

La construcción del aprovechamiento hidroeléctrico de Cedillo

Por N. NAVALON (*)

Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.

J. ALCAZAR (*)

Ingeniero Técnico de Obras Públicas.

INTRODUCCION

El Salto de Cedillo constituye el escalón final del conjunto de aprovechamientos —Azután, Valdecañas, Torrejón, J. M. Oriol, Cedillo— que Hidroeléctrica Española, S. A. ha construido en el tramo medio del río Tajo (fig. 1).

La ubicación de la obra (foto 1), inmediatamente aguas arriba de la confluencia de los ríos Tajo y Sever, frontera ambos entre España y Portugal, ha impuesto a los trabajos características especiales hasta el punto de llegar a fijar la ordenación de determinadas actividades para las que no existía otra alternativa que no llevase implícitos perjuicios espectaculares.

(*) Hidroeléctrica Española, S. A.

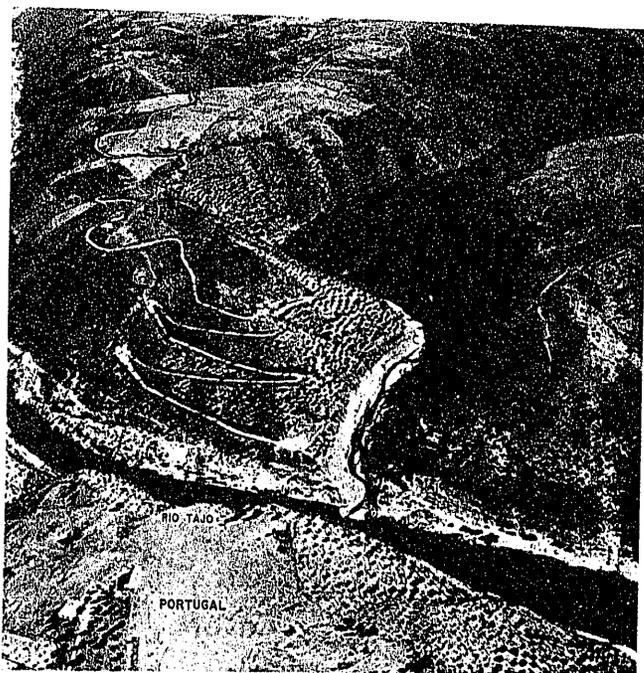


Foto 1.—Vista general de la cerrada.

Ejemplo de esta singularidad fue la realización de los sistemas de desvío de ambos ríos ejecutados anticipadamente, "bona fide", mientras se ultimaban las negociaciones de detalle del acuerdo internacional con Portugal, con objeto de aprovechar la privilegiada oportunidad que el llenado del embalse de la presa de José María de Oriol representaba para la regulación del río Tajo.

La colaboración con Portugal difícilmente podrá superarse en otras obras, pues desde la ejecución de los túneles de desvíos —realizados íntegramente dentro de la jurisdicción portuguesa empleando contratistas y medios exclusivamente lusos— hasta la implantación de parte de las instalaciones provisionales de obra en terrenos del país vecino, pasando por la prestación de mano de obra especializada —hasta el 20 por 100 del total, llegándose, incluso, en la fase de desvío, a operar con la organización de obra implantada en los dos países— no se ha presentado ni un solo problema cuya resolución haya supuesto la alteración de los trabajos.

1. BREVE DESCRIPCION DEL APROVECHAMIENTO

El aprovechamiento proyectado está integrado por una presa con central de pie incorporada que utiliza los caudales de la cuenca propia y los regulados por el embalse José María de Oriol (foto 2).

El equipamiento corresponde a una central de puntas capaz de admitir el paso de un caudal de 1.500 m³/seg.

Las características básicas del salto son:

- Superficie de la cuenca vertiente: 59.000 kilómetros cuadrados.
- Aportación media anual: 10.328 Hm³.

LA CONSTRUCCION DEL APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE CEDILLO

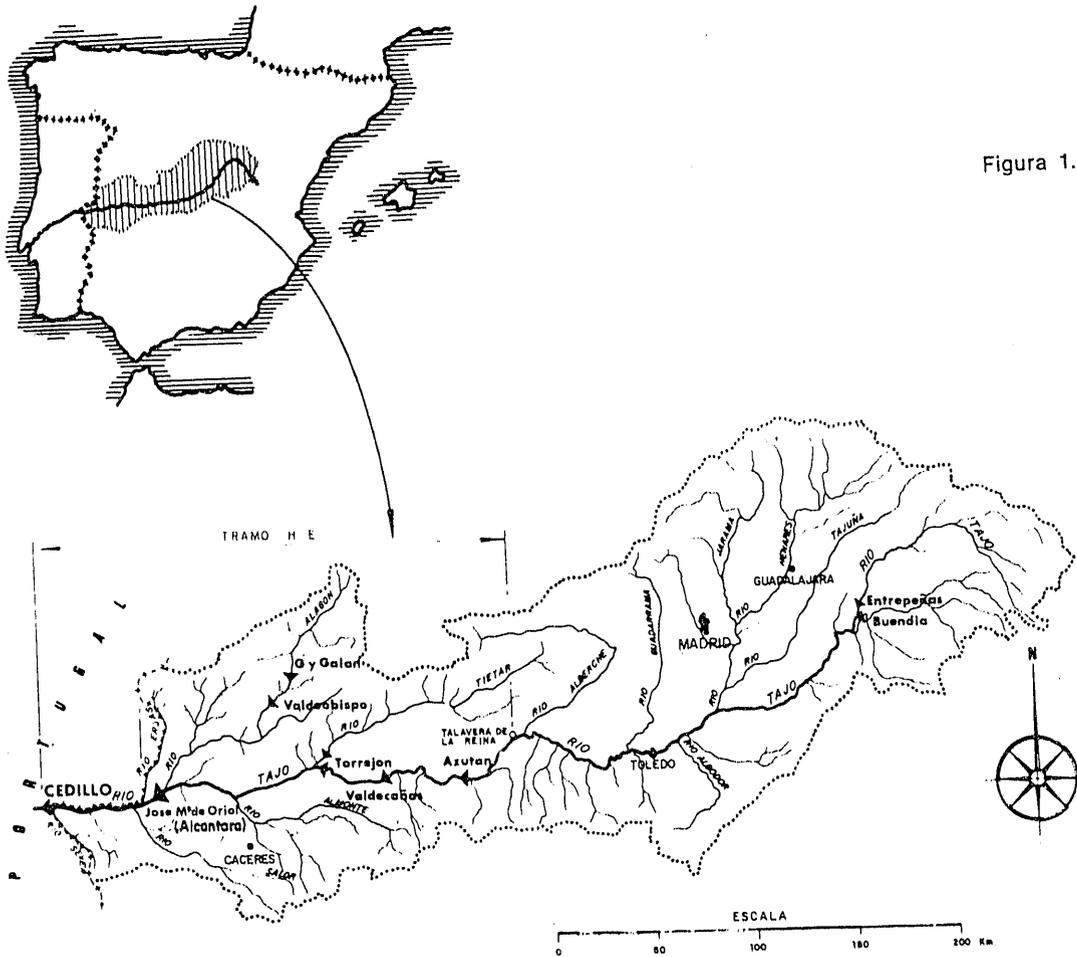
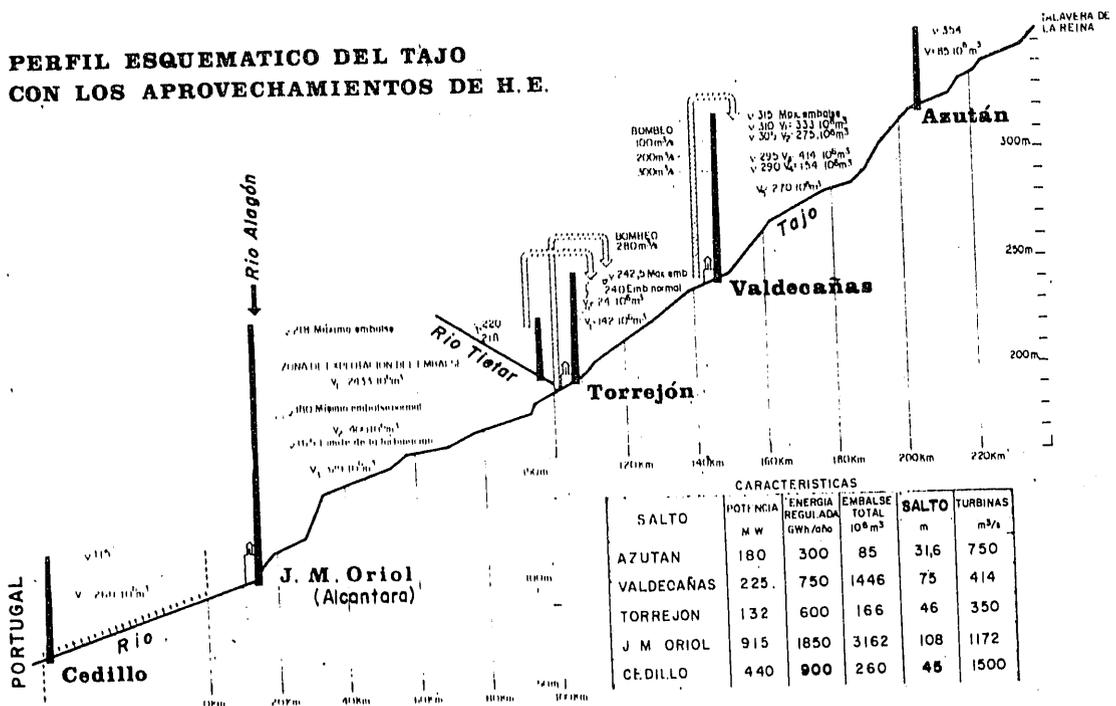


Figura 1.

CUENCA HIDROGRAFICA DEL TAJO

PERFIL ESQUEMATICO DEL TAJO CON LOS APROVECHAMIENTOS DE H.E.



