obliguen a paralizaciones de las obras, permitiendo actuar en el momento preciso y de forma continuada

en la corrección de las desviaciones que, respecto a las deseadas, pudieran presentarse.

Mediante los ensayos diarios, se controlan las humedades de puesta en obra de esquistos y arcilla, previa determinación de las humedades óptimas y densidades Proctor, granulometrías, ángulos de rozamiento, permeabilidad, características edométricas, análisis químicos de sales, etcétera, así como calidades de los hormigones empleados en el vertedero, torre de toma y cámara de válvulas.

Hasta el mes de marzo de 1985, se han realizado más de 11.000 ensayos de suelos y hormigones.

También se han llevado a cabo estudios del comportamiento de los materiales empleados en la construcción de espaldones mediante la construcción de terraplenes de ensayo con esquistos de diferente calidad, sometidos a empujes de pantallas, hasta producir su rotura de-



terminando la red tensionales que permiten deducir, entre otras, las magnitudes reales de los ángulos de rozamiento.

Un buen control de calidad en la construcción de una obra de tanta responsabilidad como la que conlleva una presa de embalse, es de la mayor importancia y ello es especialmente cierto en el caso de la presa de La Viñuela, por darse la circunstancia de estar emplazada en una zona de gran sismicidad.

El terremoto que tuvo lugar el día de Navidad del año 1984, con epicentro entre Zafarraya y Arenas del Rey, que produjo la destrucción parcial o total de varios pueblos de la zona, con más de 700 muertos y 1.500 heridos, y que fue estudiado por Comisiones inglesas, francesas, italianas y la española de Domingo Oroeta, catalogan a la zona de emplazamiento de la presa dentro de las isosistas del grado 9.º y 10.º de la escala Mercalli.

La gran sismicidad de la región queda reflejada en el estudio de frecuencia e intensidades de los movimientos ocurridos desde aquella fecha, siendo los picos más importantes los correspondientes a los años 1884, 1911, 1930, 1951, 1954 y 1956.

Con anterioridad a 1884, se produjeron, evidentemente, otros movimientos sísmicos, existiendo constancia en documentos romanos y árabes de los ocurridos en los años 365, 881, 1080 y finales de 1169. A partir de 1400 queda-

ron registrados 7 movimientos de grado 8.º y 9.º entre 1431 y octubre de 1806.

9. ESTADO DE LAS OBRAS - RITMO DE EJECUCION

El volumen total de materiales del cuerpo de presa, incluido núcleo central, filtros, drenes y espaldones, es de 4.400.000 m³.

Las obras comenzaron el 22 de octubre de 1982 y la colocación de materiales en febrero de 1983.

En 31 de enero de 1985, el volumen de los distintos materiales puetos en obra ha sido de 3.300.000 m³, que equivale a un ritmo medio de 140.000 m³ por mes.

La cota de coronación de la presa es la 235, y la actual de ejecución, la 204.

Se encuentra construida la embocadura y canal de descarga del aliviadero, a falta del cuenco amortiguador.

La Cámara de Válvulas, de difícil ejecución debido a la necesidad de evitar los desprendimientos de lisos grafitosos de la roca de pizarra, se encuentran en excavación con parte de bóveda hormigonada.

La terminación de las obras de la presa está programada para finales del presente año 1985, y con la instalación de los elementos metálicos de cierre de desagüe y tomas, podrá comenzarse a embalsar en la primavera de 1986.

