

APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DEL RIO TAJO EN SU TRAMO SEVER-ALCANTARA: SALTO DE CEDILLO

COLEGIO INGENIEROS DE CAMINOS
BIBLIOTECA

Dr. Ing. C. C. P. M. CASTILLO (*) VOCAL

1. INTRODUCCION

1.1. Antecedentes del tramo internacional del río Tajo.

Hidroeléctrica Española, S. A., ha desarrollado en régimen de concesión el aprovechamiento hidroeléctrico integral del río Tajo agua abajo de Talavera de la Reina, con varios proyectos, todos muy importantes, entre las cotas 354 y 110 (Azután, Valdecañas, Torrejón, J. M. Oriol-Alcántara).

Desde Alcántara, el Tajo desciende otros 12 metros hasta la cota 98 (confluencia del río Rivera de Erjas, afluente por la margen derecha) por territorio español, y a continuación recorre un tramo con 28 metros de desnivel, en el que el río es frontera con Portugal.

El interés en aprovechar el tramo internacional del Tajo fue creciendo a medida que la regulación de la cuenca española aumentaba y particularmente con la puesta en servicio del embalse J. M. Oriol, que la convierte en la cuenca hidrográfica con más capacidad reguladora de todas las del país.

Por esta razón, ya desde 1963 se trató de ello con Portugal, enfocando éste y otros pasos similares en el sentido de adjudicar a cada país tramos completos distribuidos de forma que el resultado en términos energéticos fuese equilibrado. A España se adjudicó el tramo Internacional del Tajo, así como el derecho de aprovecharlo en un solo escalón que unificase los 12 m de desnivel español hasta el pie de Alcántara.

1.2. Planteamiento de la solución.

El aprovechamiento proyectado, denominado de Cedillo, se realiza mediante la construcción de una presa con central de pie incorporada que aprovecha sus recursos regulados hasta Alcántara y los propios vertien-

Agradecemos a nuestros compañeros Sres. J. Escudero, N. Navalón y J. M.^a Villa la colaboración prestada para la realización del presente trabajo.

tes al tramo agua abajo del pueblo de Alcántara — 6.900 Km² — que componen principalmente los ríos Salor (español), Ponsul (portugués) y los fronterizos Erjas y Sever.

El escalón que se crea incluye, asimismo, un solape de 5 m con J. M. Oriol, lo que supone un transporte de energía de éste sobre Cedillo en la medida en que este solape sea operativo y el cual se justifica por la necesidad de disponer de este elemento de compensación que dé mayor independencia a los programas de explotación de ambas centrales.

Por lo que a Cedillo respecta, el equipamiento decidido es el que corresponde a una central de puntas, tendencia ésta universal en los países en que la base térmica ha llegado a alcanzar un porcentaje elevado y creciente como consecuencia de la limitación y agotamiento de los recursos hidráulicos. El caudal equipado es de 1.500 m³/seg. y la potencia instalada de 440.000 kilovatios.

En los apartados que siguen se describen las particularidades de esta importantísima obra, que será probablemente la última de las centrales españolas de gran potencia alimentadas exclusivamente con recursos hidráulicos no bombeados.

Supone una contribución esencial al desarrollo energético de Hidroeléctrica Española, S. A., y, en consecuencia, de nuestra nación, ya que dicha Sociedad proporciona 1/6 de la generación eléctrica de la totalidad del país.

1.3. Características del salto:

Superficie de la cuenca alimentadora	59.000 Km ²
Volumen del embalse cota 115	260 Hm ³
Superficie del embalse cota 115	1.400 Ha.
Potencia real instalada: 4 × 110.000	440.000 kW
Producción regulada	600 GWh