LA CONSTRUCCION DEL APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE CEDILLO

- Volumen a nivel máximo de embalse: 260 hectómetros cúbicos.
- Superficie total inundada: 1.400 Ha.
- Longitud del embalse: 61,2 Km.
- Caudal máximo instantáneo con período de recurrencia de 500 años: 17.000 m³/seg.
- Potencia instalada: 4 × 110.000 kW.
- Salto máximo: 45 metros.
- Diámetro de las tuberías: 10 metros.
- Turbinas: 4, tipo Kaplan.

Un mayor detalle de las características técnicas del salto puede encontrarse en el artículo publicado en la *Revista de Obras Públicas* de junio de 1973, firmado por los señores Castillo, Escudero, Navalón y Villa.

2. PROGRAMACION DE LOS TRABAJOS

La nota dominante del proceso constructivo de Cedillo ha sido la obligada rigidez de programación. El análisis detenido de los ritmos alcanzados en algunas fases de la construcción y la complicada superposición y simultaneidad de actividades pueden dar idea de las dificultades que tuvieron que vencerse para resolver satisfactoriamente el desafío.

Ello requirió un análisis profundo de la problemática del conjunto y la preparación de un pro-

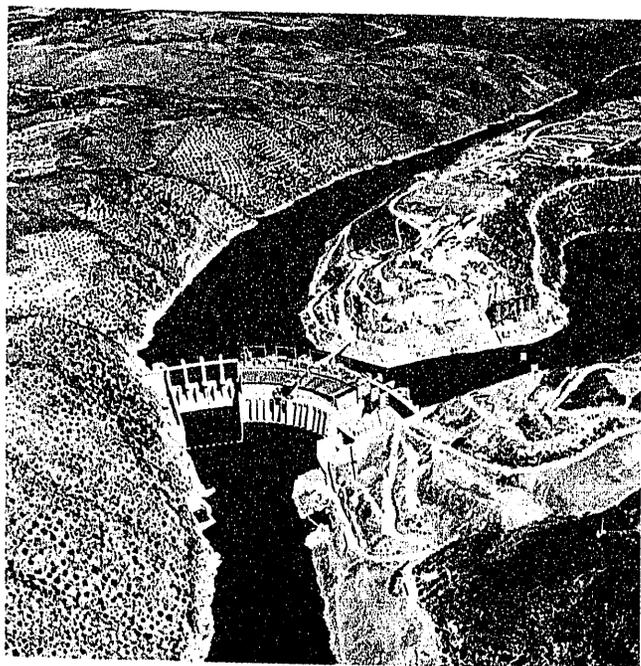


Foto 2.—Panorámica general del Salto.

grama general con la aplicación de nuevas técnicas de redes de precedencia y de ordenadores, utilizando la unidad del Centro de Proceso de Datos de Hidroeléctrica Española, S. A., aplicada al programa de cálculo denominado M.P.M. (Metra Potential Method) que ha proporcionado una gran fluidez de información como respuesta a los datos de entrada. Se han llegado a manejar más de 1.500 actividades diferenciadas, interconexionadas por unas 2.800 relaciones.

El control del programa mediante el ordenador ha permitido mantener actualizada permanentemente la información del estado real de los trabajos y adoptar las medidas correctoras necesarias en aquellas actividades que se desviaban de su secuencia programada.

La figura 2 resume el desarrollo real de las principales actividades controladas. Ello, quizá, sea la mejor expresión de la complejidad aludida anteriormente.

3. DESARROLLO DE LAS OBRAS

Atendiendo a su naturaleza, ubicación y/o período de ejecución, las obras se han dividido en seis fases:

- Fase I. Túneles de desvíos.
- Fase II. Ataguías.
- Fase III. Canal Tajo-Sever.
- Fase IV. Poblados.
- Fase V. Accesos y comunicaciones.
- Fase VI. Obra principal.



Foto 3.—Desvíos. 1. Ataguía del Tajo; 2. Ataguía del Sever.

LA CONSTRUCCION DEL APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE CEDILLO

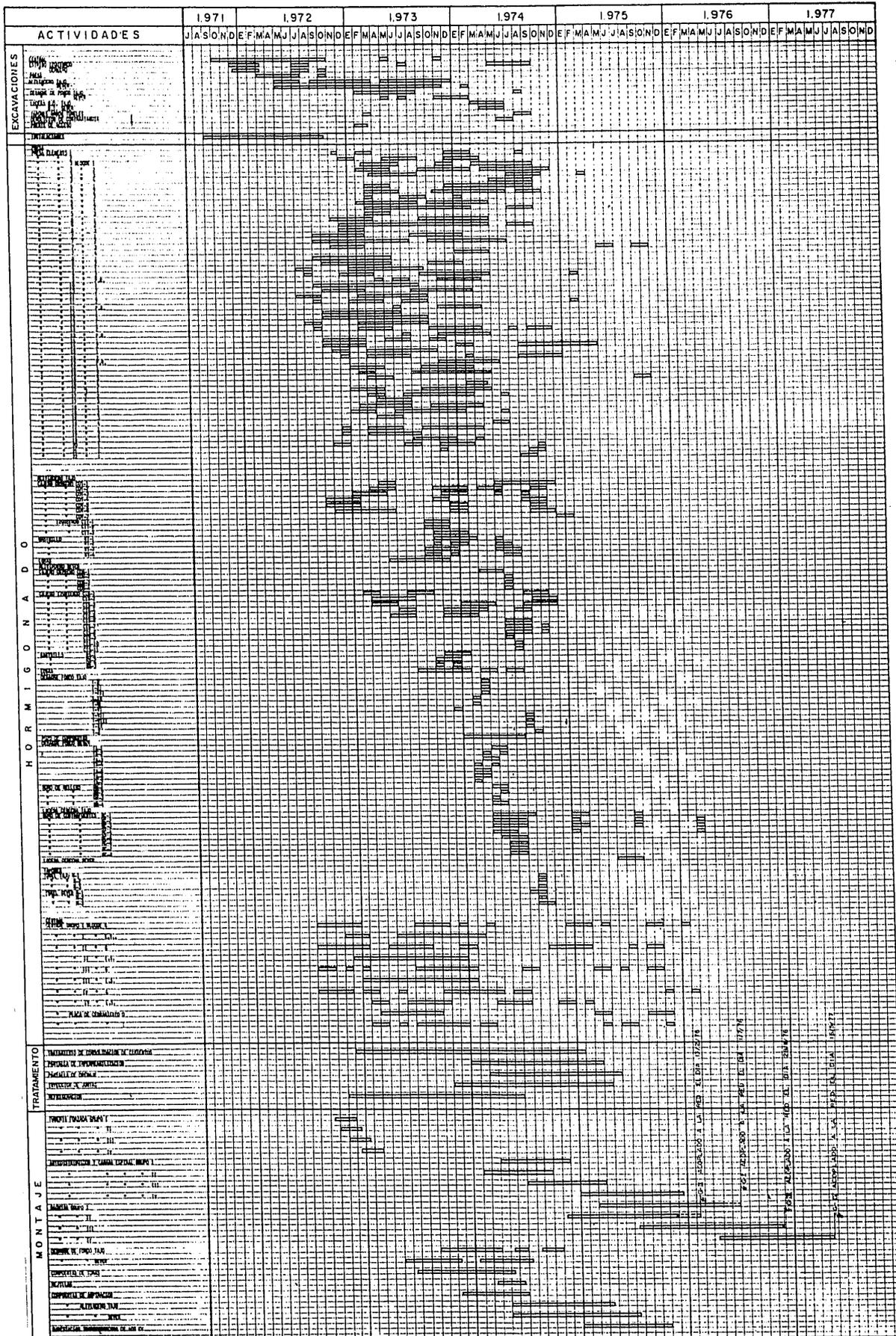


Figura 2.
Salto de Cedillo.
Programa real de obra de la fase VI.

LA CONSTRUCCION DEL APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE CEDILLO

Estas fases han sido ejecutadas por empresas constructoras a las que se adjudicó la obra correspondiente por resolución de concursos restringidos. El control técnico y la programación ha sido efectuado directamente por Hidroeléctrica Española, S. A. a través de los equipos técnicos correspondientes, potenciados según la demanda exigida por cada fase. El éxito alcanzado en todos los frentes ha sido fruto directo de la colaboración que ha existido en todo momento entre los equipos de ejecución, control y programación.

3.1. Fases I y II: Desvíos.

Las condiciones de la cerrada obligaron a desviar las aguas de los ríos Tajo y Sever mediante ataguías y túneles independientes; el retroceso de las mismas pudo evitarse, en cambio, con una única estructura. La foto 3 recoge la planta general de los desvíos y la excavación realizada en la fase III.

3.1.1. Túneles.

a) Datos básicos de las estructuras.

Los túneles se ejecutaron bajo la denominación de fase I. Sus características fundamentales son las siguientes:

Túnel	Tajo	Sever
Sección circular libre (Ø).	10,8 m	5 m
Longitud.	350 m	230 m
Espesor revestimiento.	0,35 m	0,50 m

b) Ejecución y control.

Al estar la zona de obra alejada de todo núcleo urbano, no se tenía posibilidades de alojamiento, por lo que hubo que iniciar simultáneamente la ejecución de los accesos y de un poblado de obra previsto para alojar a 400 personas— situado en las afueras del pueblecito portugués de Monte Fidalgo.

Se accedió a la obra por las dos márgenes del río Tajo y se atacaron los túneles por los dos frentes.

El hormigón se fabricó con áridos extraídos de una cantera granítica situada cerca de Povoas e Meadas (Portugal) y producidos con una planta de machaqueo primario de 25 m³/hora. Se dispuso de dos centrales de hormigonado de 50 y 7 metros cúbicos por hora de capacidad. En la colocación y transporte de hormigón se utilizaron tres bombas de hormigonado.

En ambos túneles se encofró con anillos metálicos de 7,5 metros de longitud.

Las unidades fundamentales de la fase I han sido:

Excavación a cielo abierto ...	77.300 m ³
Excavación en túnel	46.100 m ³
Hormigón	51.990 m ³

3.1.2. Ataguías.

a) Estuvieron integradas por cuatro estructuras diferentes (fotos 4):

Una preatagüa de escollera —con núcleo de arcilla y pantalla de tablestacas— que permitió el desvío de las aguas y la ejecución de la atagüa principal de hormigón; la atagüa, también de hormigón, sobre el río Sever y, finalmente, aguas abajo de la confluencia de ambos ríos, la contraatagüa —de escollera granítica y núcleo de arcilla a través del que se hincó una pantalla de tablestacas— completaba el conjunto.

