

# La construcción del Salto de Cortes II

Por JESUS ALCAZAR

Jefe del Departamento de Construcción de Hidroeléctrica Española, S. A.

## 1. INTRODUCCION

El Aprovechamiento Hidroeléctrico de Cortes-La Muela está ubicado en tramo-inferior del río Júcar en la provincia de Valencia y consta de dos elementos funcionalmente diferentes: el Salto de Cortes II y el Salto de Bombeo de La Muela.

El Salto de Cortes II está integrado por una presa de hormigón (Fotografía 1) de arco-gravedad de 116 m de altura, una central a pie de presa de 280.000 kW de potencia instalada en

dos grupos iguales de 140.000 kW cada uno y una presa de contraembalse de 84 m de altura, también arco-gravedad (Fotografía 2).

Este conjunto, capaz de generar unos 300 GW/h. anuales, sustituye a un antiguo salto de 30.000 kW de potencia instalada construido en el 1920.

El Salto de Bombeo de La Muela es un sistema de acumulación por bombeo puro, y aprovecha una geomorfología excepcionalmente favorable ya que el desnivel existente entre la llanura superior y el cauce del río Júcar es de



Foto 1.—Presa de Cortes II. Vista general.

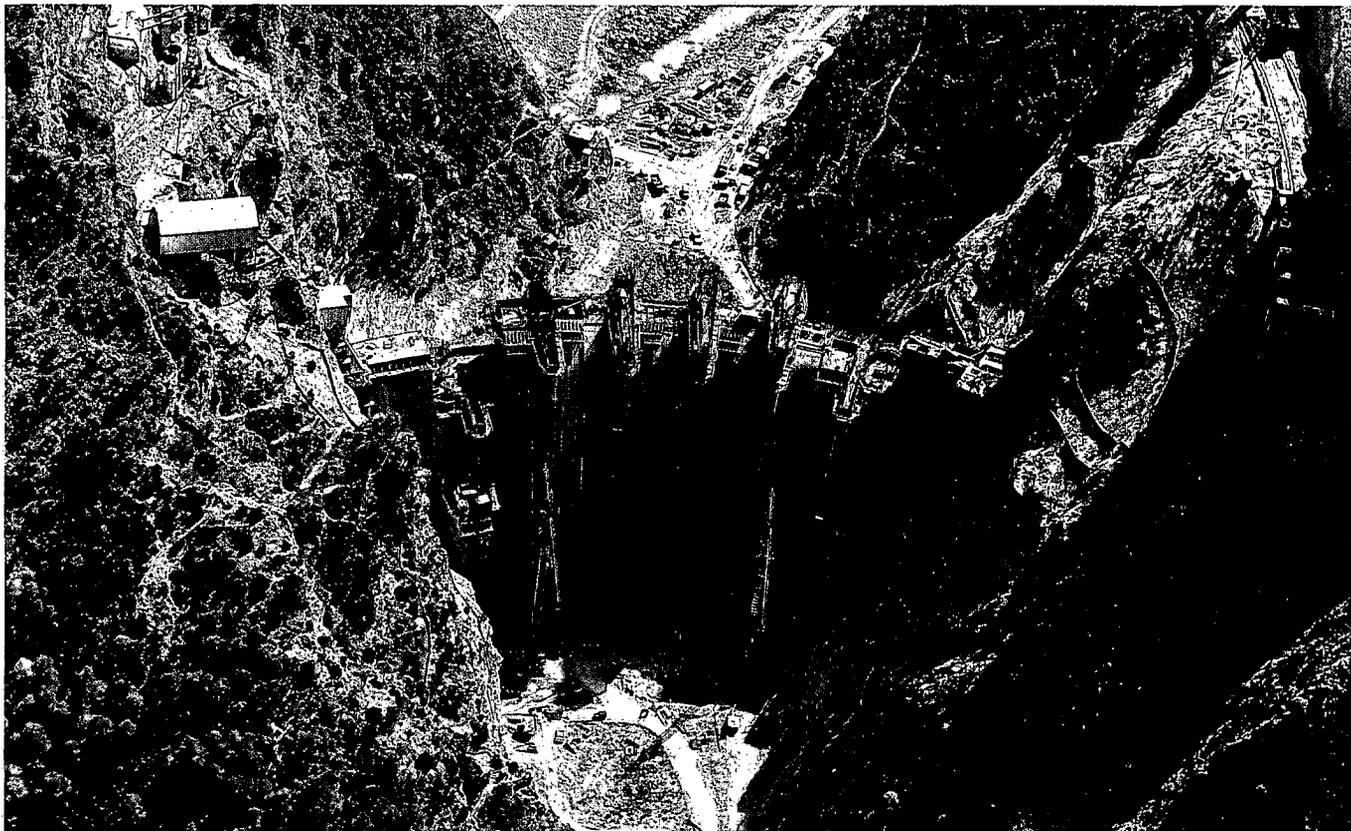


Foto 2.—Presa de El Naranjero. Vista general.

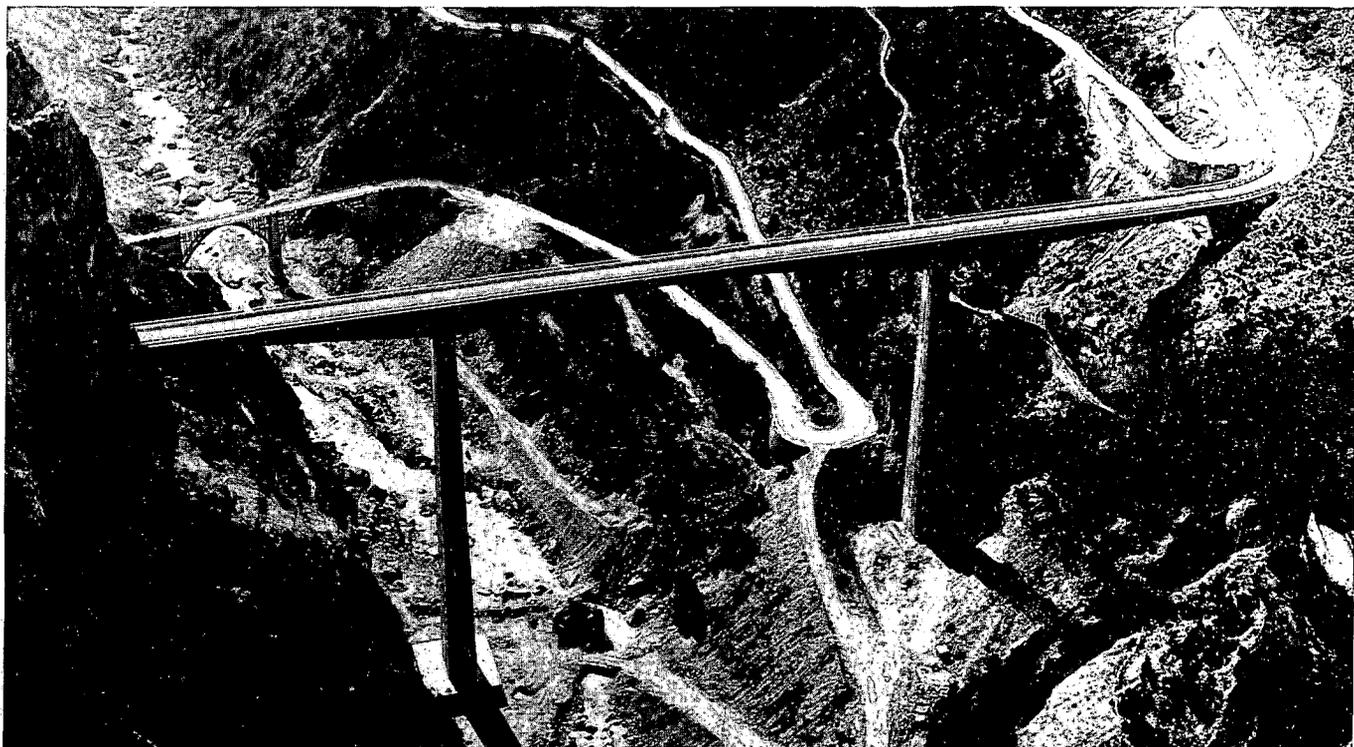


Foto 3.—Vista general del nuevo puente de Cortes.



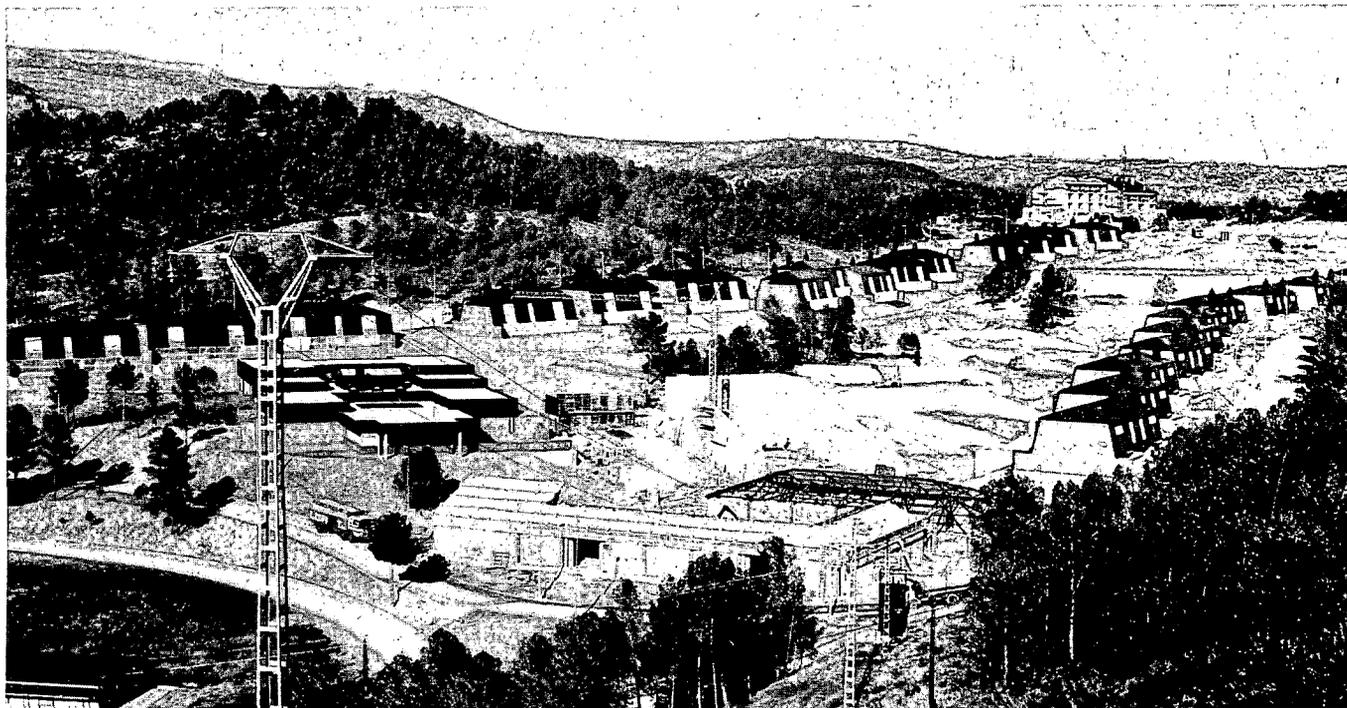


Foto 4.—Poblado permanente e instalaciones provisionales.

nes básicas imprescindibles para atender las necesidades generadas por la obra, tanto en el aspecto sanitario, como cultural, de transporte y de alojamiento (Fotografía 4).

Las obras se han realizado en régimen de contrata y en el momento de mayor actividad han intervenido en los trabajos más de 2.900 personas distribuidas en 32 empresas diferentes, llevándose invertidas en su conjunto más de 20 millones de horas-hombre.

De todas las obras que componen el Aprovechamiento Hidroeléctrico de Cortes-La Muela únicamente se va a describir el proceso constructivo del Salto de Cortes II y más concretamente el de sus dos presas.

## 2. SALTO DE CORTES II

### 1. Características Generales

Las principales características de las estructuras que integran el Salto de Cortes II son:

#### *Presa de Cortes II*

Superficie de la cuenca ... 17.149 km<sup>2</sup>  
Precipitación media anual ... 550 mm

Aportación media anual ...	1.500 Hm <sup>3</sup>
Volumen del embalse .....	116 Hm <sup>3</sup>
Superficie inundada .....	680 Ha
Tipo de presa .....	arco-gravedad
Altura .....	116 m
Longitud de coronación ..	312 m
Cota de coronación .....	332 m.s.n.m
Capacidad de vertido por aliviadero (cota 329) .....	6.900 m <sup>3</sup> /seg
N.º de desagües de fondo	2
Capacidad máxima de desagüe de fondo .....	600 m <sup>3</sup> /seg
Capacidad máxima del Túnel de desvío .....	100 m <sup>3</sup> /seg
Volumen total de excavación (incluida la centra) ..	600.000 m <sup>3</sup>
Volumen total de hormigón (incluida la central) .....	985.000 m <sup>3</sup>

#### *Contraembalse de El Naranjo*

Volumen del embalse .....	29 Hm <sup>3</sup>
Superficie inundada .....	125 Ha
Tipo de presa .....	Arco-gravedad
Altura de presa .....	84 m
Superficie de coronación ..	191 m
Cota de coronación .....	247 m.s.n.m

Capacidad de vertido por aliviadero a cota 245 .....	7.000 m <sup>3</sup> /seg
Número de desagües de fondo .....	2
Capacidad máxima de vertido por desagüe de fondo .....	500 m <sup>3</sup> /seg
Volumen total de excavación .....	147.000 m <sup>3</sup>
Volumen total de hormigón .....	401.000 m <sup>3</sup>

La planta general y las secciones tipo de ambas presas se pueden observar en la figuras 2, 3 y 4.

## 2. Programación de los trabajos

Las actividades del Aprovechamiento están prácticamente concluidas y se han desarrollado con arreglo al Plan Director de Obra inicial, recogido en la figura 1.

La ordenación de los trabajos correspondientes a las presas de Cortes II y de El Naranjero se ha realizado teniendo en cuenta, entre otros, los siguientes condicionantes:

a) La interrelación existente entre las diversas actividades y estructuras que integran el Aprovechamiento.

b) En ningún momento se debía impedir el paso de los caudales demandados por los usuarios de aguas abajo del río Júcar.

c) Existía un gran riesgo de avenida en los períodos de octubre-diciembre de cada año, como se ha podido comprobar durante la ejecución de los trabajos pues se han presentado riadas con caudales punta de 4700, 520 y 1200 m<sup>3</sup>/s en los meses de octubre 1982, noviembre 1984 y noviembre 1987 respectivamente.

e) Las máquinas del Salto de Cortes II convenía que estuvieran operativas antes de que se completara el montaje de primer grupo del salto de Bombeo de La Muela con objeto de poder utilizarlas para el arranque de este último.

f) Había que terminar la construcción de las estructuras afectadas por el embalse de la presa de Cortes II antes de que las inundara el agua de la primera embalsada.

Todo ello unido a la conveniencia de mantener en producción hasta el último momento el

Salto de Cortes I puede dar idea de la rigidez de programación y de la importancia de su cumplimiento.

## 3. Geología

Las cerradas de la presa de Cortes II y de El Naranjero están ubicadas en terrenos del Cretácico, afectando a niveles del aptense superior, albense, cenomanense y turonense.

La investigación del terreno, tanto en su aspecto geológico como geotécnico, ha sido amplia y dilatada. Los estudios previos se iniciaron en el año 1964 y han continuado desarrollándose hasta el momento de la iniciación de los trabajos (septiembre 1983); ello ha permitido disponer de un conocimiento completo del terreno pudiéndose afirmar que durante el desarrollo de los trabajos no se ha presentado ni un solo accidente geológico que no hubiera sido detectado previamente durante la campaña de investigación.

Por otra parte siempre que la programación lo ha permitido se han ordenado los trabajos de manera que ellos mismos han servido de complemento de la investigación.

Ambas presas están apoyadas en dos conjuntos: el inferior, denominado C-4 (Cenomanense), de unos 40 metros de potencia y constituido por calizas criptocristalinas y el superior, C-5 (Cenomanense-Turonense), de 65 m de potencia formado por una alternancia de margas más o menos calcáreas y calizas margosas, con múltiples intercalaciones de niveles centimétricos arcillo-margosos.

En las dos cerradas la dirección de estratificación es casi perpendicular al río, con buzamientos de 18° hacia aguas arriba en la zona de Cortes II y de 25° hacia aguas abajo en El Naranjero. El macizo cretácico está fuertemente diaclasado pero en las cerradas no existen fallas ni fracturas importantes.