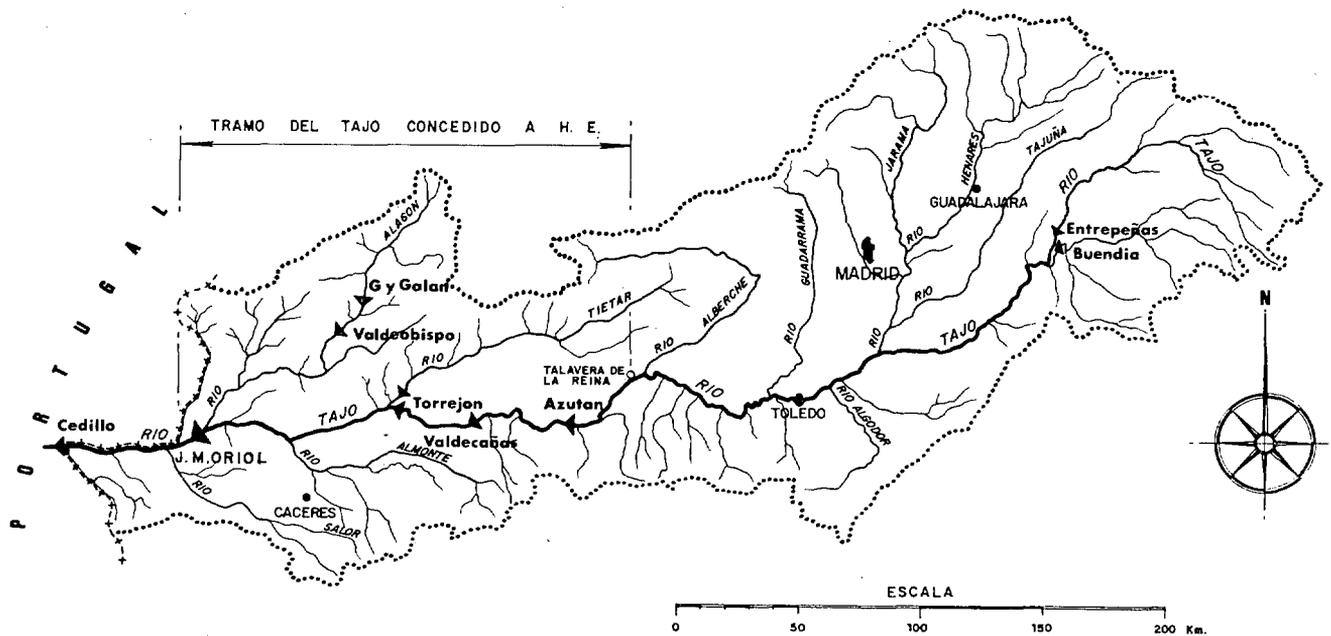


Fig. 1. — Cuenca hidrográfica del Tajo.