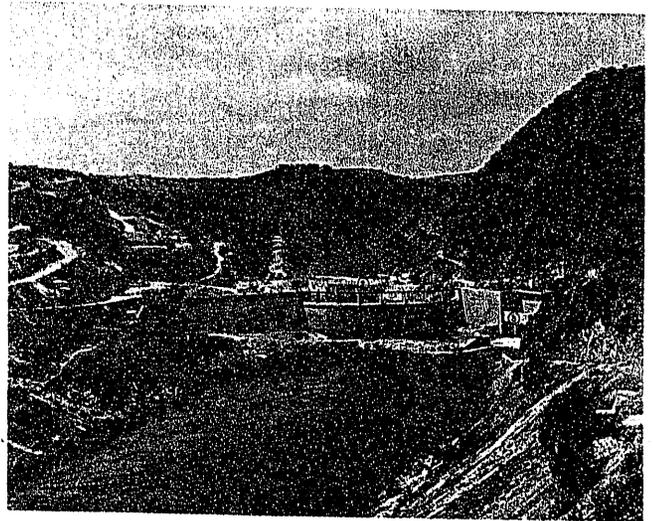


Foto 4.—1. Atagüa del Tajo; 2. Contraatagüa; 3. Túnel de desvío.

b) Ejecución y control.

Los trabajos de excavación se realizaron aprovechando los medios y elementos utilizados en los túneles de desvío.

El árido utilizado, también granítico, se extrajo de una cantera situada cerca del pueblo de Valencia de Alcántara, distante 60 Km de la obra. La cantera tenía alterada su capa superficial por lo que hubo que retirar 37.000 m³ de piedra no aprovechable. El resto del macizo ofreció roca de aspecto sano con material de grano grueso pero cruzada localmente por franjas descompuestas, que iban eliminándose mediante voladuras "ad hoc" durante la explotación de los frentes.

LA CONSTRUCCION DEL APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE CEDILLO

El hormigón de esta fase sirvió, además, para poner a punto los hormigones definitivos de la obra principal. Los áridos, por lo tanto, fueron machacados y clasificados en seis tamaños: 0,1-1, 1-5, 5-15, 15-30, 30-70 y 70-120 mm.

Es interesante destacar que para acelerar el ritmo de hormigonado de la ataguía se aplicó, con pleno éxito, la técnica del encofrado deslizante, técnica que posteriormente fue utilizada con gran profusión en los trabajos de la fase principal.

Las unidades más destacadas de esta fase han sido:

3.2. Fase III: Canal Tajo-Sever.

	Ataguía Tajo	Ataguía Sever
Excavación	142.250 m ³	43.450 m ³
Hormigones	14.380 m ³	2.900 m ³

Este canal pone en comunicación los ríos Tajo y Sever, cumpliendo una doble función: Permitir evacuar las aguas de uno a otro río por uno u otro aliviadero y alimentar las cuatro tomas con aguas de ambos ríos.

En la realización de esta fase se utilizaron los medios de ejecución de la fase II y se aprovechó para ultimar el dimensionamiento de las voladuras permitiendo iniciar la fase definitiva con todo el sistema ejecutivo a pleno rendimiento.

La excavación se llevó en cinco escalones de 10 metros de altura cada uno, aplicando, para la obtención de las superficies definitivas, la técnica del precorte, perforando a 0,50 metros en taludes semiverticales y de 0,80 metros a 1 metro en soleas horizontales. Los trabajos se completaron en un plazo de seis meses (foto 5).

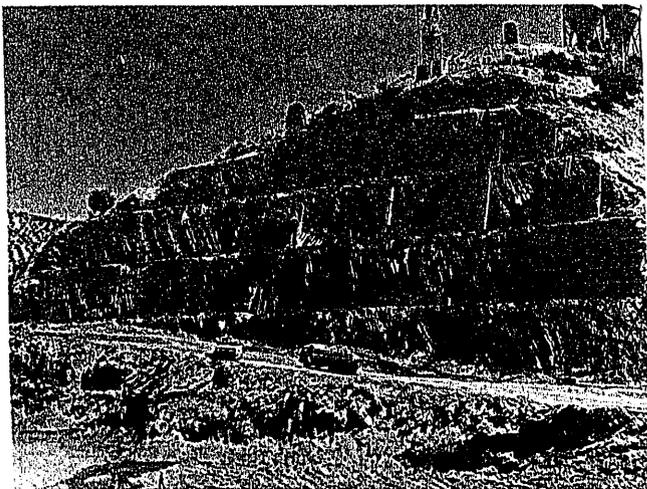


Foto 5.—Vista general de la excavación del canal Tajo-Segura.

En esta fase se produjeron las siguientes unidades fundamentales:

Excavación	450.000 m ³
Hormigón	2.500 m ³
Gunita	5.000 m ³

3.3. Fase IV: Poblados.

Las características geográficas del lugar —inexistencia de centros urbanos, en un entorno de 60 kilómetros, necesarios para albergar la afluencia extraordinaria de personal, estimada, y posteriormente confirmada, en unas 3.000 personas— obligaron a levantar un conjunto de poblados que fueron ordenados y distribuidos por empresas y zonas (foto 6). Las peculiaridades del emplazamiento aconsejaron prestar atención especial al aspecto sociocultural y por ello se construyeron: ocho escuelas de E.G.B., una capilla, una iglesia, una clínica, dos economatos, una farmacia, un supermercado, un complejo polideportivo dotado de tres piscinas, tres campos de tenis, un campo de fútbol, un campo de baloncesto, un cine-bar, una cantina y un parque infantil. Estas medidas permitieron facilitar la convivencia durante el periodo de trabajo.

3.4. Fase V: Accesos y comunicaciones.

Las fases iniciales, al realizarse desde zona portuguesa, no impusieron la necesidad de reformar la única vía de comunicación entre la obra y el resto del territorio español, vía que carecía in-

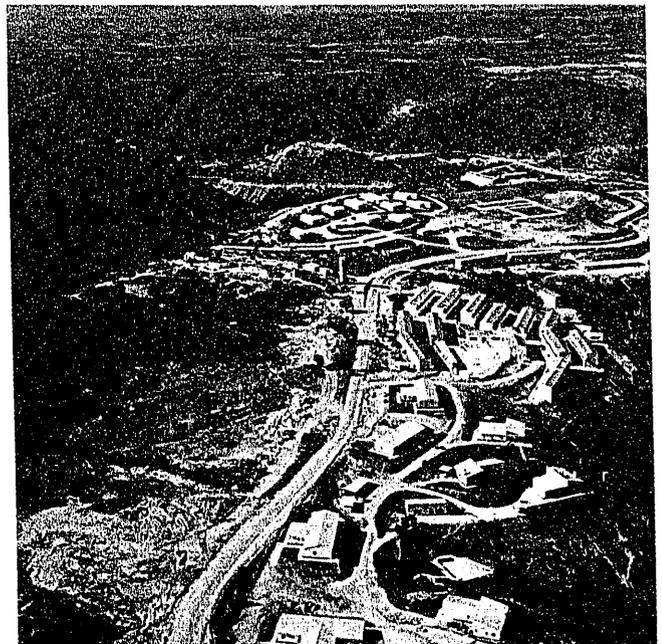


Foto 6.—Poblados. Vista general.

LA CONSTRUCCION DEL APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE CEDILLO

cluso de riego asfáltico superficial. Sin embargo, el movimiento diario previsto para la obra principal no podía ser atendido sin previamente efectuar la adecuación de los tramos directamente afectados por el tráfico, ya que dicho acceso tenía que soportar el transporte del personal no alojado en los pabellones de obra, de los materiales básicos, de los áridos procedentes de la cantera, del cemento, de los elementos metálicos, de los aceros para armaduras, etc.

En consecuencia, hubo que mejorar un total de 57 Km de carretera —comprendidos entre la cantera, la estación de FF.CC. y la obra— reforzándolos para soportar un tráfico diario de 1.500 personas, 5.000 toneladas de áridos y el paso excepcional de piezas de hasta 140 toneladas.

3.5. Fase VI: Obra principal.

Integraron la fase VI las siguientes estructuras:

- La presa de tipo arco-gravedad dividida en 21 elementos de ancho variable y cada uno de ellos divididos transversalmente en dos o tres bloques, distinguiendo en la presa tres zonas diferenciadas: Una central coincidente con los elementos de toma, otra correspondiente a los aliviaderos y una tercera que completa el cierre contra laderas.
- La central situada en territorio español y adosada al paramento de aguas abajo de la presa.
- Dos desagües de fondo situados uno en margen derecha del Tajo y el otro en la margen izquierda del Sever.
- El puente de acceso impuesto por la necesidad de acceder a la coronación de la presa desde territorio español.

3.5.1. Instalaciones auxiliares.

Una vez más las singulares características geográficas y topográficas del lugar, condicionaron el emplazamiento y la distribución de las instalaciones. La falta de espacio material obligó a situar en terreno portugués la torre de hormigonado, salvando el río Sever mediante un puente de tableros desmontables que se aprovechó para el paso de vehículos y camiones ligeros y como soporte de la estructura de las cintas transportadoras (foto [7]).

a) Machaqueo primario y secundario.

Ubicados en la cantera —a unos 60 Km de la obra— trituraron y redujeron la piedra hasta un tamaño inferior a 120 mm, que fue ensilada al aire libre en un depósito de 24.000 m³ de capacidad, previa eliminación del material de tamaño inferior a 15 mm.

b) Restantes machaqueos y clasificación de áridos.

El árido procedente del primario se trasladó hasta un silo de recepción de 16.000 m³, situado ya en la obra, desde donde una cinta de 450 toneladas por hora de capacidad lo transportó hasta el sistema de lavado y cribado, ubicado sobre una batería de silos de clasificación compuesta por:

Fracción 70-120 mm: 1 silo de 3.000 m³.
Fracción 30- 70 mm: 2 silos de 3.000 m³ cada uno.
Fracción 15- 30 mm: 2 silos de 3.000 m³ cada uno.
Fracción 5- 15 mm: 1 silo de 3.000 m³.
Fracción 1- 5 mm: 3 silos de 800 m³ cada uno.