## 4. Desvío

Tanto en la Presa de Cortes II como en la de El Naranjo se ha dispuesto de sistemas de desvío análogos: ataguía y contraataguía de materiales sueltos impermeabilizados con una pantalla vertical de bentonita cemento, túneles sin

# LA CONSTRUCCION DEL SALTO DE CORTES II

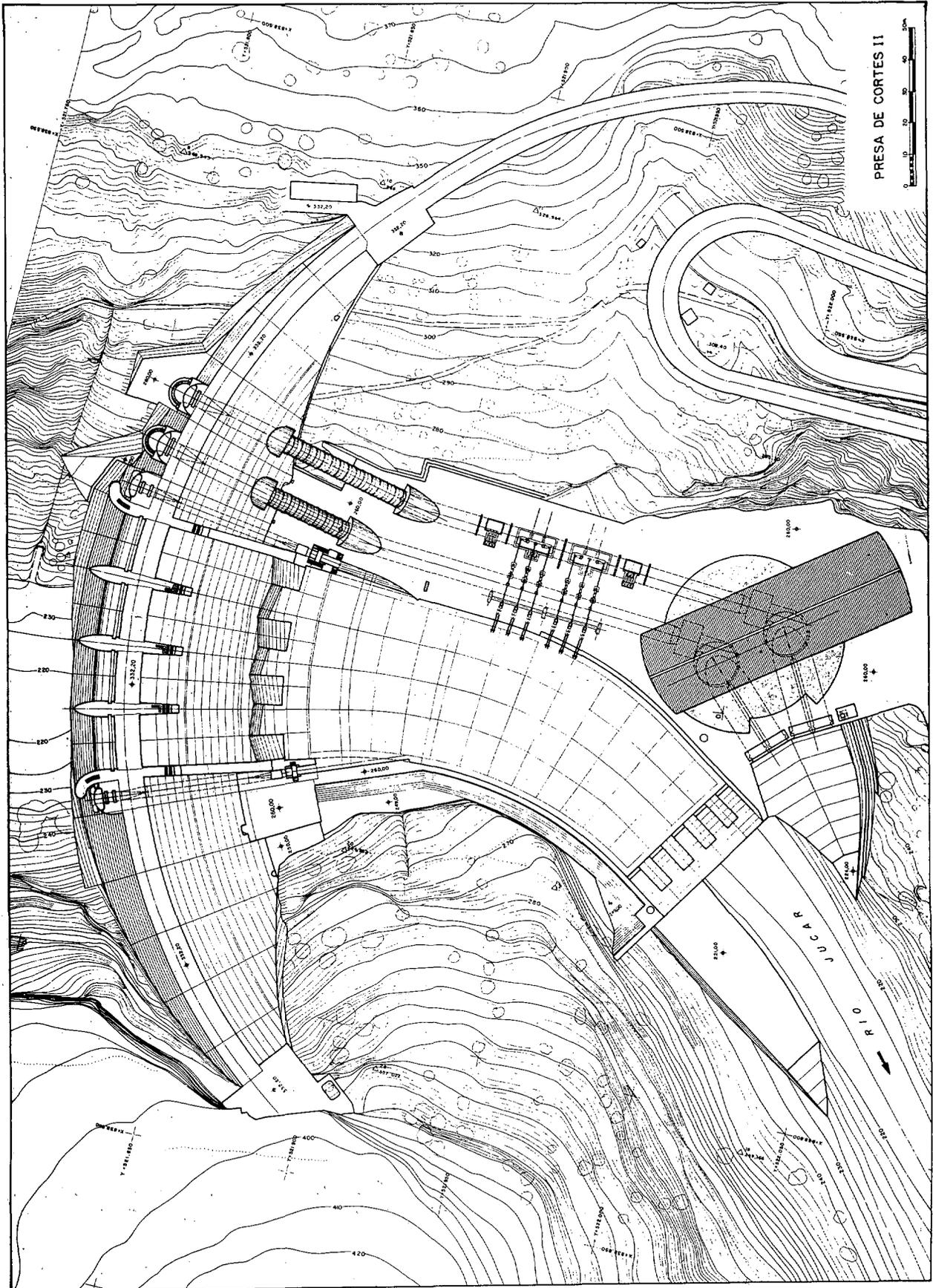


Figura 2.—Presa de Cortes II. Planta general.

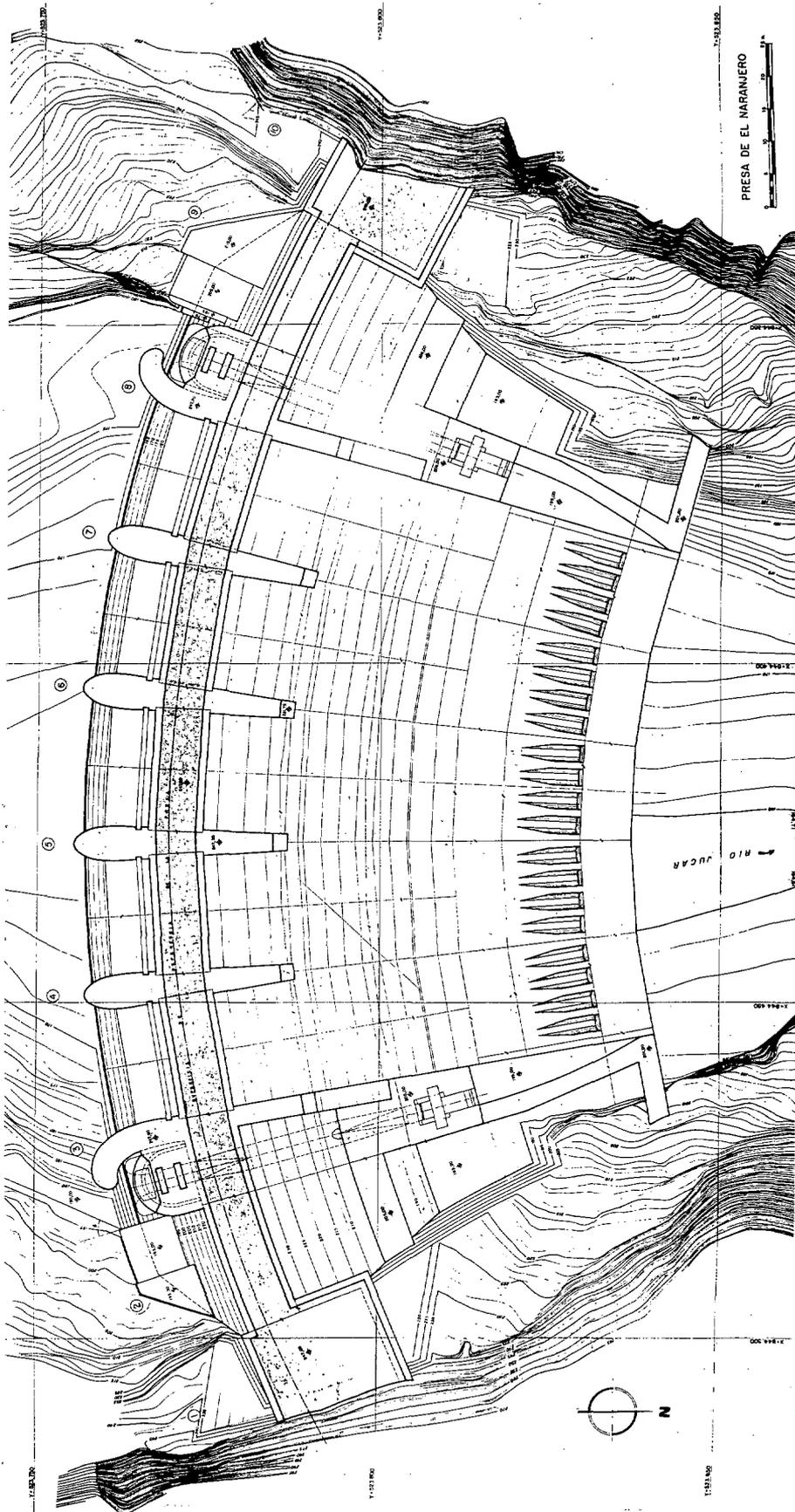


Figura 3.— Presa de El Naranjero. Planta general.

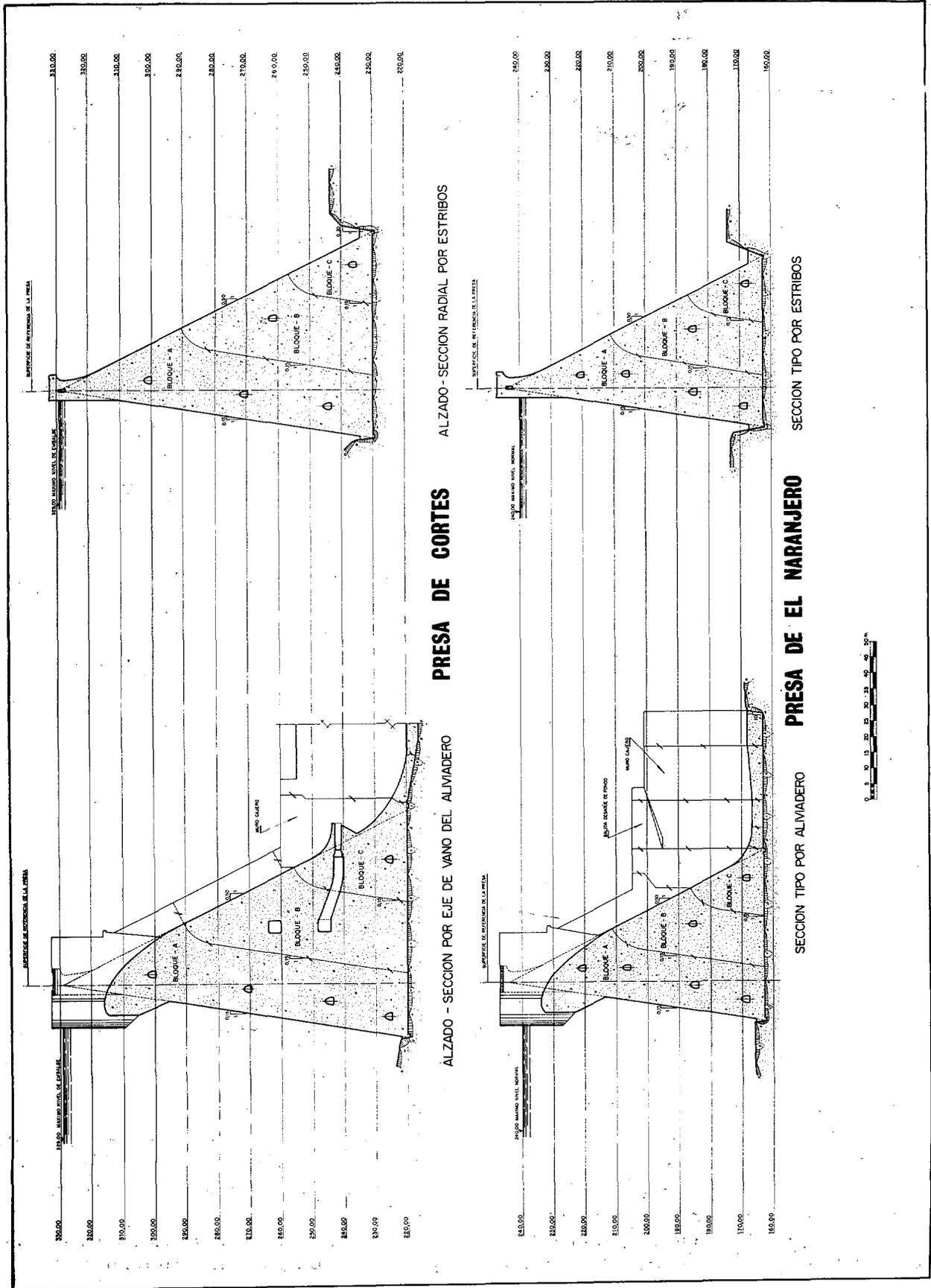


Figura 4.— Secciones tipo de las presas de Cortes II y El Naranjero.

## LA CONSTRUCCION DEL SALTO DE CORTES II

revertir de sección circular de 6,10 m de diámetro y capacidad máxima de desvío de 100 m<sup>3</sup>/seg.

La sección tipo, común para todas las ataguías, tiene 10 metros de ancho en coronación y taludes de 1:1,6 según se indica en la figura 5.

La pantalla de bentonita-cemento tiene un espesor de 0,80 m y 18 metros de altura máxima.

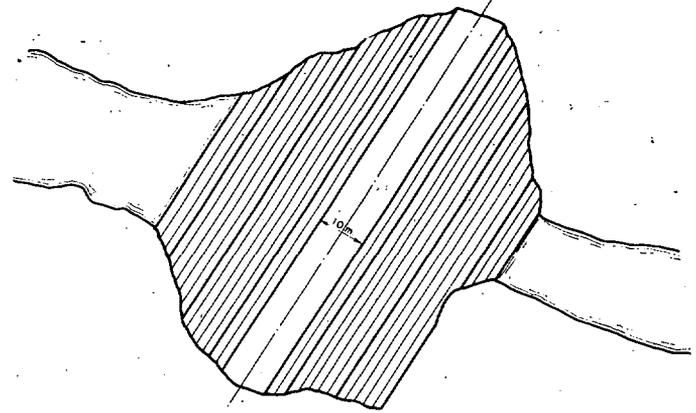
Conviene destacar que en la zona de obras, tanto en Cortes II como en El Naranjo, el río Júcar está derivado permanentemente, excepto en épocas de avenidas, por un canal que alimenta a las centrales de Cortes I y Millares, de 40 m<sup>3</sup> y 50 m<sup>3</sup>/seg de capacidad respectivamente, lo que ha facilitado la ejecución de las ataguías pues, salvo en los momentos de avenida, por el cauce del río sólo circula el caudal de escorrentía que normalmente es inferior a 2 m<sup>3</sup>/s.

Las ataguías se han constituido con arreglo al esquema indicado en la figura 5 distinguiéndose en el proceso tres etapas:

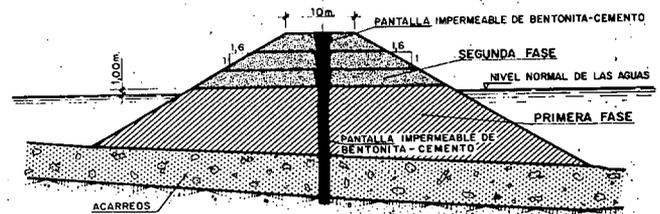
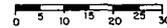
- Formación de la parte inferior con productos procedentes de las excavaciones del túnel de desvío y de la presa, vertiendo el material desde 1 m. por encima de la cota máxima del nivel de las aguas remansadas.
- Ejecución, desde la plataforma formada anteriormente, de la pantalla de bentonita-cemento a través de los productos vertidos y de los acarrees del lecho del río hasta alcanzar el fondo rocoso.
- Terminación de la zona superior elevando simultáneamente la pantalla de bentonita-cemento y los materiales de acompañamiento hasta alcanzar la cota de coronación prevista.

Con este tipo de estructuras se ha conseguido que el caudal de filtración en cada uno de los recintos ataguados haya sido inferior a 40 litros/segundo.

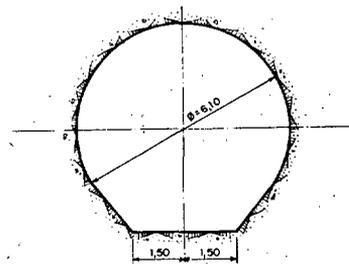
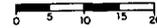
La ejecución de los túneles de desvío, de 600 y 370 m de longitud, no ha presentado problemas especiales. No se puede decir lo mismo de la de las ataguías pues la presencia en la capa de acarrees de bloques de piedra de hasta 2



PLANTA DE ATAGUIA



SECCION DE ATAGUIA



SECCION TIPO DEL TUNEL DE DESVIO

Figura 5.—Desvíos-Secciones tipo de ataguías y túneles.

m<sup>3</sup> o mayores ha dificultado los trabajos de la pantalla. Se pudo resolver el problema troceando los bloques mediante voladuras sistemáticas aplicadas en la zona de acarrees situada bajo de la pantalla. Estas voladuras se realizaron a través de perforaciones entubadas que permitieron además definir con toda exactitud la situación del fondo rocoso.

En los inviernos 1984 y 1987 sendas avenidas destruyeron parcialmente las ataguías pero en ambas ocasiones se pudo completar la reconstrucción en un plazo inferior a 15 días, sin perder el grado de impermeabilidad alcanzado originalmente, gracias a que se pudo conectar sin

dificultades especiales con el tramo de pantalla que no había sido destruido. Otro tipo de pantalla más rígida hubiera presentado mayores problemas para su reconstrucción.

La dosificación utilizada en la mezcla de bentonita-cemento ha sido de:

Bentonita ..... 60 kg  
 Cemento ..... 210 kg  
 Agua ..... 1.000 litros

alcanzándose una resistencia, a 28 días, de 2 a 3 kg/cm<sup>2</sup>.