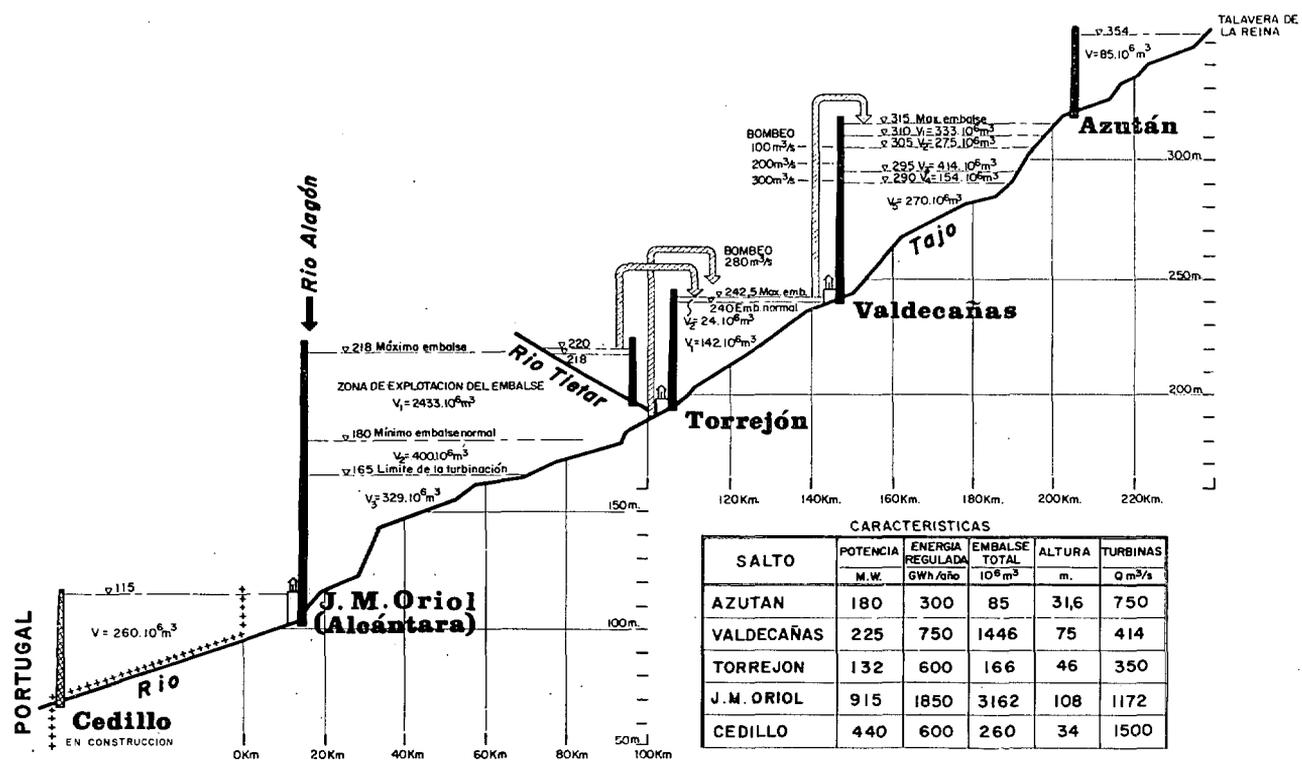


Fig. 2. — Perfil esquemático del Tajo con los aprovechamientos de H. E.

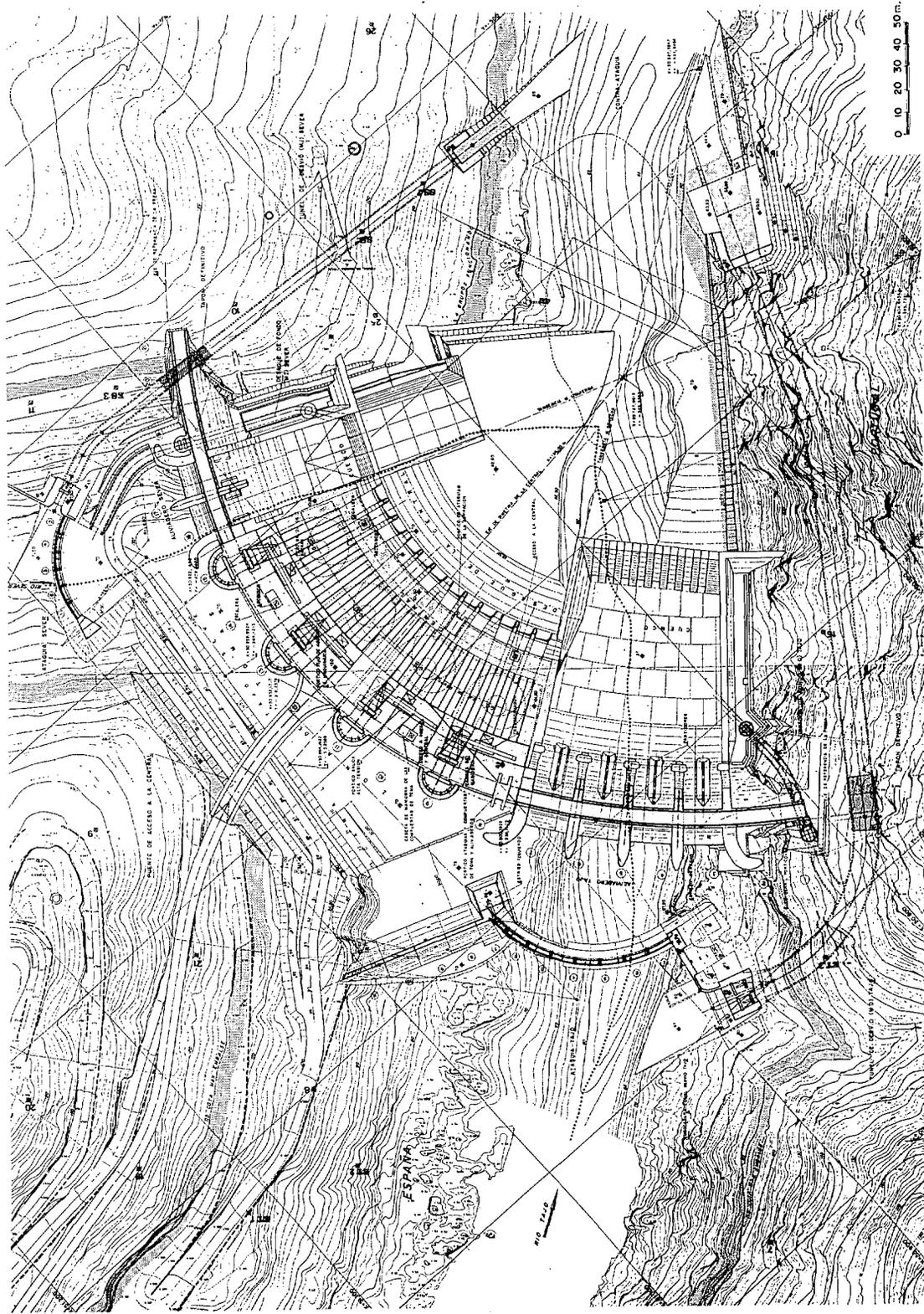


Fig. 3. — Planta general del Salto.