Las arenas se obtuvieron mediante machaqueo en tres molinos de barras de 1,60 × 3,60 metros efectuando la recuperación por un sistema LAMEX.

Los áridos, antes de introducirse en la torre de hormigonado, tuvieron un tratamiento final de post-cribado y postlavado con resultados altamente satisfactorios.

c) Torre de hormigonado.

La torre principal de hormigonado tenía capacidad para producir 240 m³/hora de hormigón. Las dosificaciones se programaron mediante tarjetas perforadas.

d) Ensilado y transporte de cemento.

Los dos silos existentes, procedentes de las primeras fases, con 700 toneladas de capacidad unitaria, fueron completados con otras dos unidades de 1.500 toneladas, alcanzando así una capacidad total de ensilado en obra de 4.500 toneladas

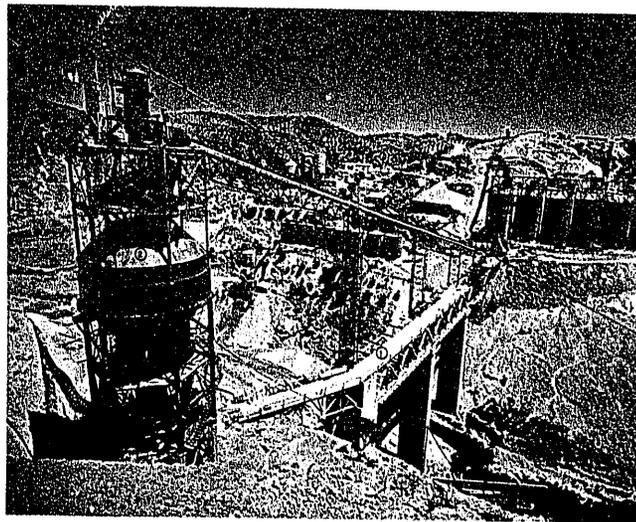


Foto 7.—Montaje de instalaciones auxiliares: 1. Puente sobre el Sever; 2. Central de hormigonado; 3. Silos de áridos; 4. Silos de cemento; 5. Instalaciones de fases I, II y III.

—incluido el silo de la torre de hormigonado—. Esta cifra permitió, pese a los fuertes ritmos diarios de hormigonado, eliminar todo tipo de incidencias negativas a causa de fallos en el suministro o transporte de cemento.

e) *Transporte y colocación del hormigón.*

Desde la torre de hormigonado se transportó el hormigón mediante silobuses de 6,5 m³ de capacidad hasta los cubos de hormigonado movidos por dos blondines de 20 toneladas de capacidad útil en el gancho. Estos blondines disponían de torres fijas en la margen derecha del Tajo y móviles, con camino de rodadura común, en la margen izquierda de los ríos Tajo y Sever. El vano a salvar fue de 690 metros de luz.

Las zonas no denominadas por los blondines se hormigonaron con tres grúas-torre de 180 metros-tonelada de par, tres grúas de 40 metros-tonelada de par, una grúa Derrick DKT-60, tres grúas móviles automotrices de 25 toneladas y una grúa automóvil de 50 toneladas.

f) *Red eléctrica.*

Estuvo integrada por una subestación transformadora principal de 10.000 KVA, con transformación de 47.000 a 15.000 V alimentada con energía procedente de España y por otra auxiliar de 2.000 KVA alimentada con energía portuguesa que fue utilizada sólo en casos de emergencia. Ambas subestaciones estaban interconexionadas y unidas a un anillo envolvente de la zona de trabajo dotado con seccionadores que permitían aislar sectores de la obra sin afectar al resto.

g) *Red de aire comprimido.*

La fuente principal de aire estuvo constituida por una batería de compresores de 72 m³/minuto de capacidad, cifra que llegó a duplicarse en momentos de demanda máxima.

h) *Red de agua.*

Se dispuso la toma en el embalse formado por la ataguía del río Tajo y constaba de un conjunto de tres bombas capaces de elevar 60 litros por segundo de agua hasta 30 metros de altura, desde donde mediante un segundo escalón de elevación, se vertía el agua en dos depósitos de 500 m³ de capacidad unitaria, situados a 60 metros por encima de la cota de coronación de la presa.

i) *Planta de refrigeración del agua.*

Las grandes dimensiones de los bloques y el fuerte ritmo de hormigonado previsto obligó a mon-

tar un sistema de refrigeración del agua de amasado, que fue utilizado únicamente durante los meses de verano. Esta planta se situó al pie de la torre de hormigonado y estuvo compuesta por un compresor de 330 CV de potencia, con evaporizador y condensador capaz de producir 900.000 frigorías/hora y rebajar la temperatura del agua de amasado hasta 10° C.

j) *Planta de calentamiento de aguas.*

Aunque del estudio previo de las condiciones climáticas locales se podía deducir la no necesidad de instalar un dispositivo especial para defender el hormigón de bajas temperaturas, con objeto de asegurar la continuidad del hormigonado, incluso en los escasos días en los que la temperatura invernal bajaba de lo permitido, se consideró conveniente instalar un dispositivo de calentamiento de agua de amasado, activado por fuel-oil y capaz de producir 1.600.000 calorías/hora, para elevar la temperatura del agua desde 10° C hasta 40° C.

3.5.3. *Materiales.*

a) *Aridos.*

Para elegir la cantera apropiada se realizó un estudio completo de las afloraciones graníticas de las zonas española y portuguesa resultando como única alternativa lógica la continuación de la explotación de la cantera abierta en la zona de Vencia de Alcántara —a 60 Km de la obra o la apertura de una nueva en Castelo da Vide (Portugal), situada a unos 30 Km. Ambas canteras reunían la calidad suficiente y, aunque, desde el punto de vista económico, parecía más aconsejable iniciar la apertura de la de la zona portuguesa, se decidió continuar la explotación de la cantera ya abierta en terreno español, ante el temor de que se pudieran presentar situaciones imprevistas, ligadas a la importación de materiales. En consecuencia, se completó la limpieza del terreno de cobertura, ampliando la explotación de la cantera hasta cinco bancos de 10 metros de altura cada uno.

Durante toda la explotación permaneció en el frente de carga un equipo de control que aceptaba o rechazaba la piedra, efectuándose, en caso de dudas, ensayos previos antes de su utilización. Cuando en los frentes se presentaban zonas de roca alterada se prescindía de ella retirándola mediante voladuras especiales. La cuadrícula de perforación fue de 2 x 2,50 metros y diámetro de dos pulgadas y media.

En la fase principal se explotaron 1.200.000 m³

LA CONSTRUCCION DEL APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE CEDILLO

de roca de los cuales 950.000 m³ se vertieron en primario y 250.000 m³ fueron rechazados por falta de calidad.

Las arenas, al ser graníticas, tenían un importante contenido de laminillas de mica, por lo que, para paliar el efecto perjudicial de las mismas, se mezclaron con un 25 por 100 de arena de río, procedente de unos yacimientos existentes en la ribera del río Tajo, obteniéndose resultados muy positivos.

b) Cemento.

El cemento utilizado fue del tipo puzolánico, con el 30 por 100 de puzolana. Estuvo controlado mediante ensayos físicos y químicos, siendo de destacar que no fue necesario rechazar ninguna de las partidas correspondientes a las 212 muestras analizadas representativas de las 238.525 toneladas suministradas. Los valores medios de las características físicas y químicas del cemento, fueron las siguientes:

Año	Composición química del cemento								Peso espec. real gr/cm ³	Sup. blaine cm ² /gr	Fraguado		Expansión autoclave t	Resistencia Kg/cm ²						Calor de hidratac. cal/gr	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	P.F	R.I.			Principio	Final		Flexotracción			Compresión			3 d.	7 d.
														3 d.	7 d.	21 d.	3 d.	7 d.	21 d.		
1972	26,0	6,5	4,9	51,9	3,9	2,1	3,0	9,4	3,0	3450	2 h 10'	3 h 40'	0,01	40	53	71	174	257	364	58	75
1973	27,1	6,8	5,2	50,0	4,2	2,6	2,6	10,3	3,1	3385	2 h 30'	3 h 50'	0,02	38	49	69	168	233	344	59	78
1974	26,9	6,9	5,4	50,0	4,5	2,1	2,1	11,4	3,1	3550	2 h 15'	3 h 50'	0,01	40	51	69	174	240	341	59	77

c) Aditivos.

Para mejorar las características y la manejabilidad del hormigón se agregó un plastificante.

d) Agua.

El agua procedió del río Tajo aunque contenía porcentajes variables de sulfatos, según distintas épocas del año, en todo momento ha cumplido las normas vigentes.

3.5.3. Ejecución y control.

a) Coordinación de los trabajos.

El fuerte ritmo conseguido en los trabajos ha sido el resultado de una completa identificación de los equipos de las empresas constructoras y el equipo de control y dirección de obra.

El análisis detallado de los diagramas de hormigón, encofrado y armaduras es, quizá, la mejor vía de demostración de lo comentado anteriormente, teniendo en cuenta además que para alcanzar estas cifras se ha tenido que trabajar en estructuras de gran complejidad (fotos 8, 9 y 10).

Para conseguir estos objetivos se tomó como base el programa general de los trabajos del que mensualmente se extractaba un resumen actualizado que contenía los objetivos a conseguir a un mes vista; a su vez este programa mensual era desarrollado mediante programas semanales cuyo cumplimiento diario era analizado en reuniones celebradas entre el director de la obra y el representante del constructor, adoptándose, en consecuencia, cuando la ocasión lo requería, las medidas correctoras pertinentes. Su aplicación era inmediata, pues las decisiones eran comunicadas

al término de la reunión a los siguientes escalones jerárquicos de las organizaciones de control y ejecución.

Esta colaboración y seguimiento del programa permitió alcanzar los objetivos propuestos en el programa inicial, destacando el hecho de que la restitución de los desvíos se realizó, después de transcurridos cuatro años de trabajos, en la fecha prefijada.