### 5. Excavaciones

En las dos presas se ha trabajado con un sistema de ejecución similar, impuesto por las características topográficas de ambas cerradas y por la naturaleza geológica del terreno afectado.

Inicialmente se retiró la capa de cobertura



Foto 5.—Presa de Cortes II. Retirada del material de cobertura del estribo margen izquierda.

mediante pala retroexcavadora (Fotografía 5) y tractor bulldozer.

La fuente pendiente de las laderas ha permitido, cuando ha sido necesario, realizar la excavación de abajo arriba y solapar las actividades de las laderas con las de la zona central de la presa, permitiendo el cumplimiento de los plazos que imponía la programación.

La perforación se ha realizado con 4 carros LM-100, y 7 carros CM-250, 10 columnas tipo Tamrock sobre neumáticos y 12 martillos manuales, llegando a disponer de un equipo de compresores de 500 m<sup>3</sup>/minuto de capacidad conjunta constituido por 3 DT-4 y 5 LK estáticos y hasta 15 compresores móviles.

La perforación de las laderas así como la de las superficies precortadas se efectuó montando las columnas sobre andamiajes de estructura tubular.

Las zonas más accesibles: cuenco y central, se perforaron con los carros antes indicados.

La cuadrícula de perforación tipo ha sido de 1,80 x 2,20; el diámetro ha oscilado entre 2 y 3 pulgadas dependiendo del tipo de máquina y se ha utilizado como explosivo dinamita goma 2, activada por detonadores eléctricos microrretardo.

Los rendimientos medios alcanzados en la perforación han sido:

	Precorte	Destroza
Carro perforador .....	7,6 ml/hora	9,8 ml/hora
Columna perforadora .....	7,4 ml/hora	5,6 ml/hora
Martillo manual .....	3,5 ml/hora	4,8 ml/hora

El equipo de carga y excavación en escombreras ha sido variable adaptándose a las necesidades del momento. Y ha estado compuesto fundamentalmente por palas cargadoras CAT-900, CAT-966, CAT-955 Proclaim 300 y 160 y tractores D-9, D-8, D-6.

El transporte hasta la escombrera, situada a 2,5 km., se ha efectuado mediante camiones de caja reforzada de 2, 3 y 4 ejes y capacidad de carga útil variable.

Las producciones máximas mensuales alcanzadas han sido de 78.650 m<sup>3</sup> en la Presa de Cortes y 32.500 m<sup>3</sup> en la Presa de El Naranjero.

5. **Cantera**

Para la ejecución de las obras se han utilizado dos canteras. La cantera principal ha estado situada en la ladera izquierda de la cerrada de Cortes II en un macizo de unos 75 m de potencia compuesto por calizas dolomíticas, cristalinas y puras, aunque muy fracturado.

Como complemento se ha explotado otra cantera situada, al igual que la anterior, en el nivel Turonense por lo que el árido ha tenido características similares con independencia de su procedencia.

Antes de iniciar la explotación se realizó una campaña de reconocimiento destinada a definir la calidad del material obteniéndose los siguientes límites de variación, que demostraban la bondad de estas calizas dolomíticas:

Peso específico aparente	.....	2,69 - 2,78 kg/dm <sup>3</sup>
% CaO	.....	33,3 - 38,4
% MgO	.....	14,3 - 18,9
Pérdida al fuego	.....	45,1 - 46,6
Estabilidad al sulfato magnésico	.....	3,1 % - 17,3 %
Desgaste de Los Angeles	.....	30 % - 36 %

La explotación de la cantera comenzó con la retirada total de la capa de cobertura, evitando así contaminaciones innecesarias y se prosiguió volando en bancos de 10 m de altura pues al intensa fracturación del macizo impidió trabajar con mayores desniveles debido a que durante el proceso de perforación se desmoronaban los laterales del taladro; incluso los taladros de 10 metros de longitud presentaron dificultades por lo que fue necesario protegerlos con tubería de P.V.C.

Se ha perforado con carros ECM-350 y ECM-250, en cuadrícula variable dependiendo de las condiciones locales y con diámetro de 3 pulgadas.

Se han utilizado como explosivos principales nagolita y goma-2, activándolos con detonadores eléctricos y cordón detonante.

La remoción de las voladuras se ha efectuado con tractores tipo D-9 y D-8, eliminando los repiés con martillos adaptados a máquinas PROCLAIN-90 y FIAT FE-20 HD.

El aire comprimido se ha obtenido principalmente mediante compresores portátiles. El material se ha cargado con palas Carterpillar 988 y 980 y transportado con volquetes de 35 Tm de capacidad.

La ejecución total de los hormigones requiere un consumo de 3.100.000 Tm de árido útil de las que 1.800.000 Tm proceden de la cantera principal y el resto 1.300.000 Tm de la complementaria.

En la cantera principal se han removido 1.275.000 m<sup>3</sup> de los que 60.000 m<sup>3</sup> a pérdidas por ladera (debido a la fuerte pendiente de la misma) y 450.000 m<sup>3</sup> (38 por 100 del material de entrada) a rechazo por cribado a la salida del machaqueo primario-secundario, pues en la primera etapa de la explotación de la cantera se ha prescindido del tamaño inferior a 15 mm y, una vez regularizada ésta, del inferior a 8 mm.

La fracturación del macizo ha introducido dificultades adicionales como puede deducirse de los consumos y rendimientos medios siguientes, obtenidos una vez finalizada la explotación de la cantera principal.

Dinamita Goma-2	...	0,080 kg/m <sup>3</sup>
Nagolita	.....	0,430 kg/m <sup>3</sup>
Detonadores	.....	0,012 unidades/m <sup>3</sup>
Cordón detonante	...	0,217 M.l./m <sup>3</sup>
Tubería P.V.C. revestimiento	.....	0,074 M.l./m <sup>3</sup>
Carro perforador (funcionando)	.....	0,018 Horas/m <sup>3</sup>
Tractor y retroexcavadora	.....	0,0043 Horas/m <sup>3</sup>

6. **INSTALACIONES DE HORMIGONADO**

6.1. **Consideraciones generales**

Las instalaciones de ambas presas han sido dimensionadas para permitir el hormigonado de bloques de hasta 1.000 m<sup>3</sup> sin crear juntas frías entre subtongadas, pues el 80 por 100 de las tongadas tienen un volumen superior a 800 m<sup>3</sup>.

Esta condición sirvió para definir la capacidad de los sistemas de producción de áridos y de la fabricación, transporte y colocación del hormigón. Como elemento de regulación se ha



Foto 6.—Vista general de las instalaciones de hormigonado.

contado con un silo al aire libre de 100.000 Tn de capacidad, suficiente para producir unos 50.000 m<sup>3</sup> de hormigón.

Al estar ambas presas separadas entre sí 8,5 km por carretera podía pensarse en proyectar instalaciones de hormigonado independientes pero una vez elegida la ubicación de la cantera principal y presentar la zona de El Naranjo una topografía muy adversa se decidió unificar las instalaciones de producción de áridos y de fabricación del hormigón situándolas en la margen izquierda de la presa de Cortes II. (Fotografía 6), adaptándolas para fabricar 4 tipos de hormigones:

Hormigón tipo N.º	Tamaño máx. del árido (m/m)	Resistencia característica a 28 días kg/m <sup>2</sup>
1	150	190
2	75	225
3	30	225
4	15	225

Las altas temperaturas de la zona en época de verano y la gran dimensión de la mayoría de los bloques de ambas presas, con superficie comprendida entre 400/500 m<sup>2</sup>, exigían un sistema eficaz de refrigeración del hormigón. Ante la opción de enfriar el hormigón del bloque, una vez fraguado, mediante la circulación de agua a través de una red de tuberías y serpentines colocados sobre la superficie de arranque de cada tongada o la de limitar la temperatura del hormigón en el momento de su colocación se adoptó esta última pues aunque rigidiza la programación aporta ventajas notables como pueden ser: disminuir la temperatura máxima de la presa de hormigón, reducir el gradiente térmico, permitir un enfriamiento más uniforme del hormigón durante el proceso de disipación de la temperatura, facilitar la labor de preparación de los bloques durante el proceso de hormigonado e incluso, se podría afirmar, rebajar el costo de la refrigeración.

# LA CONSTRUCCION DEL SALTO DE CORTES II

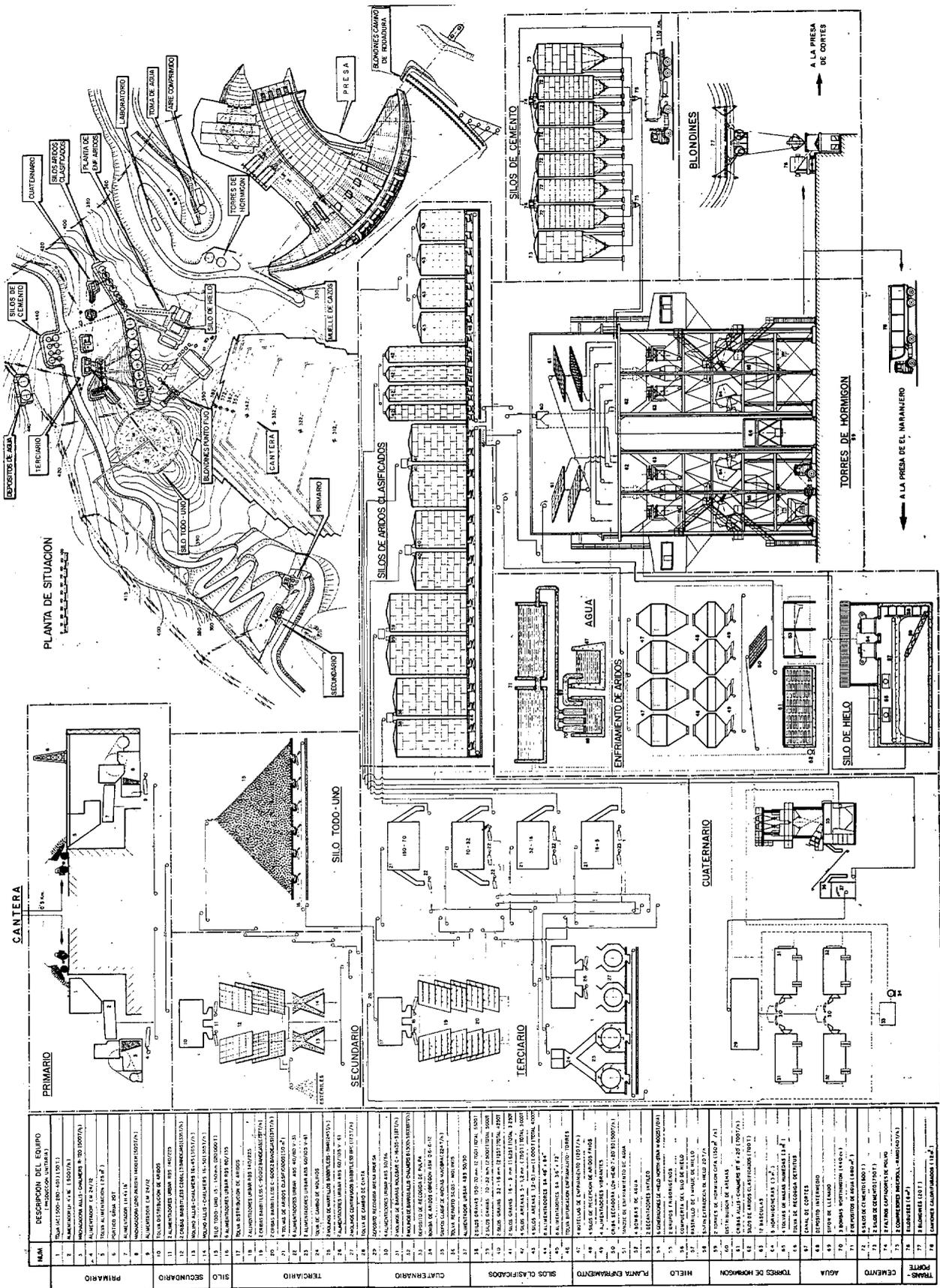


Figura 6.—Esquema general de la instalación de hormigonado

NÚM.	DESCRIPCION DEL EQUIPO	INDICACION UNIDAD
1	TRUK 14000-180-140 (10071)	1
2	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
3	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
4	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
5	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
6	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
7	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
8	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
9	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
10	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
11	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
12	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
13	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
14	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
15	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
16	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
17	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
18	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
19	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
20	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
21	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
22	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
23	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
24	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
25	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
26	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
27	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
28	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
29	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
30	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
31	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
32	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
33	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
34	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
35	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
36	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
37	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
38	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
39	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
40	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
41	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
42	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
43	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
44	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
45	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
46	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
47	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
48	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
49	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
50	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
51	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
52	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
53	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
54	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
55	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
56	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
57	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
58	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
59	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
60	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
61	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
62	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
63	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
64	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
65	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
66	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
67	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
68	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
69	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
70	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
71	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
72	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
73	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
74	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
75	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
76	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
77	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1
78	ALMOCENA 1000-180-140 (10071)	1

Con estas premisas se diseñó la instalación recogida en la figura 6 que ha tenido un funcionamiento modélico a lo largo del proceso de hormigonado.

**6.2. Instalación de fabricación de áridos**

Se ha situado en la margen izquierda en las proximidades de la cantera y de la presa de Corte II, y ha sido proyectada para producir 4 fracciones de áridos y 2 arenas distribuidas en los siguientes tamaños:

- Arido grueso ..... 150,0 - 70,0 mm.
- Arido fino ..... 70,0 - 30,0 mm.
- Gravilla ..... 30,0 - 15,0 mm.
- Garbancillo ..... 15,0 - 5,0 mm.
- Arena gruesa ..... 5,0 - 1,2 mm.
- Arena fina ..... 1,2 - 0,1 mm.

El material procedente de la cantera, de dimensión máxima del orden de 1 m<sup>3</sup>, se vertían en una tolva de recepción que alimentaba a 2 machacadoras de mandíbula de 1.000 Tm/hora de capacidad conjunta, que trituraban el producto hasta un tamaño máximo de 250 mm, que pasaba mediante una cinta transportadora hasta dos molinos de 350 Tm de capacidad unitaria, donde se reducía hasta un tamaño máximo de 150 mm. Como se ha indicado anteriormente durante la primera fase de explotación de la cantera se eliminó el tamaño inferior a 15 mm y una vez normalizados los frentes el inferior a 8 m/m. En la figura 7 se recogen los husos granulométricos del material útil y del rechazo dentro de los cuales se ha

movido la granulometría de estos productos durante el proceso de hormigonado.

El producto útil se trasladó mediante un sistema de cintas hasta el silo al aire libre de 100.000 Tm de capacidad.

Desde este silo el árido todo-uno pasa a la instalación de cribado y al machaqueo terciario, compuesto éste por dos molinos de martillos y dos molinos centrífugos de 245 y 175 Tm/h de capacidad respectivamente. Mediante un sistema completo de reciclaje se obtienen los tamaños deficitarios, especialmente los correspondientes a las fracciones 150-70, 70-30, 30-15 y 15-5, pues las arenas producidas en los machaqueos secundarios y terciario se completan con las fabricadas en el machaqueo cuaternario formado por 4 molinos de barras de 12 a 15 Tm/h de capacidad unitaria. El material producido en los molinos de barras se recupera mediante un grupo de clasificación de 224 ím/h de capacidad y se envía a los silos de productos clasificados.