Aliviaderos:

Caudal máximo instantáneo $T = 50$ años ...	12.000 m ³ /s.
Caudal máximo instantáneo $T = 100$ años .	13.500 m ³ /s.
Caudal máximo instantáneo $T = 500$ años .	17.000 m ³ /s.

— Nivel en el río con desagüe máximo $Q =$ = 18.000 m ³ /seg.)	97
— Plano mínimo de cimentación de la presa.	54
— Plano mínimo de cimentación de la central.	46,5

2. ESTRUCTURAS FUNDAMENTALES QUE INTEGRAN EL SALTO

Las estructuras fundamentales que integran el salto son las siguientes:

- *La presa*, que crea un embalse de 260×10^6 m³ de capacidad y 1.400 Ha. de superficie a nivel máximo normal —cota 115—, es de tipo arco-gravedad con un desarrollo de 418 m a lo largo de su paramento de agua arriba y de 66 m de altura máxima desde cimientos. Aloja dos *aliviaderos* de superficie, uno en correspondencia con el Tajo y otro con el Sever, cuyas capacidades de desagüe a cota 115 son 9.600 y 2.400 m³/s., respectivamente. Los caudales superiores se regulan por sobreelevación del embalse con notable laminación de los mismos. En la zona entre ambos ríos, que aparecen comunicados agua arriba de la presa por un canal de grandes dimensiones, se sitúan las cuatro *tomas de la central*, previstas cada una para un caudal de turbinación de 375 m³/seg.
- *La central*, adosada al paramento de agua abajo de la presa en su zona central —territorio español— es de planta curva, de 159 m de desarrollo a lo largo del eje de referencia de grupos, cuyo radio es de 157 m. Va equipada con cuatro turbinas Kaplan, siendo la potencia por grupo de 149.600 CV.
- *Los desagües de fondo*, con capacidad unitaria de desagüe de 250 m³/seg. a cota 115, se desarrollan en túnel, uno por la margen derecha del Tajo y otro por la margen izquierda del Sever.
- *El puente de acceso* viene impuesto por la necesidad de llegar a la coronación de la presa directamente desde territorio español salvando el canal Tajo-Sever. Tiene una longitud aproximada de 75 m, con un eje próximo al eje de simetría de la central.

Las cotas absolutas más interesantes son:

— Coronación	120
— Máximo embalse explotación	115
— Máximo embalse avenidas	118
— Nivel de estiaje en el río	70
— Nivel en el río con un grupo funcionando a plena carga ($Q = 375$ m ³ /seg.)	72,90
— Nivel en el río con los cuatro grupos funcionando a plena carga ($Q = 1.500$ m ³ /s.)	77,30

2.1. Presa.

La solución proyectada consiste en una estructura continua desde la margen derecha del Tajo hasta la margen izquierda del Sever, con su zona central situada en territorio español. Es de planta curva con radios laterales de 337 m y central de 196 m, todos ellos referidos al paramento de agua arriba.

Está constituida por veintiún elementos de ancho variable a lo largo del eje de referencia, entre un mínimo de 13 m y un máximo de 25,20 m. El perfil teórico es de forma triangular con vértice resistente a cota 118, talud aguas abajo de 0,68 y paramento de aguas arriba vertical. Para su construcción cada elemento se divide en dos o tres bloques mediante juntas longitudinales y con dispositivo de inyección.

El interior de la presa se hace visitable mediante galerías ovoides de $1,80 \times 2,50$ m, cuyos accesos principales, dotados de ascensor, son comunes a presa y central y se sitúan en los elementos 10 y 14.

2.2. Aliviaderos.

2.2.1. Aliviadero sobre el Tajo.

Está situado sobre los elementos 3, 4, 5, 6 y 7 de la presa. Consta de cuatro vanos de 18,30 m de luz cada uno y umbral a cota 99, separados por pilas de 5 m de espesor. Su desarrollo total es de 100,80 m.

Lleva como elementos de cierre y regulación cuatro compuertas tipo Taintor de 18 m de radio accionadas por servomotores adosados a los paramentos de las pilas, con los mandos de maniobra situados en cámaras ubicadas en la zona superior de las mismas.

Se han previsto ranuras para colocación de ataguías durante la fase de revisión de las compuertas.