Para mejor control la obra fue dividida en 12 secciones situando al frente de cada una de ellas a técnicos cualificados tanto por parte del equipo de dirección de obra como por parte del construc-



Foto 8.—Vista aérea de las obras: 1. Puente de acceso; 2. Aliviadero del Sever; 3. Aliviadero del Tajo; 4. Central; 5. Ataguías; 6. Contraataguía; 7. Puente sobre el río Sever.

LA CONSTRUCCION DEL APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE CEDILLO

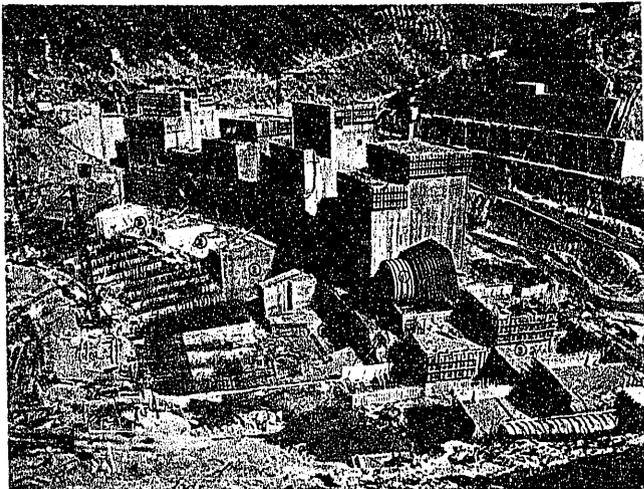


Foto 9.—Vista general de las tomas y Central; 1. Tuberías de las tomas; 2. Zona de grupos de la Central; 3. Zona de aliviaderos; 4. Canal Tajo-Sever.

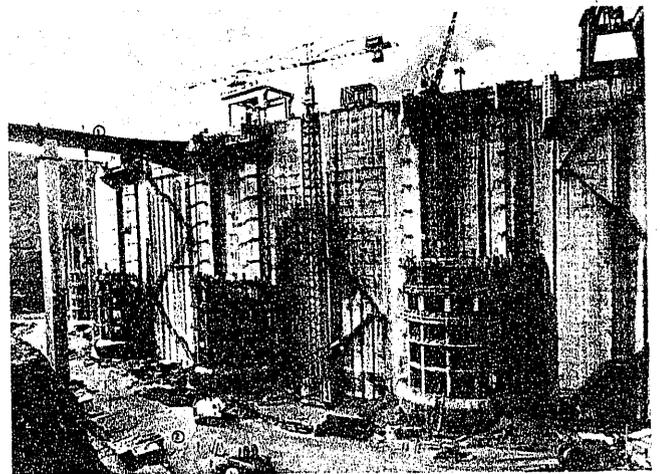
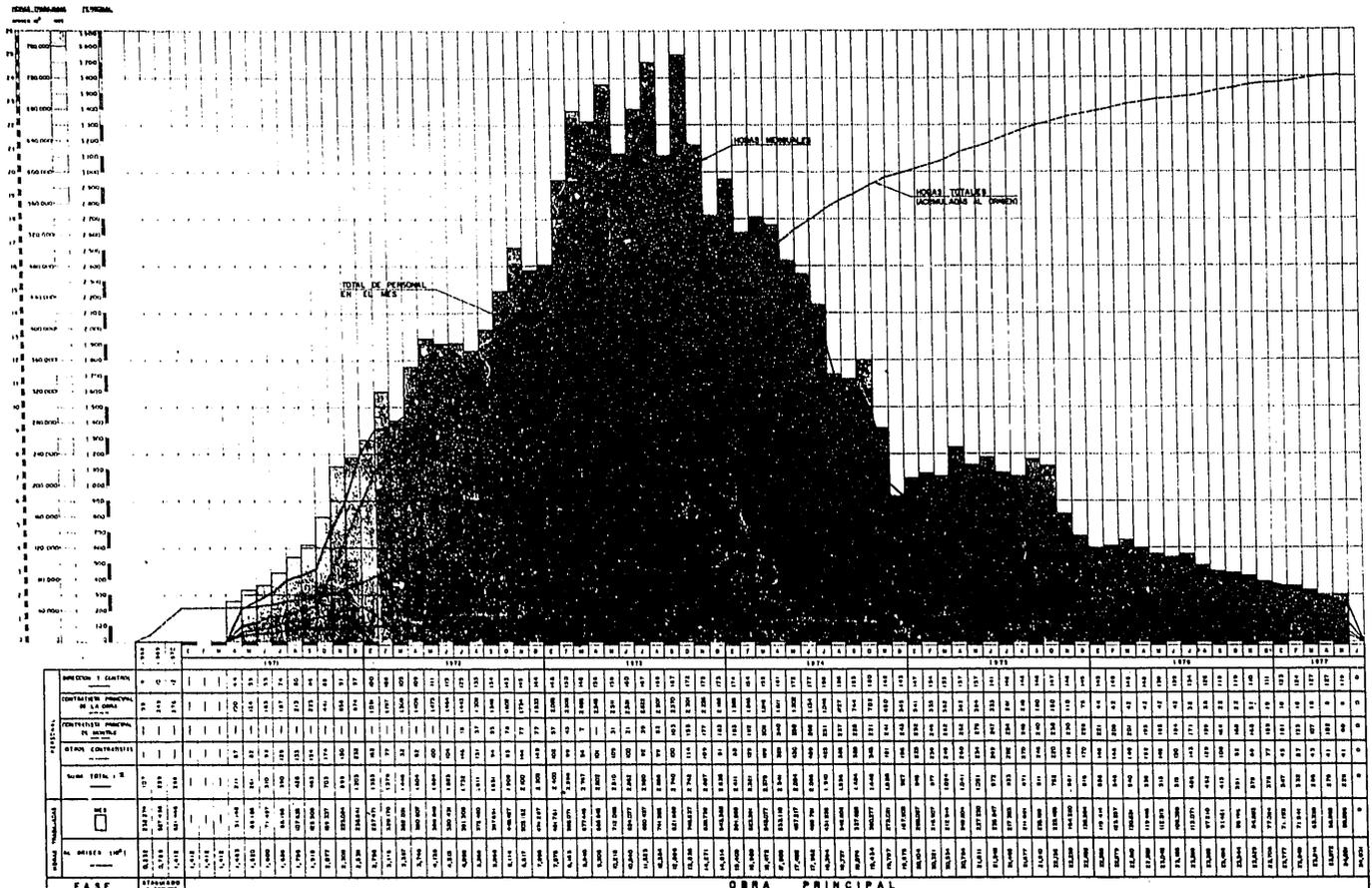


Foto 10.—Tomas estructuras porta-rejillas; 1. Puente de acceso; 2. Solera del canal Tajo-Sever.

tor. Estas secciones fueron: presa, aliviaderos, central, desagües de fondo, tomas, instalaciones, poblados y talleres, seguridad, replanteos y certificaciones, oficina técnica y varios, laboratorio y auscultación e inyecciones y drenajes.

En la figura 3 se resume la evolución real del personal total que ha colaborado en la construcción del aprovechamiento. Conviene aclarar que en la casilla denominada dirección y control de obra va incluido todo el personal de Hidroeléctrica

Fig. 3.—Salto de Cedillo. Control de personal.



LA CONSTRUCCION DEL APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE CEDILLO

Española, S. A. dedicado no sólo al control de obra o de montaje, sino también de gestión, servicios y talleres.

En el momento de mayor amplitud el equipo de control estuvo formado por los siguientes componentes directivos:

- Un ingeniero director de obra.
- Un ingeniero adjunto a la dirección de la obra.
- Ocho ingenieros técnicos para control de la ingeniería civil.
- Un ingeniero jefe de montaje electromecánico.
- Ocho ingenieros técnicos para control del montaje electromecánico.
- Un administrador en control de gestión.
- Dos médicos para higiene y medicina de empresa.
- Dos A.T.S.

Bajo este equipo directivo actuó una organización compuesta por auxiliares de topografía, téc-

nicos, administrativos, encargados y capataces, vigilantes de obra, de seguridad, personal de servicios, etc., que en el momento de mayor presencia llegaron a 166.

Indudablemente esta organización tuvo la suficiente flexibilidad para ajustarse a la evolución y necesidades de los trabajos.

b) Control de las excavaciones (fig. 4).

Las excavaciones de la fase principal se iniciaron en el mes de octubre de 1971 y concluyeron en el mes de febrero de 1974. Para su ejecución se aplicaron las técnicas más depuradas con objeto de no dañar el terreno de apoyo y respetar la geometría teórica proyectada. El nivel de la calidad del control podría resumirse indicando que se dispone de datos suficientes para replantear en el espacio cualquiera de las perforaciones efectuadas, componentes de cada una de las casi 600 voladuras principales explosionadas en esta fase.

Las superficies finales fueron tratadas todas con la técnica del precorte (foto 11). Se dedicó especial atención al replanteo; para ello se definieron las superficies a precortar por sus tres coor-

Fig. 4.—Salto de Cedillo. Control de excavación.