Se ha contado con 8 silos para áridos gruesos y otros 8 para arenas con arreglo a la siguiente distribución y capacidad:

	Tamaño del árido mm	N.º de silos	Capacid. total (Tm)
Arido	150,0 - 70,0	2	5.520
Arido	70,0 - 30,0	2	5.000
Arido	30,0 - 15,0	2	4.250
Arido	15,0 - 5,0	2	3.250
Arena	5,0 - 1,2	4	3.000
Arena	1,2 - 0,1	4	4.000

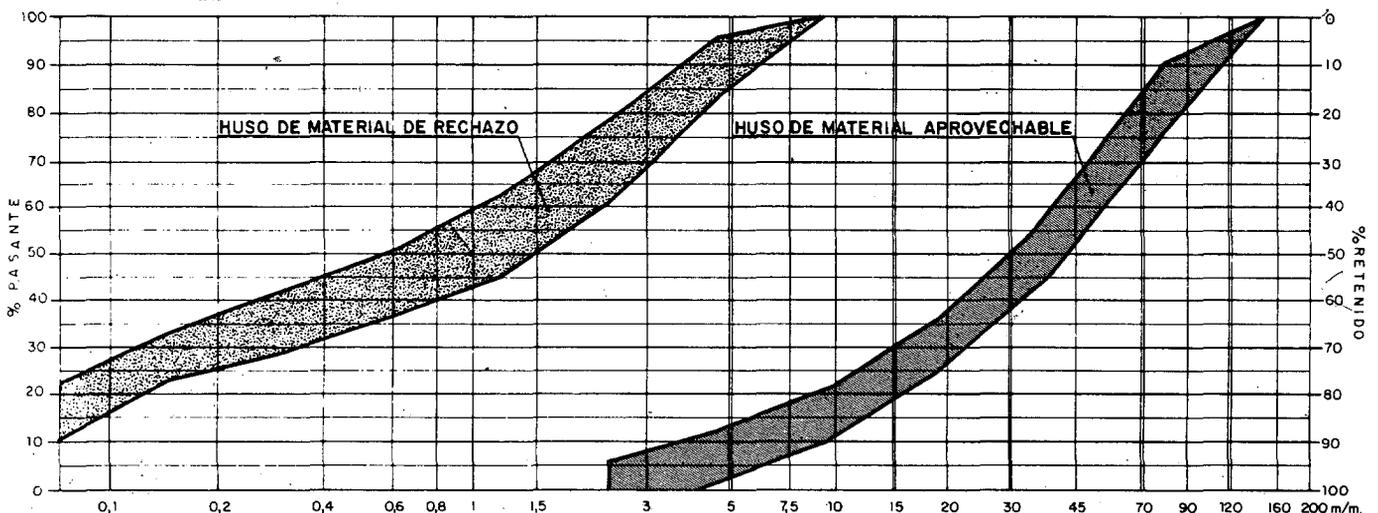


Figura 7.—Husos granulométricos del material útil (todo-uno) y del rechazo.

## LA CONSTRUCCION DEL SALTO DE CORTES II

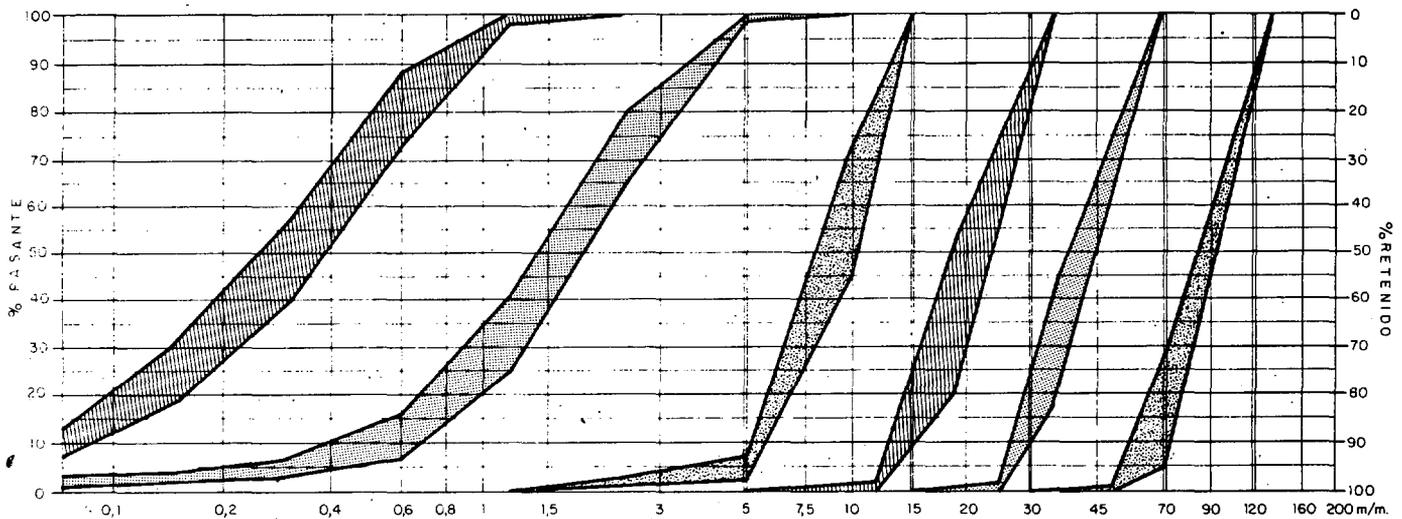


Figura 8.—Husos granulométricos de los áridos clasificados.

En la figura 8 se recogen los husos dentro de los que se ha movido las curvas granulométricas de las distintas fracciones utilizadas durante el proceso de hormigonado.

Desde estos silos el árido y las arenas se han transportado directamente hasta la planta de fabricación de hormigón mediante un sistema de cintas excepto en las épocas en las que ha sido necesario hormigonar con áridos refrigerados que previamente pasaban por la planta de enfriamiento.

### 6.3. Planta de enfriamiento de áridos

Ha estado constituida por 4 botellas de enfriamiento bajo las que se han dispuesto 4 silos de



Foto 7.—Instalaciones de refrigeración de áridos y producción de hielo.

recepción de áridos enfriados desde donde, mediante los correspondientes alimentadores, se han enviado a una cuba secadora y desde allí a través de un sistema de cintas a las torres de hormigonado (Fotografía 7).

*El esquema de funcionamiento es el siguiente:*

Desde los silos clasificadores se alimenta a las botellas con material compuesto por los cuatro tipos de áridos mezclados en la misma proporción en que intervienen en la dosificación. En estas botellas los áridos son enfriados por inmersión en agua, a temperatura comprendida entre 1° y 2° C. La temperatura del agua se consigue enfriándola previamente en un depósito de 540 m<sup>3</sup>, mediante dos grupos generadores de 740 CV y capaces de producir 1.100.000 frigorías/hora.

*En el proceso se pueden distinguir 5 etapas:*

- Llenado de las botellas con los áridos, mediante cinta transportadora y canchales giratoria de reparto. La duración de esta operación es de 15 minutos.
- Llenado de los huecos que dejan los áridos entre sí, agregando agua a temperatura comprendida entre 1.º y 2.º C. La duración de esta operación es de 5 minutos.
- Inmersión de los áridos durante 20 minutos, con lo que se rebaja su temperatura hasta dejarla comprendida entre 3º y 5º C.
- Vaciado del agua de las botellas pasando previamente por un sistema de de-

cantación y retornado al tanque de refrigeración donde de nuevo es enfriada, pues la temperatura del agua después de su contacto con los áridos se eleva hasta unos 6.º C. La duración de esta operación es de 5 minutos.

- Vaciado de las botellas pasando los áridos refrigerados a unas cribas escurridoras y desde éstas al poscribado donde son de nuevo clasificados y enviados a los silos de la planta de hormigonado correspondiente, realizándose esta operación en un tiempo de 15 minutos.

En el ciclo descrito se invierte, por lo tanto, una hora y como la capacidad de cada botella es de 146 Tm de áridos y 33 m<sup>3</sup> de agua, la producción de árido refrigerado por botella se eleva a 146 Tm/h, lo que representa una producción total de 584 Tm/h, suficiente para fabricar 278 m<sup>3</sup>/hora de hormigón refrigerado.

En el conjunto de estructuras que componen el Salto de Cortes II se han alcanzado puntas de hormigonado comprendidas entre 65.000 y 70.000 m<sup>3</sup>/mes lo que supone una producción de 135 a 146 m<sup>3</sup>/hora que comparada con la máxima posible de hormigón refrigerado, 278 m<sup>3</sup>/hora, resulta que la instalación de refrigeración de áridos ha tenido un coeficiente de cobertura elevado, del orden de 2; ello ha permitido funcionar normalmente con sólo 3 botellas de enfriamiento de las cuatro disponibles, permaneciendo la cuarta en situación de reserva ante posibles averías.

### 6.4. Planta de fabricación de escamas de hielo

El hielo ha sido producido en forma de escamas de hielo de 30 mm de longitud y 2 mm de anchura por 6 generadores marca NORTH START con una potencia de 480 CV y una capacidad global de 737.000 frigorías/hora. La temperatura de las escamas ha oscilado entre -1º a -2º C, ofreciendo unas condiciones muy favorables para licuarse durante el proceso de amasado del hormigón. Los generadores disponen de un cilindro de acero a una temperatura de -8º C, cuya pared interior es rociada con agua que al entrar en contacto con el cilindro se congela. El hielo así formado es

retirado, mediante unas cuchillas giratorias, en forma de escamas, almacenándose en un depósito cuya temperatura ambiente es de -6º C. Mediante un equipo de arrastre las escamas son enviadas a un sinfín y aplicando aire comprimido hasta el silo de la planta de hormigonado desde donde pasan a la hormigonera.

La producción de escamas de hielo ha sido de 24 Tn/día por generador, y en conjunto se ha podido contar con una producción efectiva de 120 Tn/día.

Las escamas de hielo han sido utilizadas fundamentalmente en la fabricación de hormigones de las presas en donde se ha alcanzado una punta de 50.000 m<sup>3</sup>/mes. El consumo de hielo ha sido variable dependiendo de la temperatura ambiente. El resumen de las cantidades utilizadas en el proceso de hormigonado es el siguiente:

- Durante los meses de enero y febrero no ha sido necesario amasar con escamas de hielo.
- En los meses de marzo, abril, noviembre y diciembre se han gastado de 10 a 15 kg. de hielo por m<sup>3</sup> de hormigón lo que ha supuesto un consumo de 500 a 525 Tn/mes.
- En los meses de mayo, junio, agosto, septiembre y octubre el gasto ha sido de 20 a 25 kg de hielo por m<sup>3</sup> de hormigón, lo que ha representado un consumo de 1.000 a 1.250 Tn/mes.

En alguna ocasión al exceso de humedad de las arenas ha impedido aportar la cantidad de escamas de hielo deseada, pues se habría sobrepasado la dotación máxima de agua por m<sup>3</sup>. Con ello se quiere resaltar que en este tipo de instalación es muy importante mantener permanentemente operativo el sistema de drenaje de los silos clasificados.

### 6.5. Depósito de agua

Se ha trabajado con dos depósitos de agua de 680 m<sup>3</sup> de capacidad unitaria situados en una zona elevada lo que ha permitido alcanzar una presión mínima de 2 kg/m<sup>2</sup> sobre la coronación de la presa. El agua se ha elevado me-

diante 3 bombas Worthington de 440 CV unidad.

### 6.6. Plantas de fabricación del hormigón

Se han instalado dos plantas gemelas de 150 m<sup>3</sup>/hora de capacidad unitaria, dotadas de 4 hormigoneras de 3 m<sup>3</sup> cada una de ellas y automatismo total (Fotografía 8).

Con objeto de evitar el calentamiento de los áridos una vez enfriados, se han protegido las cintas de alimentación y las plantas de fabricación de masas con un aislamiento térmico, como puede observarse en la fotografía 6 y 7.

Sobre ambas torres se ha dispuesto un sistema de proscibado por vía seca de capacidad suficiente para clasificar los áridos que, procedentes de las botellas de enfriamiento, llegaban mezclados en proporciones similares a la que intervenían en la dosificación correspondiente.

Ambas plantas disponen de 2 tolvas de masas húmedas, lo que ha permitido hormigonar simultáneamente con dosificaciones distintas sin pérdida de rendimiento.

Cada uno de los componentes del hormigón se pesa en básculas independientes, siendo las tolerancias máximas admitidas de  $\pm 1\%$  para cemento y agua y  $\pm 2\%$  para el resto de los componentes.

Es interesante destacar que las torres disponen cada una de ellas de 4 hormigoneras con objeto de hacer frente al mayor tiempo de ama-

sado que requiere el hormigón fabricado con hielo, pues no se ha permitido la colocación de masas en las que no se hubieran fundido totalmente las escamas. Con esta condición los tiempos mínimos de amasado han sido de 2 minutos en las masas fabricadas sin escamas de hielo y de 3 minutos en las masas fabricadas con ellas.

## 7. HORMIGONADO

### 7.1. Dosificación de los hormigones

Se han empleado 4 tipos de dosificación fundamentales con la composición final indicada en el cuadro I.

Como la fabricación de los primeros hormigones coincidió con el rodaje y puesta a punto de las instalaciones y con el comienzo de explotación de la cantera, el hormigón del tipo 1 se dosificó inicialmente (Enero 1985) con 230 kg de cemento por m<sup>3</sup>, cifra que se fue rebajando escalonadamente hasta alcanzar el mínimo de 185 kg/m<sup>3</sup>, pero obteniendo en todo momento las resistencias exigidas, como se puede comprobar en la figura 19.

Atendiendo exclusivamente a criterios resistentes se podría haber reducido la dotación de cemento hasta 175 kg pero no se consideró conveniente para no disminuir la impermeabilidad del hormigón.

### 7.2. Aridos

Los áridos se han obtenido por machaqueo del material procedente de las canteras citadas y han sido controlados a lo largo de los trabajos realizándose más de 1.300 ensayos de los que se recogen los valores extremos obtenidos en el cuadro II.

Conviene destacar que los finos menores de 0,08 no contienen sustancias perjudiciales para el hormigón pues están formados exclusivamente por partículas de la misma naturaleza del árido producidas en el proceso de machaqueo y que no han sido eliminadas totalmente en el tratamiento de lavado.

### 7.3. Cemento

El cemento utilizado en el hormigonado de las dos presas procede de la fábrica de

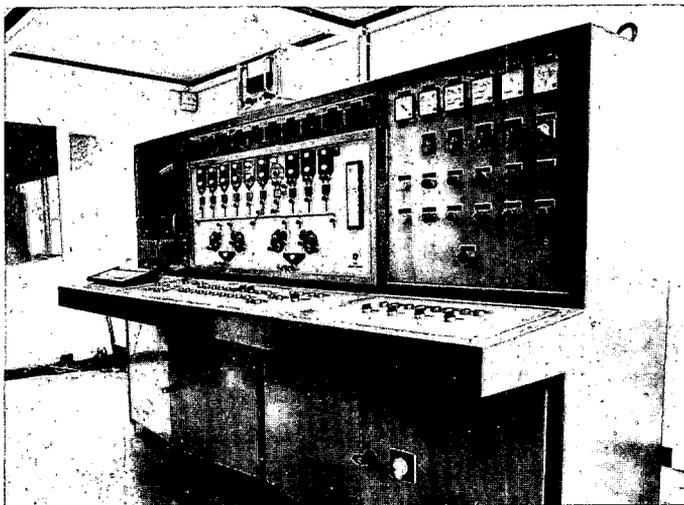


Foto 8.—Torre de hormigonado. Panel de mando.

## LA CONSTRUCCION DEL SALTO DE CORTES II

CUADRO I  
DOSIFICACION FINAL POR M3 (EN KG)

COMPONENTES	Tipo 1		Tipo 2		Tipo 3		Tipo 4	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
Arido 150,0 - 70,0	551,00	23						
Arido 70,0 - 30,0	399,00	18	645,00	30				
Arido 30,0 - 15,0	399,00	18	473,00	22	610,000	30		
Arido 15,0 - 5,0	421,00	19	475,00	22	529,000	26	832	47
Arena 5,0 - 1,2	244,00	11	312,00	14	488,000	24	525	29
Arena 1,2 - 0,1	244,00	11	255,00	12	407,000	20	438	24
Cemento	185,00		230,00		275,000		356	
Agua (Incluido hielo)	133,00		138,00		182,000		223	
Aditivo	0,56		0,69		0,825			
SUMA .....	2,536,56	100	2.528,69	100	2.491,825	100	2.374	100

CUADRO II  
RESUMEN DEL CONTROL DE ARIDOS

Ensayo tipo	Norma aplicada	% exigido	1985	Valores límites anuales	
				1986	1987
N.º de ensayos	—	—	364	662	387
Módulo de finura	ASTM C-125	< 7,15	6,99 - 7,16	6,88 - 7,08	6,77 - 7,13
Finos menores de 0,08 mm	UNE 7135	> 1,88	1,34 - 2,81	1,95 - 2,86	2,21 - 2,57
Equivalente de arena	UNE 113	< 80,00	85,00 - 93,50	91,70 - 94,20	91,00 - 95,00
Partículas blandas	UNE 7134	> 5,00	2,68 - 7,60	2,52 - 5,70	1,00 - 4,10
Coefficiente de forma	UNE 7238	> 0,15	0,19 - 0,35	0,27 - 0,33	0,23 - 0,31
Terrones de arcilla	UNE 7133	< 0,42	0,00 - 0,14	0,02 - 0,04	0,02 - 0,03
Desgaste de Los Angeles	NLT 149	< 35,00	29,73 - 33,24	28,30 - 34,50	22,90 - 29,24
Peso específico (kg/dm³)	UNE 7083	—	—	—	—
Peso específico seco		—	2,59 - 2,63	2,58 - 2,63	2,58 - 2,63
Peso específico aparente	—	2,67 - 2,70	2,64 - 2,69	2,60 - 2,66	
Peso específico Real	—		2,69 - 2,75	2,71 - 2,74	2,70 - 2,73
Absorción	UNE 7083	< 2,00	1,36 - 1,89	1,11 - 1,60	1,28 - 1,63

Puede observarse como se reduce el intervalo de variación a medida que avanza la explotación de la cantera y se uniformiza el material.

ASLAND de Sagunto situada a 110 km de la obra y ha sido transportado mediante cisternas de 25 Tn desde donde pasa, impulsado por aire comprimido, hasta los silos de la instalación.

Este cemento, de tipo PY-PUZ-275, ha sido estudiado y puesto a punto durante los años 1983 y 1984 para su utilización en estas obras habiéndose conseguido fabricar un cemento de muy bajo calor de hidratación y resistencias adecuadas a las necesidades del proyecto.

El cemento está compuesto por clinker de tipo PY y puzolanas naturales procedentes de la zona de Cofrentes, mezclados en una proporción de hasta el 35 por 100 de puzolana.

Se ha obtenido un cemento de calidad y gran homogeneidad como puede deducirse de los cuadros III y IV en los que se resumen las características técnicas exigidas y las variaciones extremas observadas en los 158 ensayos de control realizados.

## LA CONSTRUCCION DEL SALTO DE CORTES II

CUADRO III  
RESUMEN DE LAS PROPIEDADES QUIMICAS DEL CEMENTO PY-PUZ-275

Análisis	Condición exigida	1985	1986	1987
Número de ensayos	Uno por molienda	38	76	44
Índice puzolánico	Cumplirá el de Fartini a 7 ó 28 días	cumple	cumple	cumple
Alúmina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	> / 5,0 %	6,00 - 7,30	6,20 - 6,90	5,70 - 6,40
Oxido férrico (F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	> / 46,0 %	5,40 - 7,40	7,10 - 7,40	6,50 - 7,80
Oxido cálcico (Ca O)	> / 46,0 %	46,10 - 48,50	46,10 - 45,80	47,80 - 50,20
Sílice (Si O <sub>2</sub> )	> / 23,0 %	25,40 - 26,70	25,20 - 26,70	24,50 - 25,60
Anhidrido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	< / 3,5 %	2,40 - 3,10	2,10 - 2,70	2,00 - 2,60
Oxido magnésico (Mg O)	< / 5,0 %	3,70 - 4,70	3,80 - 4,20	3,60 - 4,00
Pérdida al fuego	< / 6,0 %	1,70 - 3,40	1,70 - 2,90	1,70 - 2,80
Residuo insoluble	< / 17,0 %	7,00 - 10,90	6,30 - 8,00	4,80 - 7,50
C3A en clínquer	< / 5,0 %	2,15 - 2,20	2,05 - 3,17	1,80 - 2,53

Siempre que el clínquer tenga un porcentaje de óxido magnésico inferior al 4 por 100 se considera aceptable.

El aluminato tricálcico (3CaO Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub>) según Bogue no debe ser superior al 5 por 100 con una tolerancia máxima del 1 por 100 medido sobre el clínquer, pero este control sólo se realiza si el promedio diario de C<sub>3</sub> A es superior al 5 por 100.

CUADRO IV  
RESUMEN DE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL CEMENTO PY-PUZ-275

PROPIEDADES FISICAS	CONDICION EXIGIDA	VALORES LIMITES OBTENIDOS		
		1985	1986	1987
N.º de ensayos	Uno por molienda	38	76	44
Finura de molido	Residuo máximo en tamiz 4100 mallas/cm <sup>2</sup> ≤ 10 %	1,4 - 5,2	2,5 - 3,7	1,5 - 3,4
Superficie específica BLAINE	> 3000 cm <sup>2</sup> gramo	3787-4086	3767-4222	3770-4121
Peso específico real	> 2,95	3,08 - 3,12	3,10 - 3,18	3,09 - 3,15
Principio de fraguado	Después de 2 horas	2,30 - 3,30	2,50 - 3,10	3,00 - 3,30
Final de fraguado	Antes de 5 horas	3,50 - 4,45	3,30 - 4,30	4,00 - 4,50
Expansión Chatelier	Separación ≤ 10 mm	0,00 - 2,00	0,00 - 2,00	0,00 - 2,00
Calor de hidratación a 21° y 7 días	< 55 cal/gramo	45,00 - 50,00	45,00 - 51,00	45,00 - 52,00
Calor de hidratación a 21° y 28 días	< 65 cal/gramo	52,00 - 61,00	52,00 - 59,00	53,00 - 61,00
Proporción de puzolana	≤ 30 %	35 %	35 %	35 %
Humedad máxima	≤ 1,5 %	0,70 - 1,80	0,70 - 0,90	0,70 - 0,90
Resistencias a flexotracción				
3 días	25 kg/cm <sup>2</sup>	32,00 - 36,00	35,00 - 40,00	33,00 - 38,00
7 días	35 kg/cm <sup>2</sup>	42,00 - 49,00	45,00 - 51,00	46,00 - 50,00
28 días	45 kg/cm <sup>2</sup>	58,00 - 66,00	61,00 - 66,00	48,00 - 68,00
Resistencias a compresión				
3 días	125 kg/cm <sup>2</sup>	157,00 - 172,00	161,00 - 179,00	164,00 - 192,00
7 días	175 kg/cm <sup>2</sup>	211,00 - 252,00	219,00 - 250,00	193,00 - 255,00
28 días	275 kg/cm <sup>2</sup>	288,00 - 327,00	304,00 - 326,00	308,00 - 352,00

La resistencia, exigida a 3 días tiene carácter orientativo.  
En el calor de hidratación se ha admitido una desviación máxima de 5 cal/gr.

Además de las condiciones indicadas en los cuadros III y IV el cemento a su entrada en el silo de obra no debía tener una temperatura superior a 60° C, por lo que para asegurar esta condición se instaló en la fábrica un dispositivo de enfriamiento del polvo.

El cemento se fabrica en molindas de 2.000 Tm que se almacenan íntegramente en uno de los 2 silos de 2.000 Tm de capacidad útil que se han montado para el servicio exclusivo de estas obras. El transporte no se realiza hasta que no se confirma que el cemento cumple la normativa exigida.

En la figura 9 se resume la evolución de las medias mensuales de las resistencias características a compresión de las muestras de cemento.

#### 7.4. Aditivos

Inicialmente no se consideró necesaria la inclusión de aditivos en el hormigón pero cuando se redujo la cantidad de cemento a 185 kg se decidió agregar plastificante POZZOLITH MBL-80 en la proporción 2,5 por 1000 en peso.

El aditivo ha sido suministrado en camiones cisternas de 20 Tn, almacenándose en 3 depósitos de 12.000 metros de capacidad situados en las inmediaciones de las plantas de hormigonado.

Cada partida ha sido ensayada previamente y debía cumplir las siguientes condiciones técnicas:

- Aspecto físico . . . . Líquido homogéneo sin grumos ni adherencia a las paredes.
- Color . . . . . Marrón oscuro-negro
- Densidad aparente 1,198 ± 0,02 kg/dm<sup>3</sup> a 20° C.
- Contenido en materias sólidas . . . . . 41 % ± 2,5 %
- Ph . . . . . De 4 a 5,5 a 20° C
- Contenido de cloruros . . . . . Máximo 1 gr/litro.
- Viscosidad . . . . . Valor aproximado entre 40-60 centipoises a 20° C
- Materias insolubles Máximo 0,4 %.

#### 7.5. Puesta en obra del hormigón

El hormigón, fabricado en las plantas de hormigonado en masas de 3 m<sup>3</sup>, ha sido transportado a la presa de Cortes II mediante silobuses de 6 m<sup>3</sup> y a la de El Naranjo en camiones calorifurados de 12 m<sup>3</sup> de capacidad.

En la presa de Cortes II el hormigón se ha colocado en el bloque mediante 2 blondines de sector de 20 Tn de capacidad útil en gancho que podían mover conjuntamente una carga de 40 Tn.

En la Presa de El Naranjero, situada a 8,5 km de la planta de hormigonado, se ha dispuesto de dos tolvas de recepción de 50 m<sup>3</sup> de capacidad conjunta en las que vertían el hormigón los camiones calorifugados. Desde estas tolvas el hormigón pasa a unos silobuses que deslizan sobre vías, y que cargan cubos de 4 m<sup>3</sup> de capacidad que son trasladados por 2 blondines de 12,5 Tn útiles en gancho hasta el bloque.

En ambas presas el hormigón se ha extendido con tractores de empuje Cartepillar D-38 y Komasut D-31 y vibrado mediante grupos de vibradores oleohidráulicos tipo Urbar VH-15 de 150 m/m de diámetro, accionados por máquinas Guria y Proclain 75.CKB, capaces de manejar simultáneamente 6 vibradores, y por tractores Cartepillar D-3B, capaces de actuar con 4 vibradores. Fotografía 9.

La frecuencia de vibración ha oscilado entre 7.000 y 8.000 revoluciones por minuto depen-



Foto 9.—Equipo tipo de vibración del hormigonado.

# LA CONSTRUCCION DEL SALTO DE CORTES II

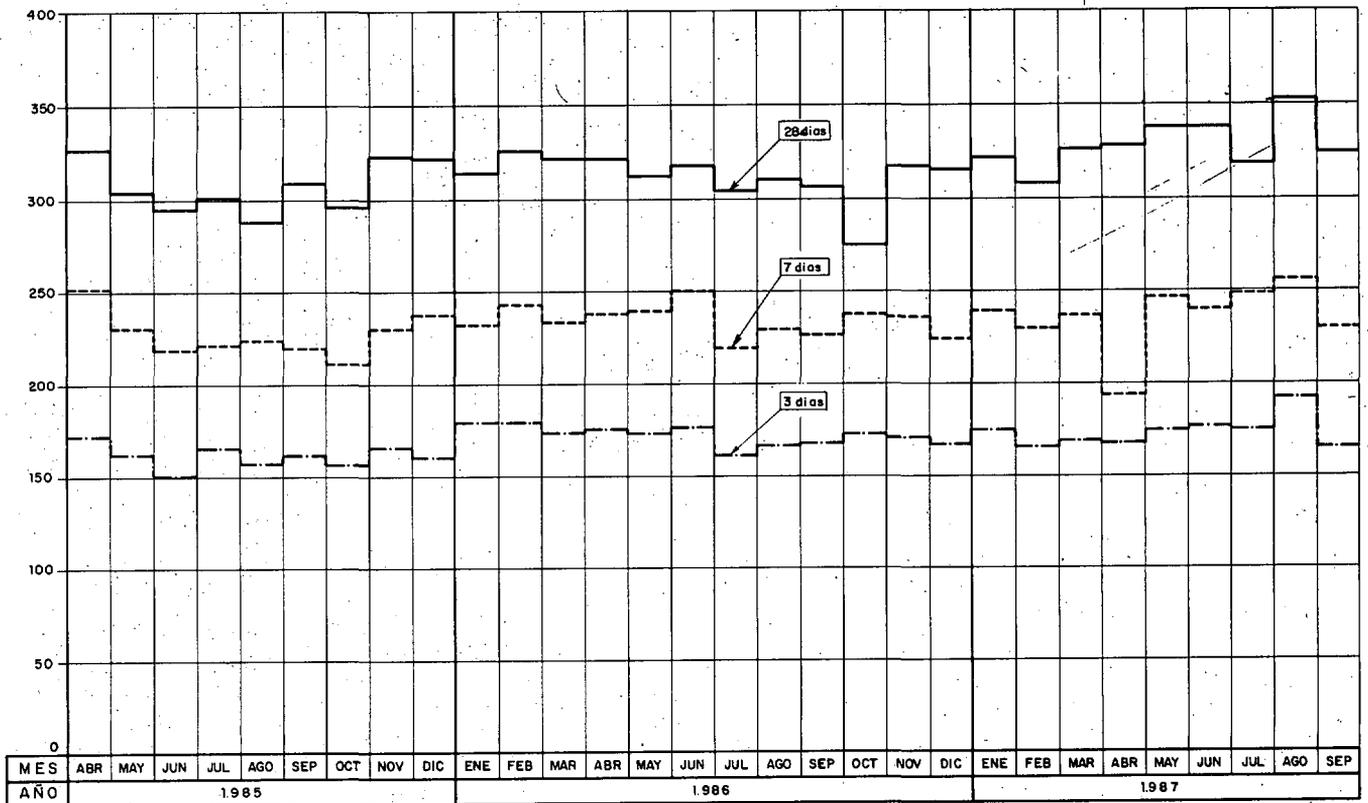


Figura 9.—Evolución de las medias mensuales de las resistencias características a compresión de las muestras del cemento.

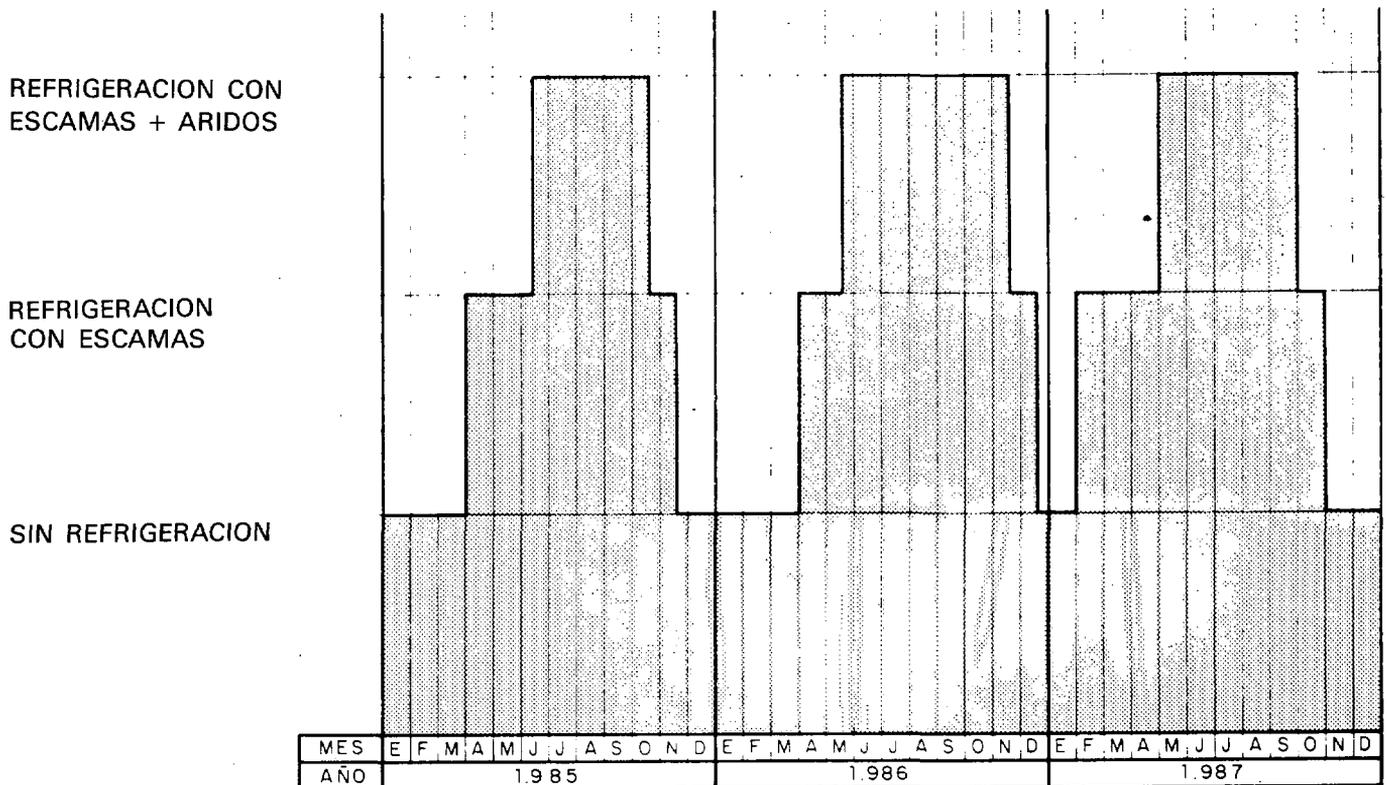


Figura 10.—Sistemas de refrigeración del proceso de hormigonado.