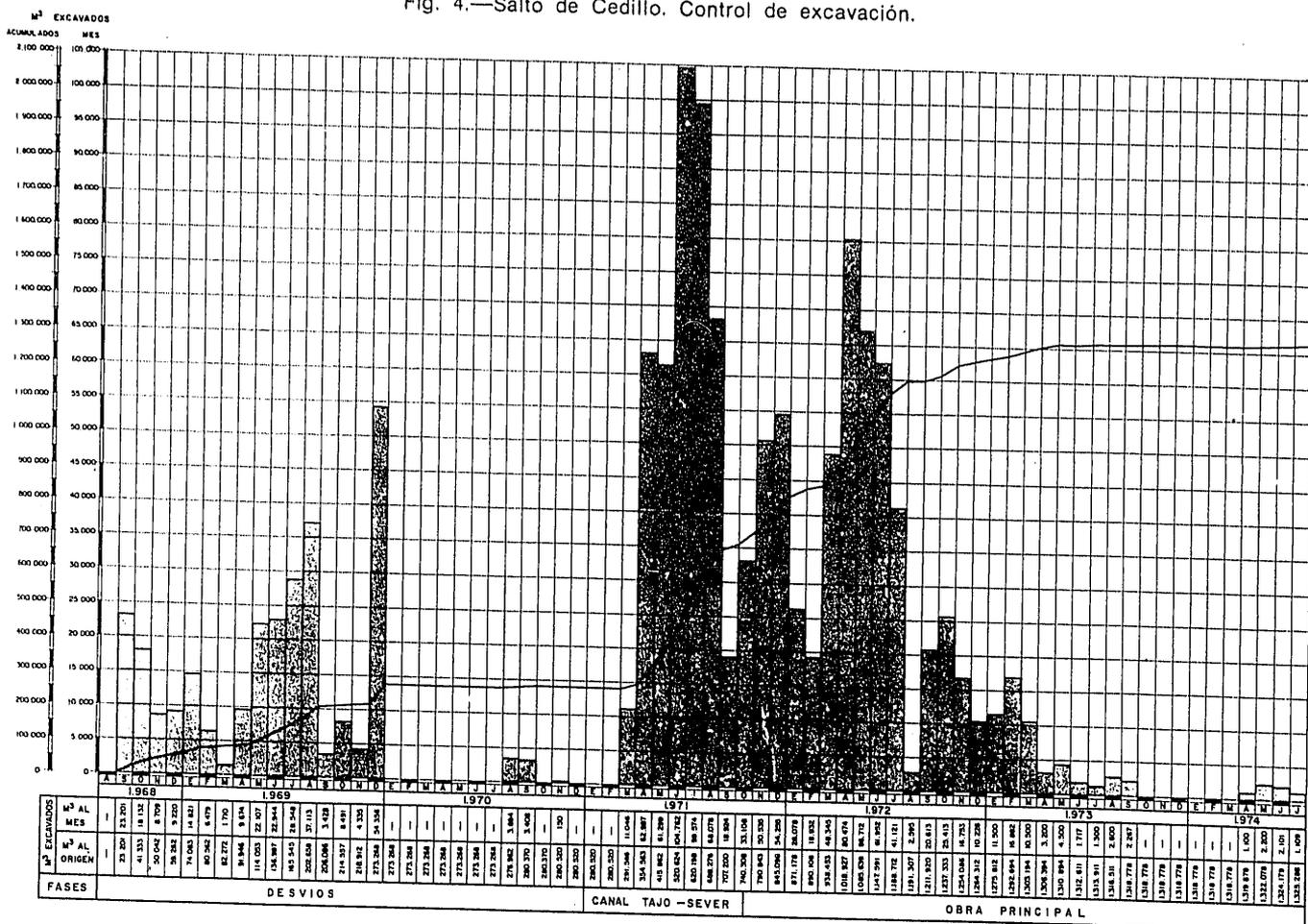




Foto 11.—Presa. Superficie de cimentación del bloque 8.

denadas espaciales, materializándolas mediante estructuras tubulares, y facilitando al vigilante los datos de cada una de las perforaciones para que comprobara tanto su profundidad como su posición. Antes de iniciar la perforación de cada voladura el constructor emitía el correspondiente plano de propuesta de carga, con expresión de la situación de cada una de las perforaciones y de su dotación de explosivos.

Esta propuesta, una vez estudiada e introducidas las correcciones que procedieran, era transmitida a los equipos de ejecución y control para su realización.

Como unidades fundamentales ejecutadas en esta actividad destacan:

Excavación en acarreo	55.918 m ³
Excavación en terreno de cobertura.	5.928 m ³
Excavación en roca a cielo abierto.	598.805 m ³
Excavación en pozo y túneles	5.093 m ³
Excavación en fracturas	4.687 m ³

Concluida la excavación de la zona y antes de cubrir la cimentación con hormigón se levantaba el plano geológico de los accidentes del terreno que iba siendo resumido hasta formar un gran mosaico que recoge las características más destacadas de los accidentes de la cimentación (figura 5).

c) *Control de hormigones* (fig. 6).

Teniendo en cuenta la similitud de hormigones de la presa de José María de Oriol y los que se iban a utilizar en el Salto de Cedillo, y habiendo iniciado los ensayos en los hormigones de la fase de ataguías, no fue difícil ajustar las dosificaciones iniciales de los cuatro tipos de hormigones previstos, que fueron:

Tipo de hormigón	Rc (90 días)	Tamaño máximo del árido
1	225 Kg/cm ²	120 mm
2	225 Kg/cm ²	70 mm
3	250 Kg/cm ²	30 mm
4	300 Kg/cm ²	15 mm

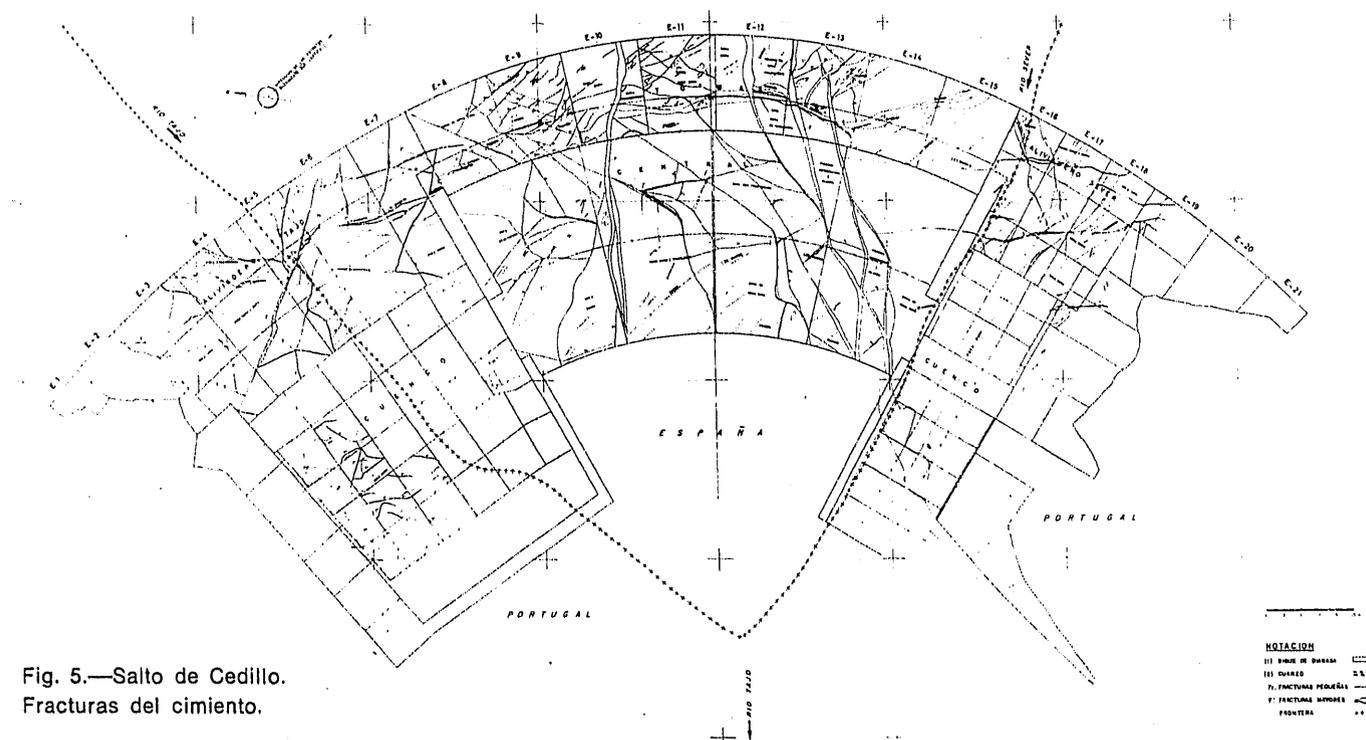


Fig. 5.—Salto de Cedillo. Fracturas del cimientó.

LA CONSTRUCCION DEL APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE CEDILLO