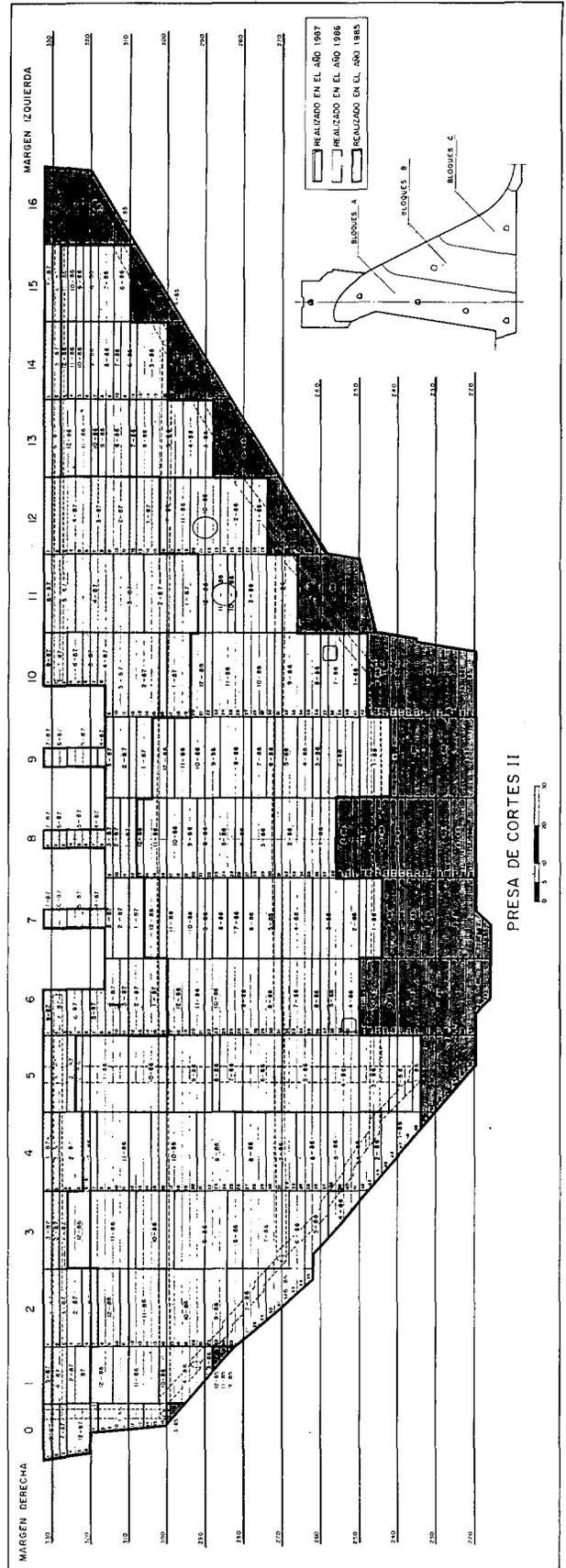
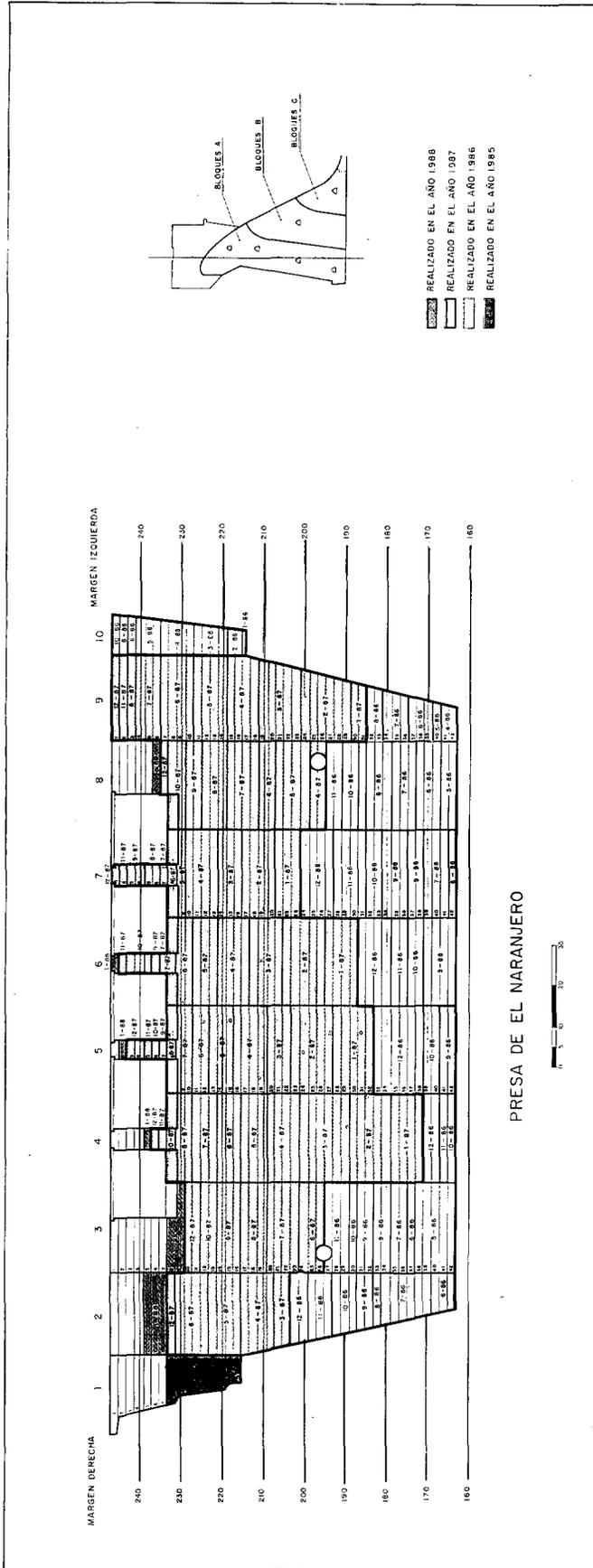
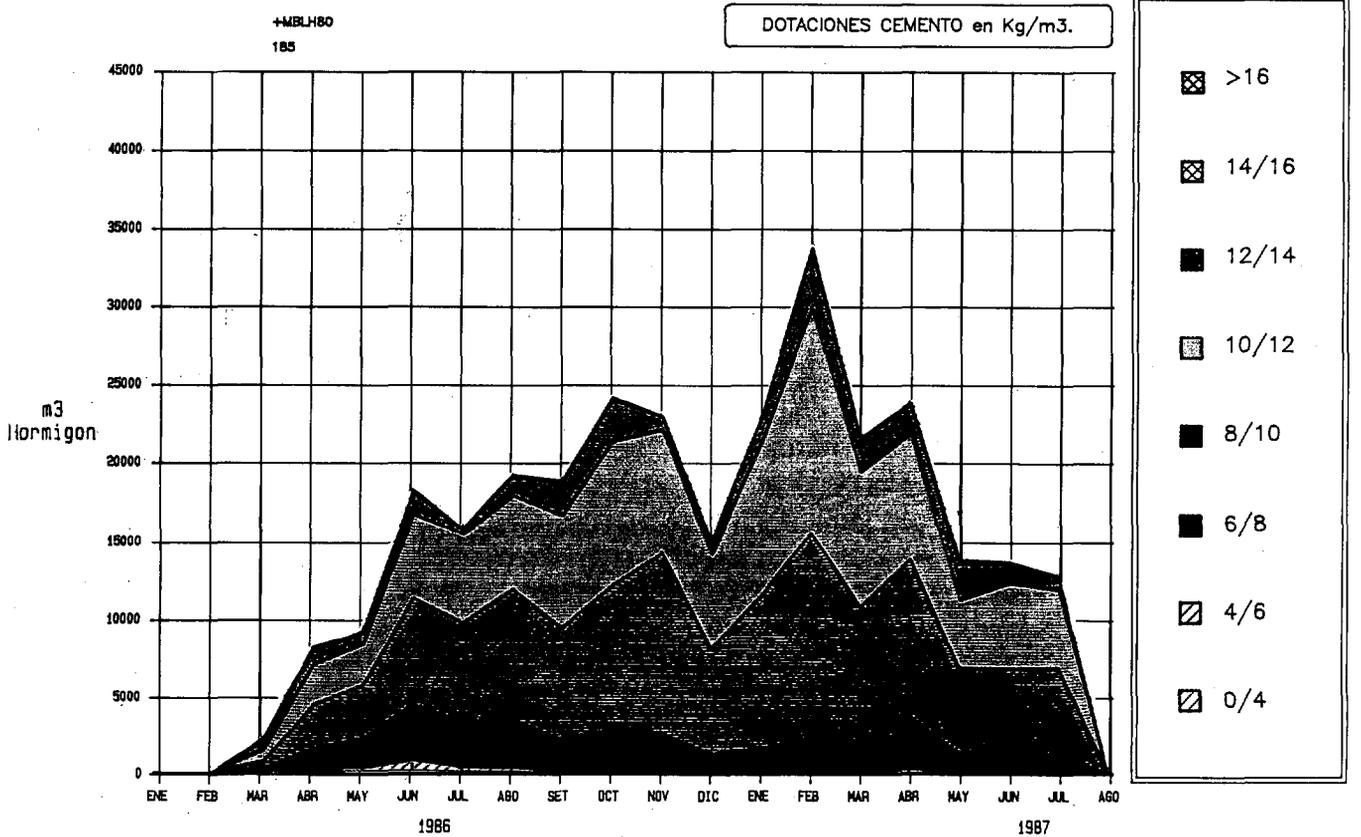
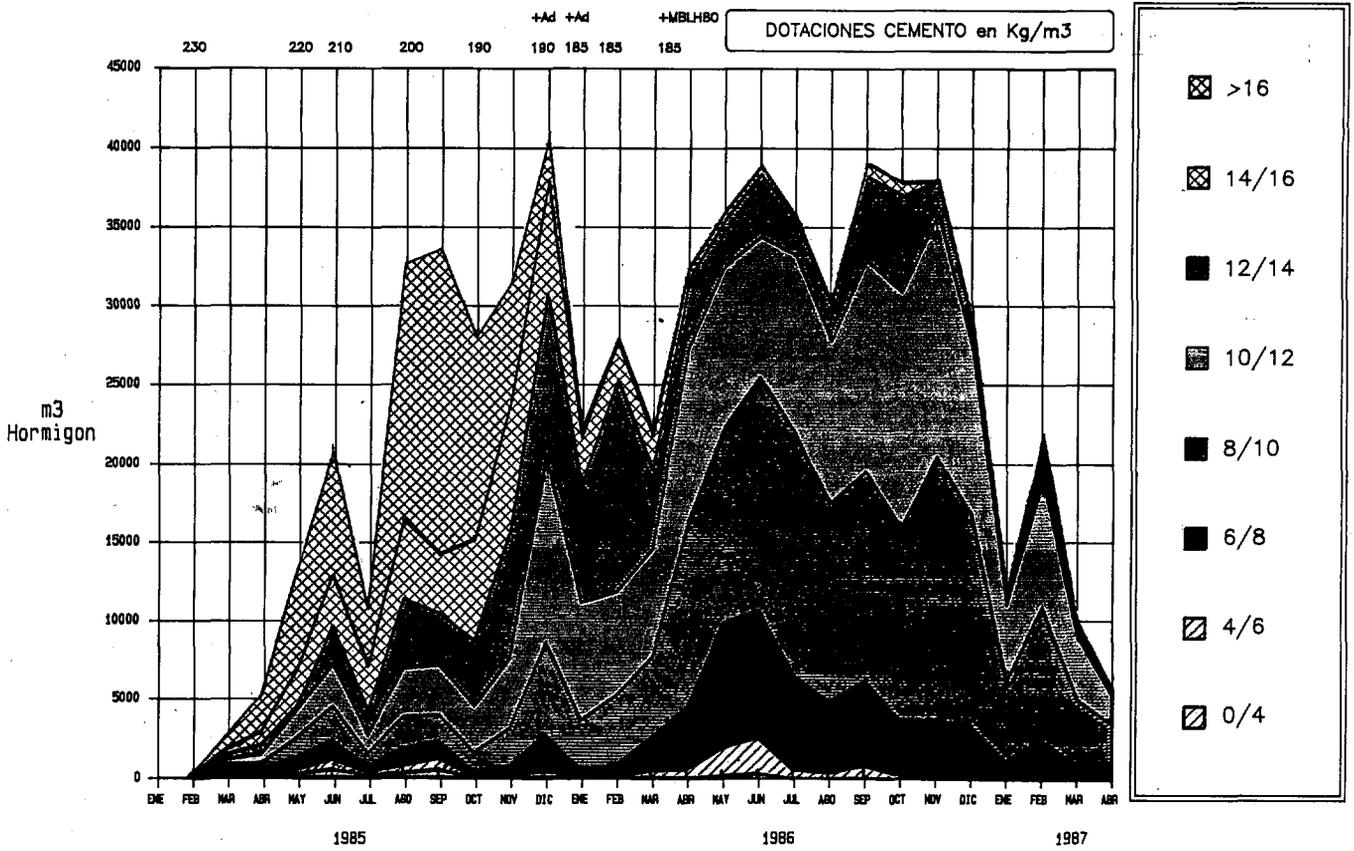


Figura 11.— Proceso de hormigonado.





## LA CONSTRUCCION DEL SALTO DE CORTES II

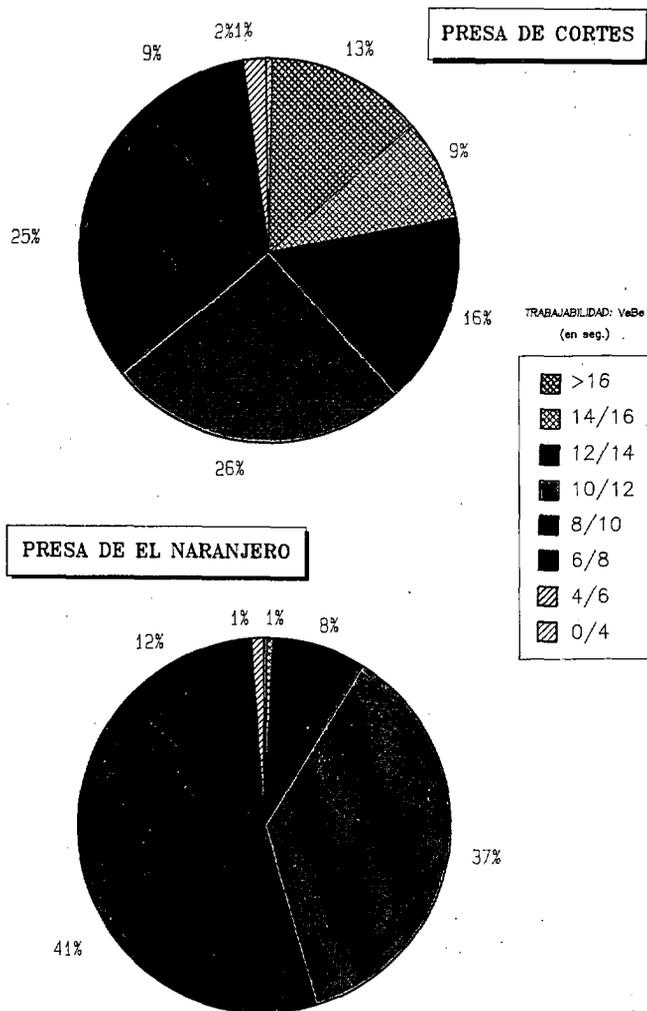


Figura 15.— Porcentajes de hormigón relacionados con su trabajabilidad.

temperatura de las arenas y de los áridos, la trabajabilidad, la resistencia, la temperatura, la densidad del hormigón y, mediante ensayos «in situ», la permeabilidad y densidad del hormigón del bloque.

La humedad de los áridos gruesos ha variado entre 1,5 y el 3,0 por 100. La humedad de las arenas normalmente ha sido inferior al 10 por 100 excepto alguna ocasión en la que ha fallado el sistema de drenaje de los silos y la humedad se ha elevado hasta el 18 por 100.

La temperatura de los componentes del hormigón a su entrada en la hormigonera ha oscilado, a lo largo de los trabajos, entre los valores medios, indicados en el cuadro siguiente.

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Arena fina .....	13-15	20-22	21-14	9-13
Arena gruesa .....	13-15	20-23	21-14	9-13
Arido 5/15 .....	12-14	19-20	20-13	10-13
Arido 15/30 .....	12-14	19-20	20-13	10-13
Arido 30/70 .....	12-14	19-22	20-13	10-13
Arido 70/150 .....	12-14	19-22	20-13	10-13
Cemento .....	35-40	40-45	35-40	25-35
Agua .....	17-20	20-23	17-20	8-10

Para asegurar que la temperatura de las masas a la salida de la hormigonera estaba comprendida entre 8 y 11° C se han tenido que adoptar distintas medidas de refrigeración dependiendo de la temperatura ambiente.

En las épocas más calurosas ha sido necesario trabajar con escamas de hielo y con áridos refrigerados, en las de intermedias sólo con escamas de hielo prescindiendo del enfriamiento de los áridos y en las más frías no ha sido necesario utilizar ningún sistema de enfriamiento artificial.

En la figura 10 se indica el tipo de refrigeración aplicado en las distintas épocas del proceso de hormigonado.

Debido a la baja temperatura inicial de las masas, a las medidas adoptadas durante el período de curado y al bajo calor de hidratación del cemento la temperatura máxima alcanzada por el hormigón en cualquier punto de la presa no ha superado los 35° C, pese al fuerte ritmo de los trabajos conseguidos como puede deducirse de las figuras 11-12 que resumen las producciones mensuales y el proceso de elevación de bloques de la Presa de Cortes II respectivamente.

En la figura 16 se recoge la evolución de la temperatura registrada por los termómetros de un elemento tipo. Se puede observar que la temperatura inicial de las masas, que se eleva hasta alcanzar el máximo a los 3 ó 4 días de su fabricación, sufre un incremento total de unos 20° C. Alcanzado el máximo se inicia un lento proceso de enfriamiento que está totalmente condicionado por la temperatura exterior como puede comprobarse al comparar la evolución de los registros de estos termómetros de masa con las temperaturas máximas y mínimas mensuales recogidas en la figura 17. Co-

# LA CONSTRUCCION DEL SALTO DE CORTES II

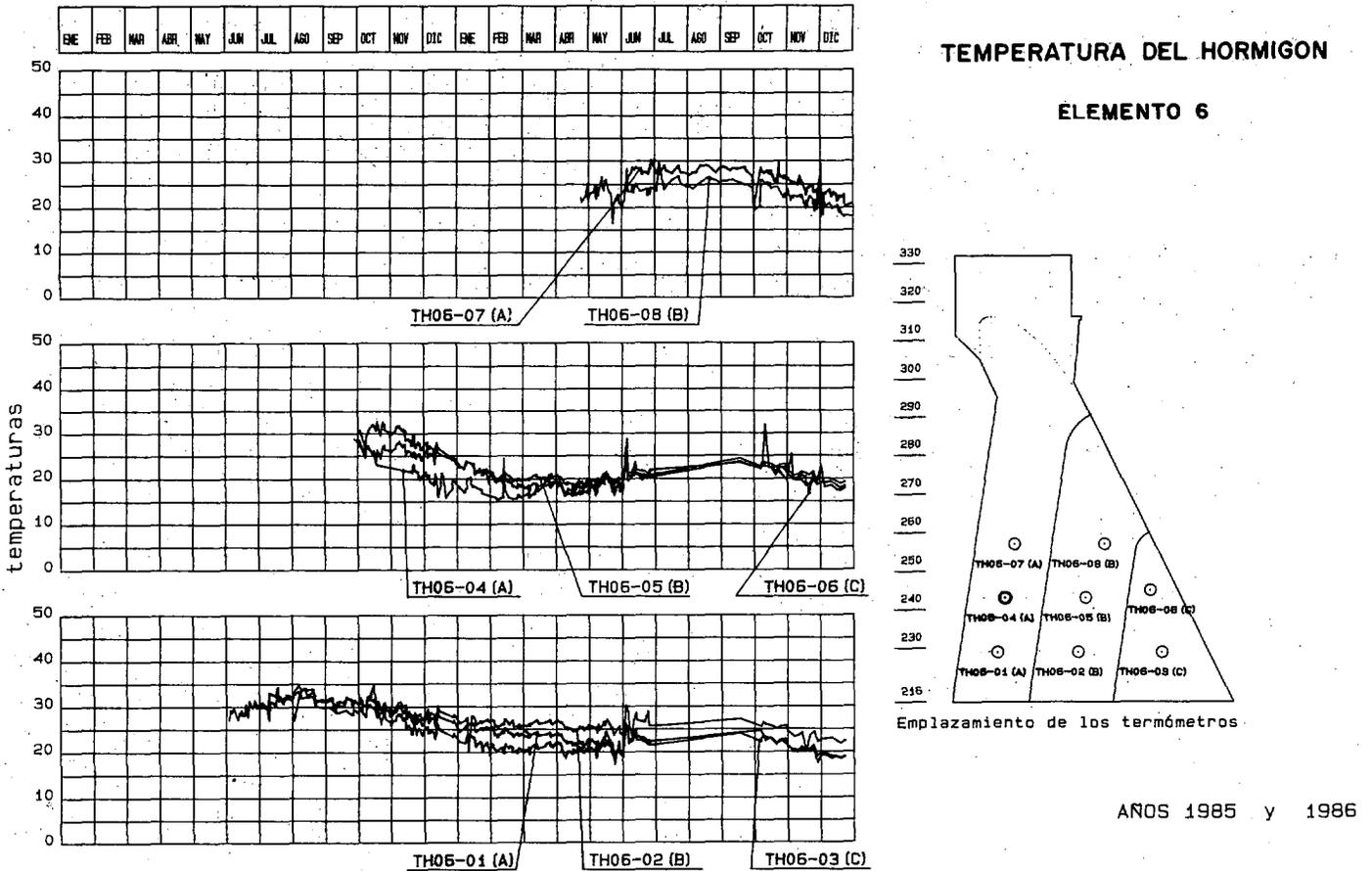


Figura 16.— Evolución de la temperatura de la Presa de Cortes II.

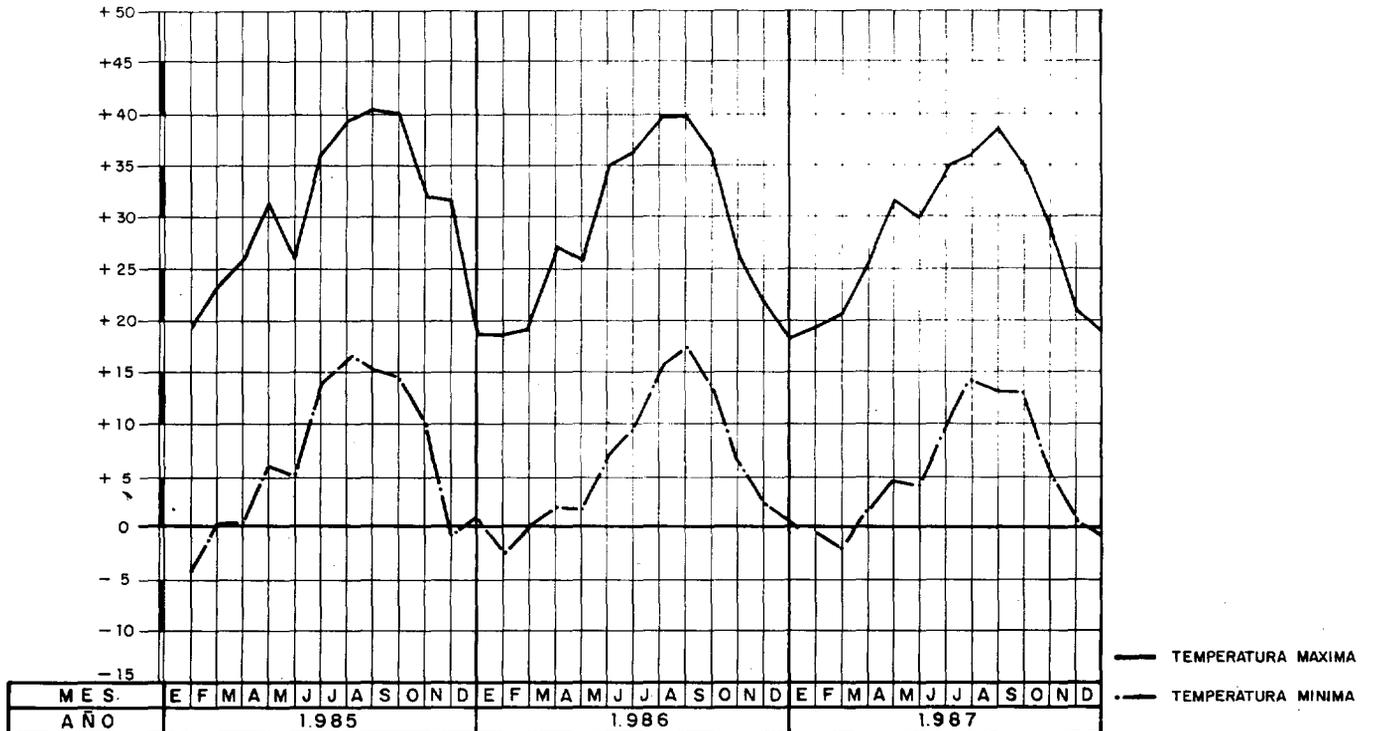


Figura 17.— Evolución de las temperaturas extremas mensuales.



Foto 10.—elementos auxiliares de hormigonado en zonas no dominadas por los blondines.

mo es natural la onda de seguimiento está amortiguada.

La trabajabilidad del hormigón ha sido medida a la salida de la torre de hormigonado mediante aparatos Vebe y meneabilímetros y ha ido mejorando a medida que las canteras y las instalaciones han entrado en régimen normal de explotación como puede deducirse de los cuadros resumen de la trabajabilidad del hormigón en las pesas de Cortes II y de El Naranjero, incluidos en las figuras 13 y 14 respectivamente.

El porcentaje del hormigón de tipo I colocado, relacionado con su trabajabilidad, ha sido recogido en el gráfico de la figura 15.

La trabajabilidad ha sido favorecida por las bajas temperaturas de las masas de hormigón pues al retrasarse el comienzo del fraguado, se ha dispuesto de más tiempo para realizar el transporte, la extensión y el vibrado de las masas, ventaja que ha sido fundamental en la pre-

sa de El Naranjero que estaba más alejada de la central de fabricación del hormigón.

Con objeto de determinar la evolución de la trabajabilidad del hormigón se han realizado una serie de ensayos consistentes en medir el tiempo invertido en vibrar masas de 6 m<sup>3</sup> de hormigón, de la misma consistencia inicial, con un equipo de vibrado compuesto de 6 vibradores Urbar VH-15 accionados por una máquina Proclaim 75-CKB, efectuando medidas a los 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 y 120 minutos contados a partir del momento de su fabricación, comprobando simultáneamente la evolución de la consistencia mediante aparatos Vebe y meneabilímetro.

No se consideró necesario prolongar la duración de ensayos pues en general no se ha permitido la colocación de masas transcurridas 2 horas de su fabricación, aunque se ha comprobado que el hormigón ha podido vibrarse hasta

## LA CONSTRUCCION DEL SALTO DE CORTES II

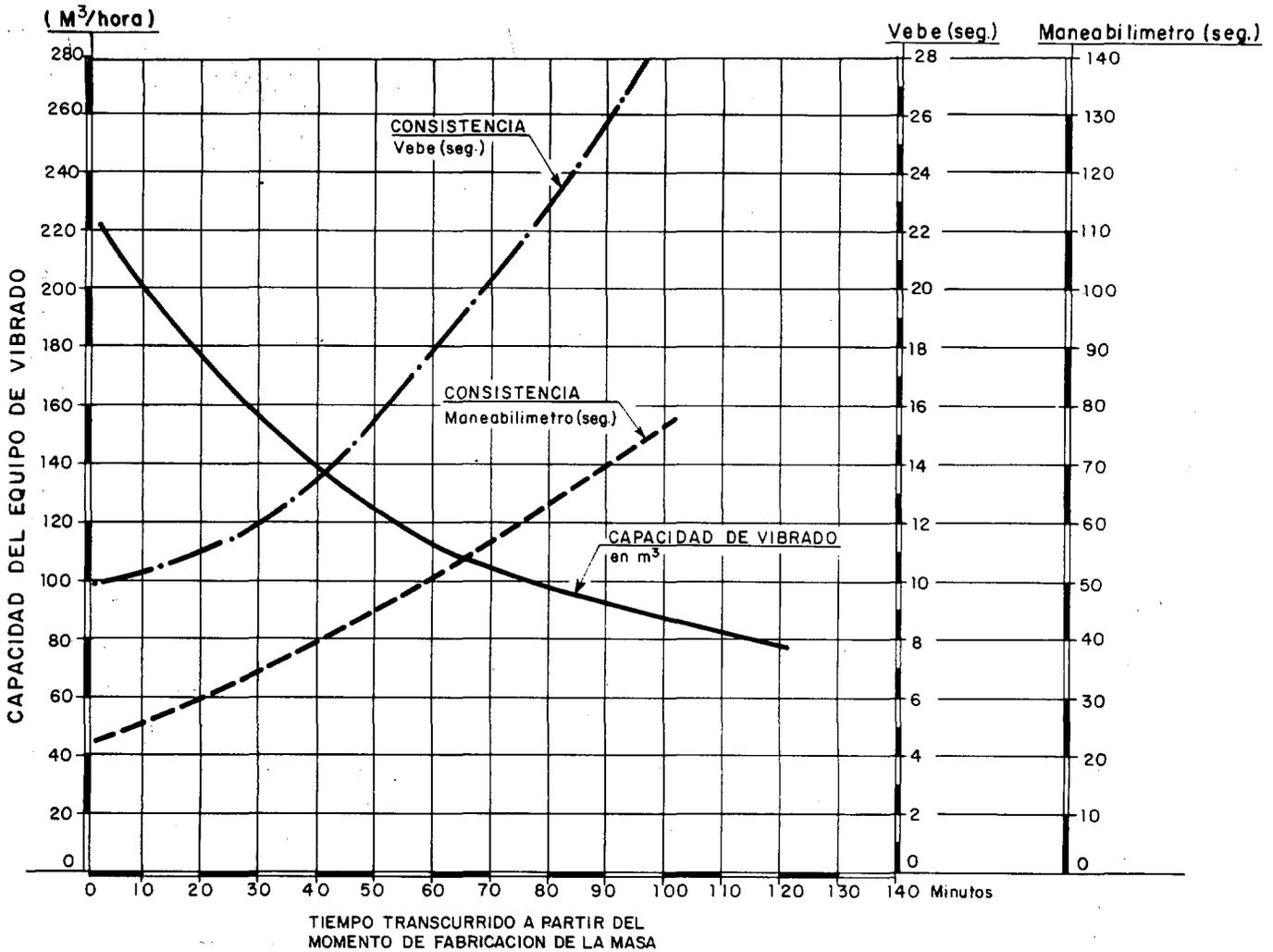


Figura 18.—Resumen de los ensayos de trabajabilidad.

tres horas y media después de haber sido fabricado.

La conclusión más importante de esta serie de ensayos es que aunque por razones técnicas se pueda dilatar el tiempo transcurrido entre el momento de fabricación de la masa y el de su vibración por razones económicas es fundamental reducirlo al mínimo posible, pues la energía necesaria para completar la vibración de una masa crece, y la trabajabilidad disminuye, de forma casi exponencial con el paso del tiempo. En la figura 18, que resume el resultado de los ensayos, se observa que actuando a los 10 minutos el equipo tiene una capacidad de vibrado de 200 m<sup>3</sup>/hora, mientras que a los 60 minutos se reduce prácticamente a la mitad y a las 2 horas a la tercera parte.

La resistencia del hormigón se ha controla-

do por rotura de probetas cilíndricas de 15 × 30. En la figura 19 se resumen los resultados de las medidas de las resistencias características correspondientes a las muestras de cada mes. Como ya se ha indicado, se han alcanzado resistencias superiores a las exigidas pero no se ha considerado oportuno reducir la cantidad de cemento para no disminuir la impermeabilidad del hormigón.

La densidad del hormigón se ha determinado mediante probetas cilíndricas de 15 × 30 y por muestras tomadas directamente del bloque mediante sonda.

La densidad deducida de las probetas es de 2,465 kg/dm<sup>3</sup> y la de las muestras «in situ» de 2,521 kg/dm<sup>3</sup>. Como es lógico la densidad controlada por probeta es inferior a la real pues en la fabricación de los moldes se prescinde de

## LA CONSTRUCCION DEL SALTO DE CORTES II

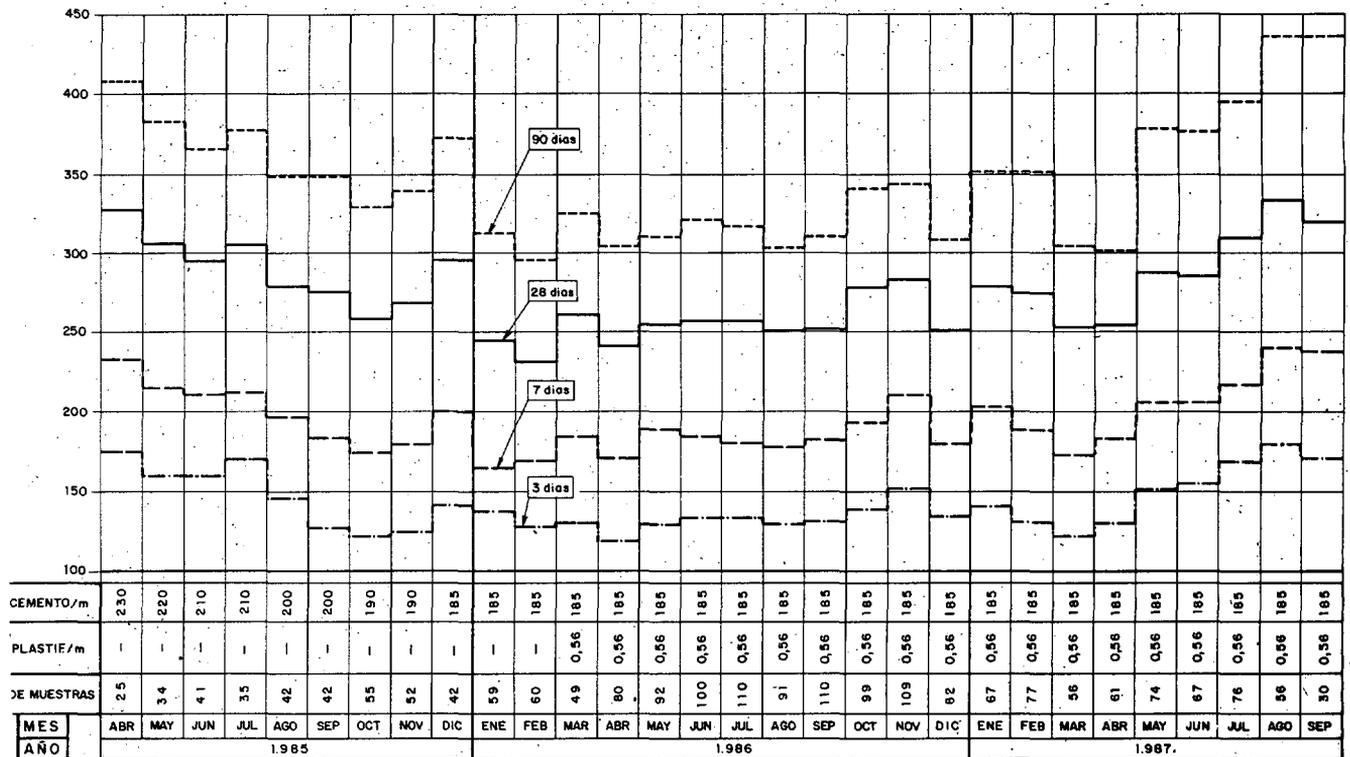


Figura 19.—Evolución de la media mensual de las resistencias características a compresión.

los tamaños de árido superiores. La densidad real está en perfecta correspondencia con la deducida de la dosificación teórica.