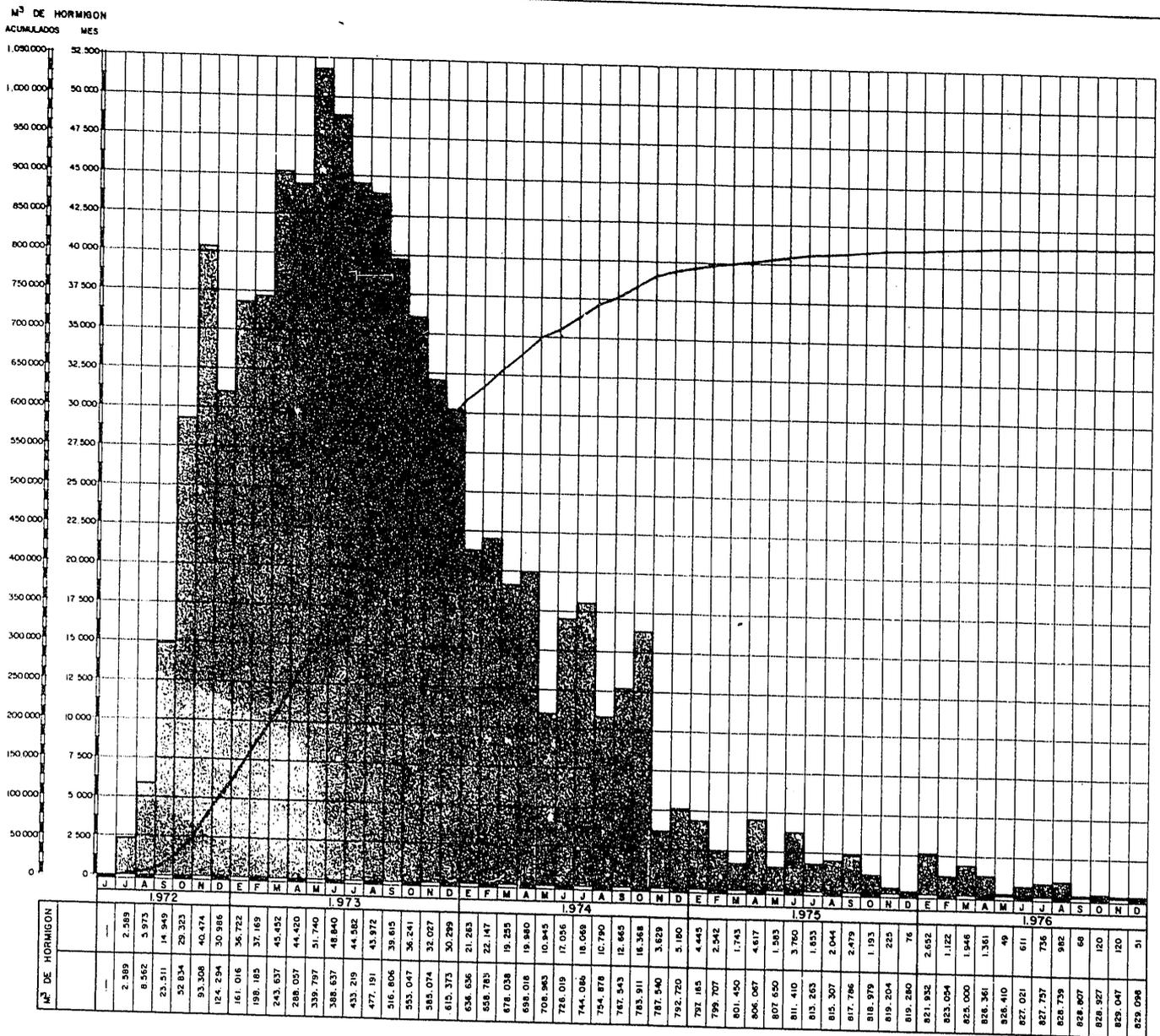


Fig. 6.—Salto de Cedillo. Control de hormigón.

En el control de los hormigones se atendía a un doble aspecto: preventivo consistente en la adopción de medidas para obtener la calidad exigida y de comprobación de la calidad alcanzada. Con carácter preventivo se controlaron los componentes del hormigón, el proceso de fabricación y el sistema de puesta en obra. Además de las medidas ya descritas se controlaron diariamente las curvas granulométricas de los áridos, duplicando esta frecuencia de ensayos en las arenas. Durante el proceso de hormigonado se realizaron 10.304 ensayos de este tipo.

Al control de la humedad de la arena se le prestó la máxima atención y, aunque la torre disponía de corrector automático, durante el hormigonado se comprobaba la humedad cada veinte

minutos y siempre antes de efectuar el cambio de silo habiéndose realizado un total de 41.323 ensayos.

La efectividad de las medidas preventivas se confirmaba mediante la toma de 18 probetas de cada una de las tongadas hormigonadas, efectuando la rotura de las mismas:

- Tres a los tres días.
- Seis a los siete días.
- Tres a los veintiocho días.
- Seis a los noventa días.

En ningún momento se permitió hormigonar sobre una tongada de la que no se conociera el resultado positivo de la rotura a tres días de las

LA CONSTRUCCION DEL APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE CEDILLO

probetas representativas, con objeto de tener la certeza de que su resistencia era superior a la exigida. Se efectuó la rotura de 46.965 probetas.

Antes de iniciar el hormigonado de cada una de las tongadas se verificaba la revisión conjunta por representantes de la dirección de obra y el constructor, levantando y firmando el parte correspondiente en el que se dejaba constancia de que era correcta la preparación en todos los aspectos integrantes de la tongada. Sin este requisito no se podía iniciar el hormigonado.

El tratamiento de la superficie final de cada tongada se completó con chorro de agua y aire a presión. El curado de los bloques se prolongó veinte días en verano y quince días en invierno. Por razones de enfriamiento de la masa, en el hormigonado entre cada dos tongadas sucesivas se guardó un período mínimo de tres días en invierno y cinco días en verano.

Para acelerar el proceso de enfriamiento del hormigón y evitar elevaciones excesivas de temperatura se dispuso de una red de refrigeración en la masa del hormigón, haciendo circular agua

tomada directamente del río Tajo, cuya temperatura inicial oscilaba entre los 10° y 18° en invierno y verano respectivamente. Esta actividad supuso la colocación de 41.500 m.l. de tubería de refrigeración.

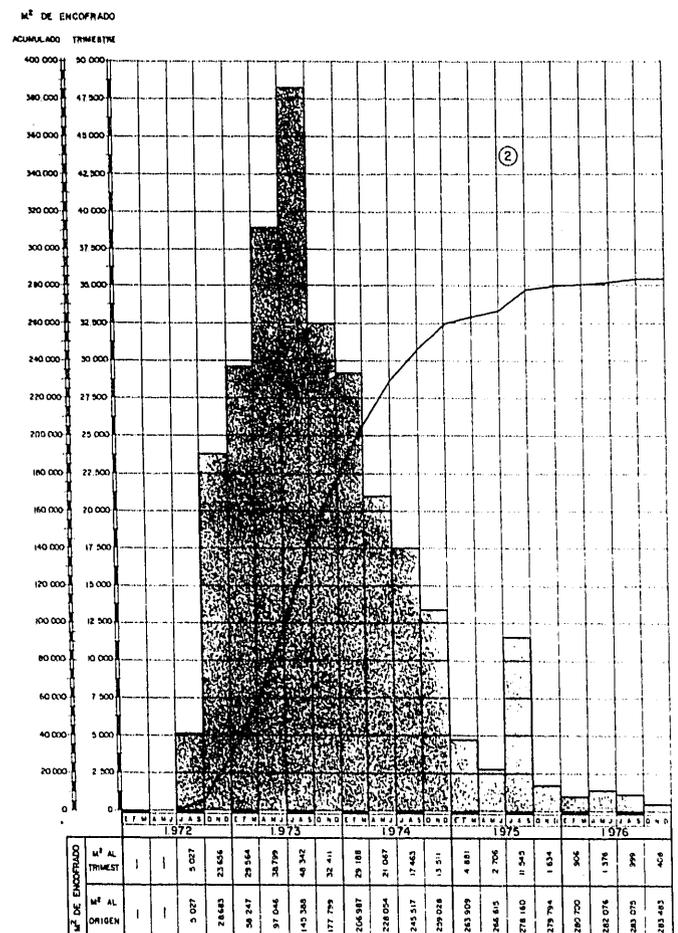
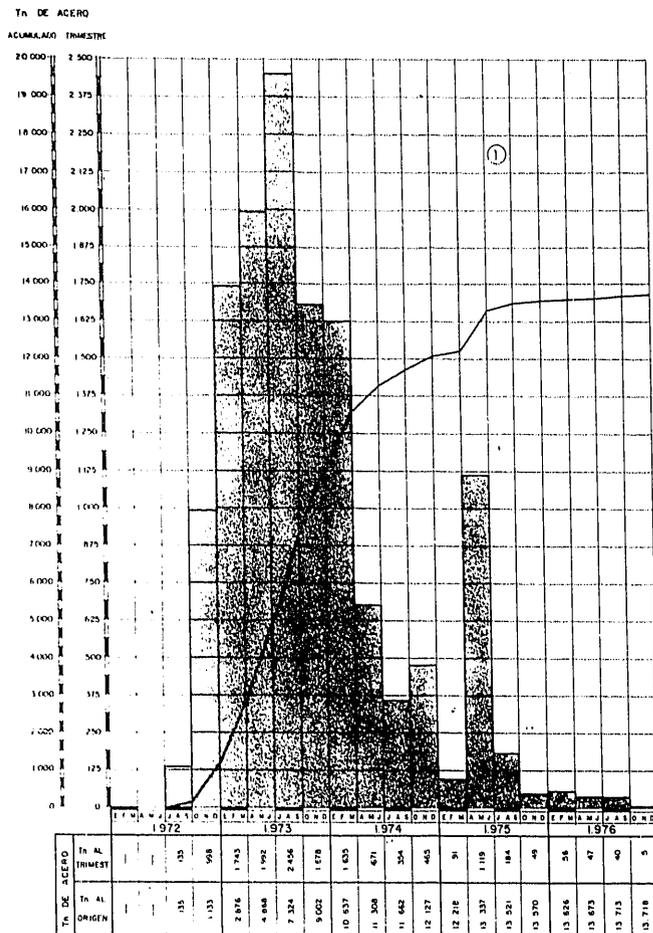
En cada tongada, antes de comenzar el hormigonado, se comprobaba la presión de funcionamiento y la inexistencia de fugas en el serpentín de refrigeración. La circulación del agua se iniciaba a las veinticuatro horas de haber concluido el hormigonado y se mantenía hasta que la temperatura del bloque descendía a 18°.

Se consiguieron puntas de hormigonado de 3.103, 50.083 y 490.375 m³ al día, mes y año, respectivamente.

d) Control del encofrado (fig. 7).

Se utilizaron, en general, encofrados metálicos y localmente de madera. La nota más destacada fue la profusión con que se aplicó a las estructuras de técnica del encofrado deslizante. Este procedimiento fue empleado en el levantamiento de las torres de compuerta de los desagües de fondo, en

Fig. 7.—Salto de Cedillo. Control de: 1. Acero; 2. Encofrado.



LA CONSTRUCCION DEL APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE CEDILLO

los bloques de las pilas de los aliviaderos, en la pila del puente de acceso, en las pilas del puente provisional sobre el Sever, en la estructura celular de la central —donde se llegaron a utilizar simultáneamente 120 gatos de ocho toneladas— y en las ranuras de los hormigones secundarios. Conviene resaltar que esta técnica permitió asegurar fechas de programación que con otros métodos no hubiese sido prácticamente imposible alcanzar.

La colocación de los encofrados fue comprobada topográficamente en todas las tongadas no permitiendo desviaciones, una vez concluido el hormigonado, superiores a un centímetro. Esta tolerancia se redujo a dos milímetros en zonas de parámetros de aliviaderos en contacto con agua a gran velocidad. Esta exigencia obligó a que, durante el hormigonado de los paramentos, se mantuviera un control topográfico continuo.

Posteriormente, las irregularidades no detectadas, o las propias debidas al material del encofrado, se corrigieron mediante la limpieza y repaso con aparatos de abrasión, de toda la superficie de los aliviaderos.

e) Control de la inyección de juntas.