### 8. OTROS HORMIGONADOS

En la zona no dominadas por los blondines, central y cuencos, (Fotografía 10) se han empleado grúas torres y móviles para el movimiento de encofrados, armaduras y elementos auxiliares y se ha hormigonado con bombas de 25 m<sup>3</sup>/hora de capacidad, hasta las que se transportaban las masas fabricadas en las instalaciones centrales mediante camiones hormigoneras de 6 m<sup>3</sup> de capacidad.

### 9. TRATAMIENTO DE LAS JUNTAS

La presas Cortes II y El Naranjero, constan de 17 y 10 elementos respectivamente, divididos a su vez en 1, 2 ó 3 bloques dependiendo de la altura que tenga el elemento sobre su cimentación.

Para asegurar la continuidad efecto arco y completar la impermeabilidad de las juntas se ha previsto un proceso de inyección mediante recintos cuyo prototipo es el indicado en la figura 20. La altura máxima de los recintos se ha fijado en 20 m y la superficie en 680 m<sup>2</sup>.

Antes de iniciar la inyección de lechada se han comprobado todos y cada uno de los recintos haciendo circular por ellos agua durante 24 horas con objeto de confirmar que el circuito estaba operativo y limpiar y humectar la superficie a inyectar. En la fotografía 11 se muestra el dispositivo tipo, instalado en los ensanches de las galerías a su paso por las juntas entre bloques, que se ha empleado para inyectar las juntas.

Con objeto de evitar fugas de lechada hacia los recintos adyacentes durante el proceso de inyección se han mantenido llenos de agua circulando a la presión de cierre.

La inyección de cada recinto propiamente dicha se ha iniciado con lechada 2:1 (agua-cemento), espesándola paulatinamente hasta alcanzar la proporción 0,8:1 en el momento del

## LA CONSTRUCCION DEL SALTO DE CORTES II

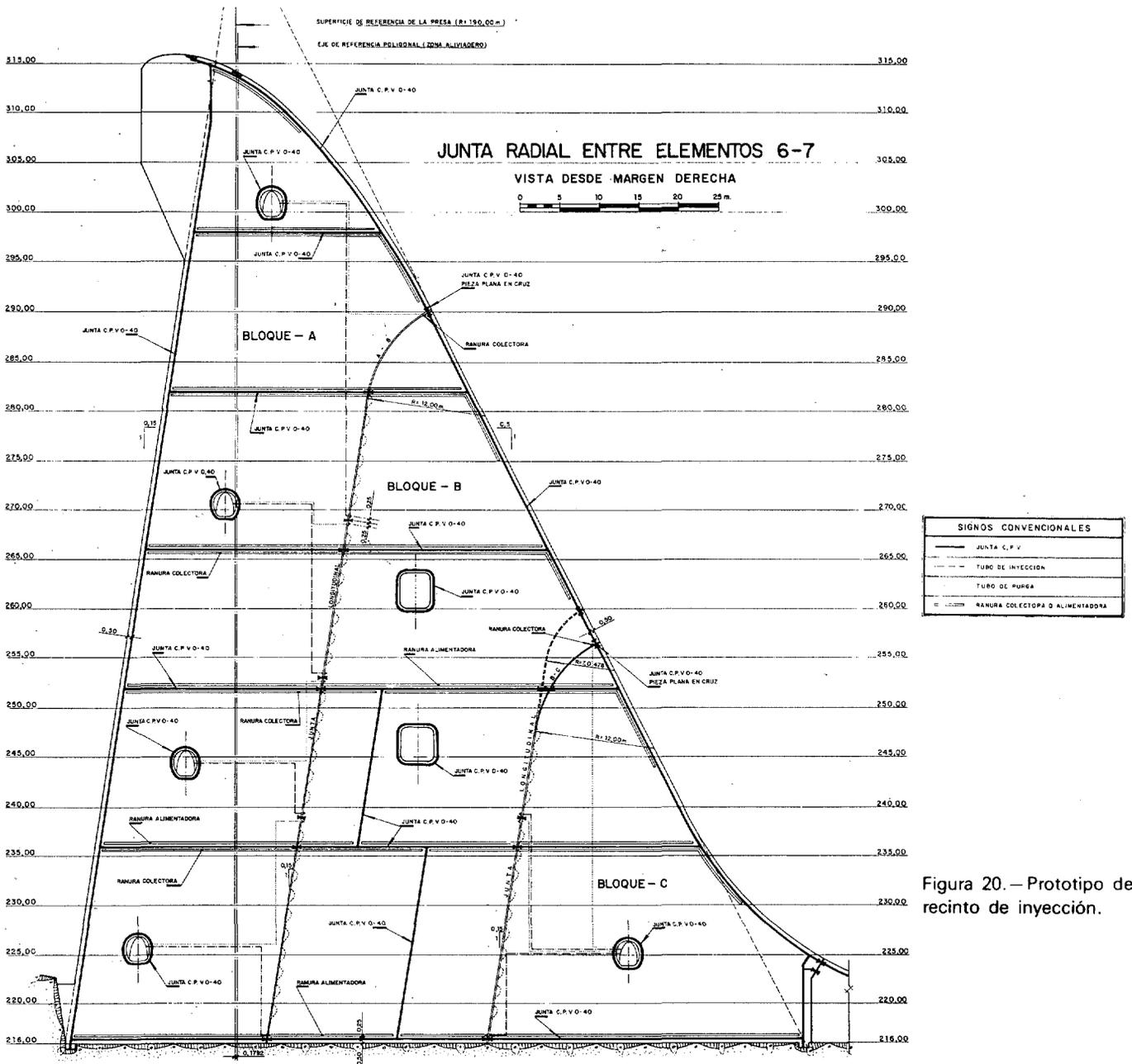


Figura 20. — Prototipo de recinto de inyección.

cierre, que se realiza a una presión máxima de 4 kg/cm<sup>2</sup> medida en la ranura de purga, situada en la parte superior del recinto.

Se ha obtenido una admisión media de unos 30 litros de lechada por m<sup>2</sup> de junta tratada, lo que representa una apertura media de juntas de 2,5 a 3 milímetros. Las máximas aperturas controladas en los medidores de juntas se han elevado a 7 mm en las juntas longitudinales y 2,1 mm en las juntas radiales.

En la Presa de Cortes II, la instalación empleada para realizar estos trabajos consta de

una central fija de fabricación de lechada situada en el exterior y un equipo de inyección móvil en el interior de la presa compuestos por los siguientes elementos:

**Central exterior:**

- Dos silos de cemento de 30 Tn.
- 1 Batidora de doble cuerpo y alta tubor-  
lencia de 15 CV.
- 1 Batidora sencilla de 3 CV.
- 1 Bomba neumática de alta presión.
- 2 Tanques de hidratación en bentonita.

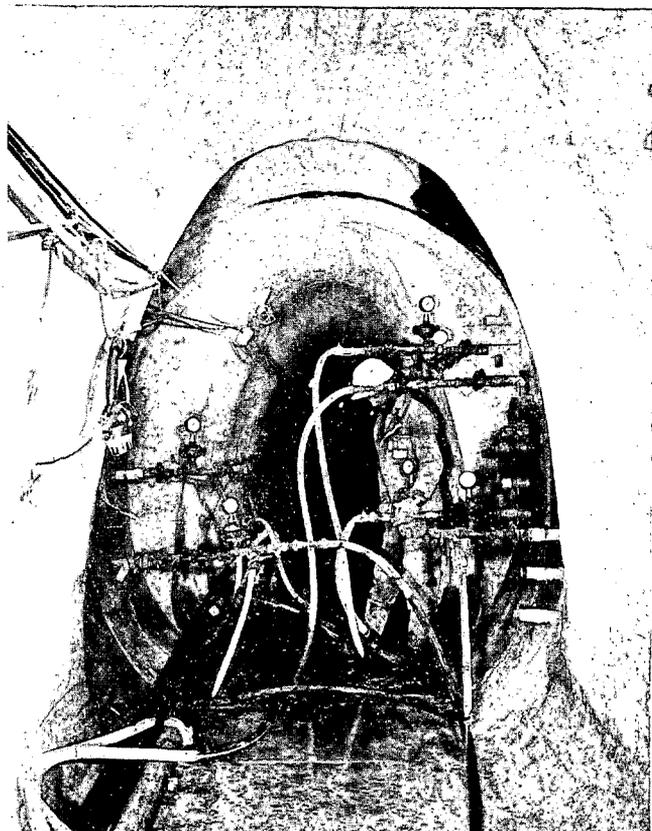


Foto 11.—Sistema de control de inyecciones.

*Equipo de inyección:*

- 1 Batidora sencilla neumática.
- 1 Bomba de pistón de regulación de caudal.
- 1 Mesa de control de presión.
- 1 Equipo de obturación.

Se ha utilizado el mismo cemento que en los hormigones de las presas.

**10. CONSOLIDACION DEL CIMIENTO**

Se ha realizado desde la superficie de cada uno de los bloques una vez que el hormigón había alcanzado una altura de 10 metros sobre el cimiento.

Se ha inyectado lechada de cemento a una presión máxima de 4 kg/cm<sup>2</sup> medida en la boca de los taladros, de 2 pulgadas y media de diámetro, dispuestos en cuadrícula de 3 x 3 metros que penetraban 10 metros de longitud en roca.

Para evitar la creación de una junta fría entre tongadas se ha limitado el tiempo de paralización de cada bloque a un plazo máximo de 21 días, condición que se ha cumplido rigurosamente en la totalidad de los bloques de ambas presas.

La perforación se ha realizado con carros Ingersoll Rand ECM-351, utilizando en la inyección el mismo equipo que el empleado en las juntas.

Se ha inyectado lechada 2:1 (capa:cemento) con el 2 por 100, en peso, de bentonita. Puntualmente se ha inyectado la lechada 1:1 en zonas de mayor admisión pero cerrando el taladro en todo caso con dosificación 2:1.

La admisión media por m<sup>3</sup> tratado ha sido de 13,4 litros de lechada por m<sup>3</sup> en la presa de Cortes y de 2,03 en la presa de El Naranjero.

**11. PANTALLA DE IMPERMEABILIZACION Y DRENAJE**

Las pantallas correspondientes a la Presa de El Naranjero están en fase de ejecución, mientras que las de impermeabilización y drenaje de la presa de Cortes II ya se han completado. En la Presa de Cortes II la pantalla de impermeabilización proyectada consta de 77 taladros, separados 2,50 m entre sí, de 2 pulgadas y media diámetro y longitud variable con objeto de alcanzar con todos ellos los paquetes más impermeables existentes bajo el cimiento de la presa.

Esta condición requería una gran exactitud de replanteo y de ejecución de las perforaciones. Inicialmente se comenzó la perforación a rotopercusión pero comprobados los primeros taladros ejecutados y vistos que las desviaciones de los mismos eran superiores a las admitidas (máximo del 1 por 100), se decidió perforar a rotación empleando sondas DIAMEC 250, 251 y 260.

Inicialmente se perforaron los taladros que ocupaban el lugar impar realizando en los mismos pruebas de permeabilidad en tramos de 5 metros con presión en el centro del tramo similar a la producida sobre este punto por la carga del nivel máximo del embalse. Completada las pruebas de permeabilidad se procedió e in-

yectarlos y una vez conocidas las comunicaciones existentes se ejecutaban, si se consideraba necesario, los taladros situados en lugar par. En las zonas de mayor comunicación se intercalaron otros taladros complementarios hasta alcanzar el grado de impermeabilidad deseado en la pantalla.

Normalmente se ha inyectado lechada 2:1 (cemento:agua) excepto en las zonas de mayor admisión que se aumentó la densidad llegando incluso, en zonas puntuales, a introducir mortero.

La admisión media ha sido de 41,3 kg de cemento por ml. de pantalla.

Completada la pantalla de impermeabilización se ha perforado la de drenaje consistente en 107 taladros de tres pulgadas de diámetro y longitud variable desde 15 metros en las laderas hasta 75 metros en la zona de cauce. La separación entre taladros es de 5 metros.

### 12. DIRECCION TECNICA Y CONSTRUCTORES

Todos los trabajos se ha ejecutado en régimen de contrata, adjudicando cada bloque mediante la resolución de concurso restringidos celebrados entre empresas especialistas.

Los trabajos de excavación y hormigonado, tanto los correspondientes a fase de desvíos como a los de la obra principal, han sido realizados por la Agrupación Temporal de empresas CORTEA, formada por Agroman, Empresa Constructura, S. A. y Entrecanales y Tavora, S. A. En el tratamiento de las juntas y en las pantallas de consolidación, inyección y drenaje han intervenido Cimentaciones Especiales (RODIO), Construcciones y Sondeos, S. A. (CIMYSON) y por Sondeos, Inyecciones y Trabajos Especiales, S.A. (SITE).

Las obras, prácticamente concluidas, han sido proyectadas y dirigidas por la Dirección General de Ingeniería y Construcción de Hidroeléctrica Española, S. A. que ha mantenido permanentemente a pie de obra durante el desarrollo de los trabajos un equipo de Dirección y Control de la obra, cuyos componentes han colaborado eficazmente en la recopilación y elaboración de los datos básicos recogidos en el presente artículo.

### BIBLIOGRAFIA

SOCIEDAD DE RECONOCIMIENTOS GEOFISICOS, S. A.: (1972) Estudio geotécnico de la Cerrada de Cortes de Pallás en el río Júcar.

SAENZ RIDRUEJO C.: (1973). Estudio geológico del emplazamiento de la Presa de Cortes de Pallás (Río Júcar).

NAVALON, N.: (1978). Problems in selecting for hydroelectric installations. III International Congress. International Association of Engineering Geology. Madrid Vol. 10 pp. 159-169.

HIDROELECTRICA ESPAÑOLA, S. A.: (1983). Presa de Cortes II. Proyecto de Construcción. Anejo n.º 2. Estudio geológico.

HIDROELECTRICA ESPAÑOLA, S. A.: (1984). Presa de El Naranjero. Proyecto de Construcción. Anejo n.º 2. Estudio geológico.

NAVALON, N.: (1986). The construction of Spain's Cortes-La Muela Scheme. Water Power Dam Construction. Febrero p.p. 37-41.

SOCIEDAD DE RECONOCIMIENTOS GEOFISICOS, S. A.: (1986). Definición de las características elásticas de la cimentación de la presa de Cortes II.

SOCIEDAD DE RECONOCIMIENTOS GEOFISICOS, S. A.: (1986). Definición de las características elásticas de la cimentación de la presa de El Naranjero.

NAVALON, N.; GAZTAÑAGA, JM. y LOPEZ MARINAS, JM.: (1987). The foundations of Cortes and El Naranjero Dams. Proc. 6.º. International Congress de Rock Mechanisc. Montreal pp. 449-455.

NAVALON, N.; ALCAZAR, J.: (1987). Underground excavations in the Muela pumped storage project. Proc. 6.º. International Congress on Rock Mechanics. Motreal pp. 99-103.