La presa, estructura de planta curva, actúa como presa arco-gravedad entre las cotas de cimentación y cota 100, y como presa de gravedad de la cota 100 hasta la de coronación —cota 118—. Por lo tanto, para restituir la continuidad de los arcos bajo la cota 100, fue necesario inyectar las juntas de construcción entre bloques.

Estas juntas estaban divididas en recintos de 10 a 15 metros de altura con dispositivo independiente de inyección para cada recinto. Cada circuito fue comprobado antes y después del hormigonado de cada tongada y momentos antes de iniciar la inyección.

La inyección se efectuó introduciendo la mezcla por la parte inferior del recinto y controlándola en la salida de los tubos de purga situados en la zona superior.

En esta operación se trataron 29.648 m² de juntas, invirtiéndose 20.692 horas de personal especializado.

f) Control de tratamiento del cemento.

La red de galerías que discurren próximas al terreno de cimentación ha permitido efectuar cómodamente el tratamiento de consolidación del terreno, la pantalla de impermeabilización, y el drenaje.

g) Consolidación del contacto presa-cimiento.

Se trató el terreno hasta una profundidad de cinco metros, con separación entre secciones de taladros de tres metros. Completada la perforación de todas las secciones de cada elemento se pro-

cedió a su inyección cerrándolos a una presión de 5 Kg/cm². Las dimensiones de cemento por metro cúbico de roca tratada han variado entre 1,50 Kg en el lecho del río —elemento 7— hasta 34,33 Kg en la ladera izquierda —elemento 22—, siendo la admisión media de 5,98 Kg/m³.

h) Pantallas de impermeabilización.

Se han dispuesto dos pantallas, una principal situada en la zona de aguas arriba de la presa y otra complementaria situada en la zona inferior de la central.

La pantalla principal está constituida por taladros ligeramente inclinados hacia aguas arriba en sentido descendente y separados entre sí a cuatro metros y longitudes variables desde 25 a 40 metros de estribos a zona de cauces. Esta pantalla se completó desde las cámaras existentes en los tapones de los túneles de desvío. La pantalla complementaria se perforó desde la galería de la cen-

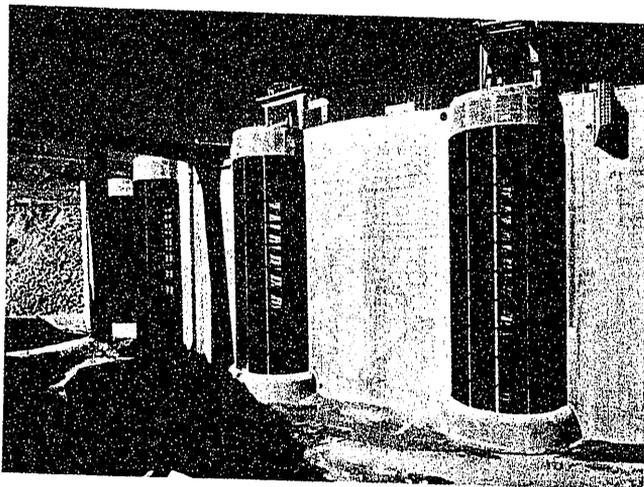


Foto 12.—Vista general de las rejillas de las tomas.

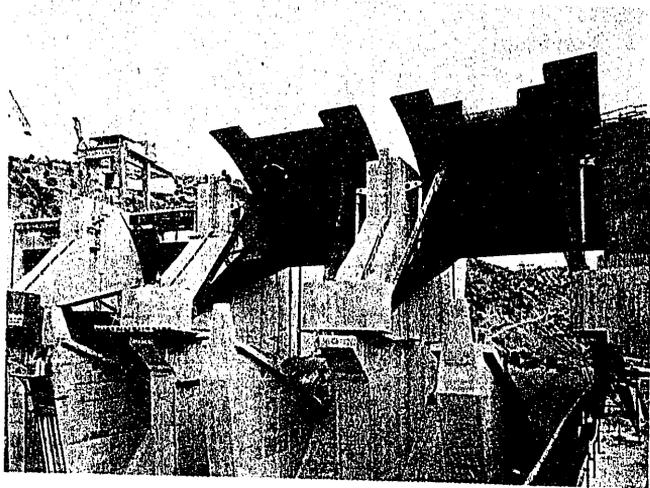


Foto 13.—Compuertas del aliviadero del Tajo.

LA CONSTRUCCION DEL APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE CEDILLO

tral, con taladros de 18,5 metros de longitud separados 3,5 metros.

Las presiones de inyección fueron:

Hasta 10 metros de profundidad.	10 Kg/cm ²
De 10 a 25 metros	15 Kg/cm ²
De 25 metros en adelante	25 Kg/cm ²

sin sobrepasar en ningún momento los 35 Kg/cm². Se realizaron 4.236 m.l., resultando una absorción media de 42,60 Kg/m.l.

i) Drenaje.

Se han dispuesto dos pantallas de drenaje: la principal situada en la presa y la complementaria en la central, habiendo perforado ambas desde las correspondientes galerías, con separación entre taladros de 4,5 metros y longitudes variables desde 12 a 29 metros. En la zona de los aliviaderos y tomas, y desde las galerías intermedias, se ha realizado una red de drenaje de la masa de hormigón mediante taladros distanciados entre sí cada 3,30 metros. El drenaje total ha quedado constituido por una red de 5.475 m.l.

3.5.4. Montaje de los equipos electromecánicos.

Una vez más las circunstancias geotopográficas tuvieron influencia decisiva en la programación de los trabajos de montaje que, en este caso, de forma especial, hubieron de estar coordinados y entrelazados con la evolución de las estructuras de hormigón, llegando a imponer, en algunas ocasiones, el orden de prioridad de construcción de las mismas.

El montaje se efectuó en cuatro ciclos:

- Montaje de blindajes de las tuberías de toma y desagüe de fondo (foto 12).
- Montaje de compuertas de los aliviaderos, de las tomas, de las aspiraciones de la central, de regulación de los desagües de fon-

do y preparación de los pórticos de recepción de materiales y puentes grúas (foto 13).

- Montaje de turbinas y alternadores (foto 14).
- Montaje de los elementos eléctricos, transformadores, embarrados de generación, cuadro de interperie a 400 kV y montaje y ajuste del sistema de control (fotos 15 y 16).

También esta actividad estuvo caracterizada por su gran complejidad, y como índice se puede citar que, refiriéndonos solamente a las compuertas, ha sido preciso efectuar el montaje de 32 unidades, cuatro de ellas de dimensiones excepcionales 18,30 x 17,81 metros.

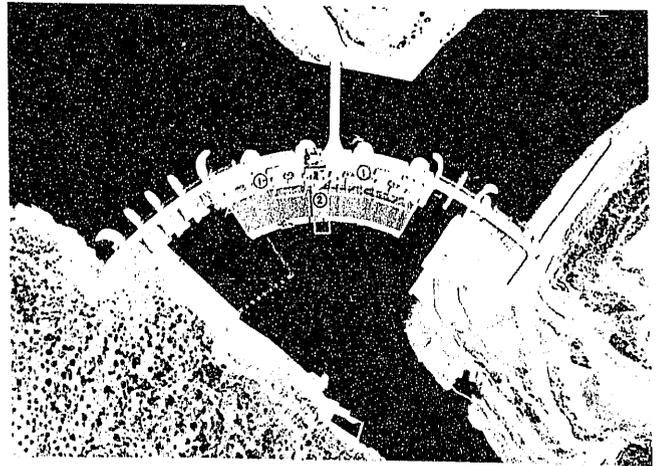


Foto 15.—Vista general del Salto terminado: 1. Zona de transformador; 2. Control; 3. Líneas de salidas.

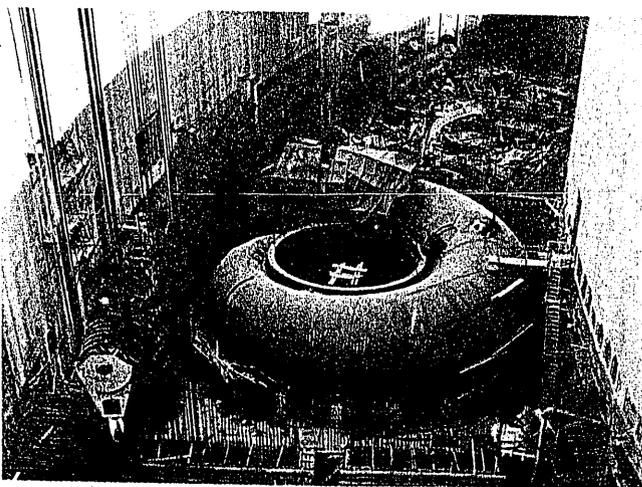


Foto 14.—Montaje de grupos cámara espiral.

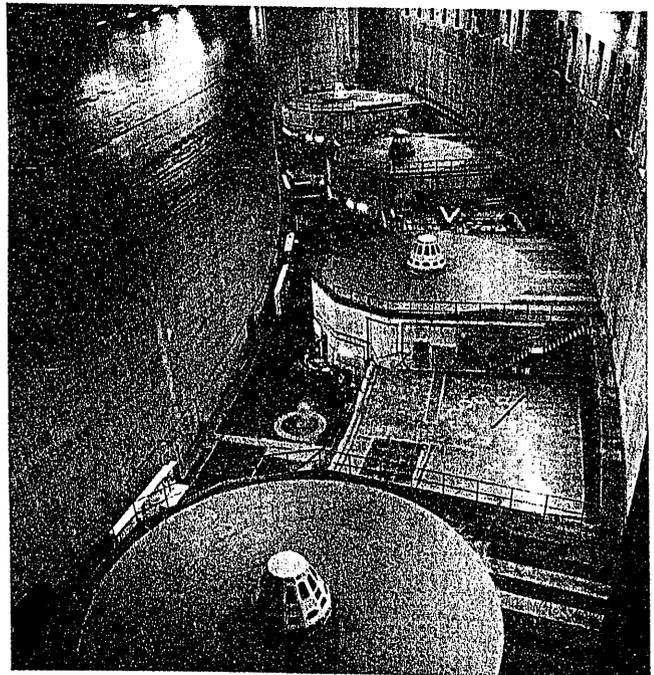


Foto 16.—Vista general de los grupos.