La importancia de los caudales vertidos por metro de ancho (134 m³/seg. para la cota 115 y 174 m³/seg. para la cota 118) exige dispositivos especiales que permitan concentrar la amortiguación dentro del cuenco amortiguador previsto. Ello se consigue mediante bloques partidores dispuestos sobre la rampa de vertedero, que rompen la lámina vertiente y amplían considerablemente su zona de impacto en el cuenco, logrando al mismo tiempo, por choque continuo de los nuevos chorros, una considerable disipación de energía. Llevan dispositivos de aireación y van anclados, por medio de cables postensados, al paramento de agua arriba de la presa.

Los ejes de giro de las compuertas apoyan directamente sobre ménsulas de hormigón pretensadas transversalmente a la pila. Otro pretensado, esta vez longitudinal, se encarga de llevar el punto de aplicación del

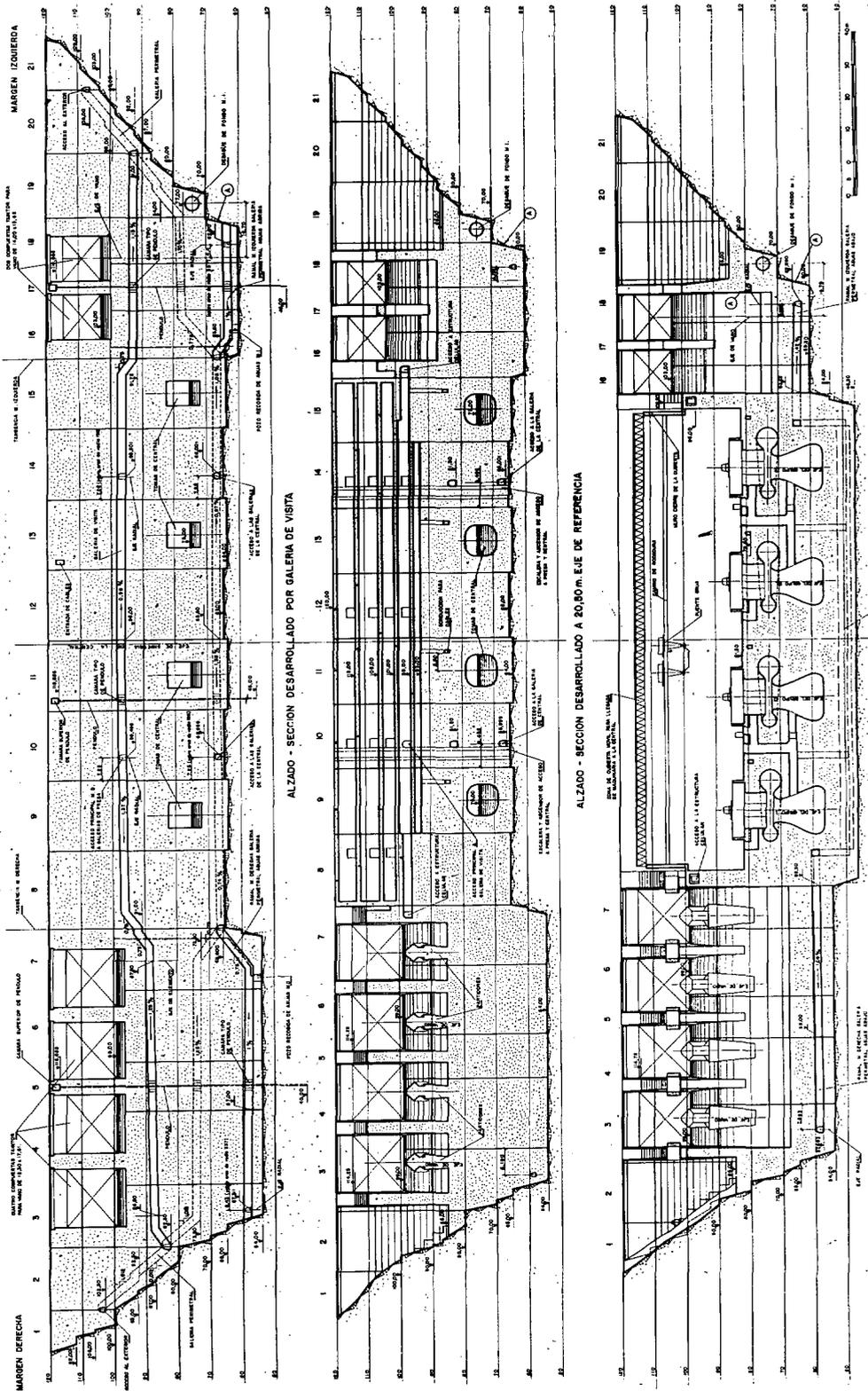


Fig. 4. — Presa. Secciones verticales.

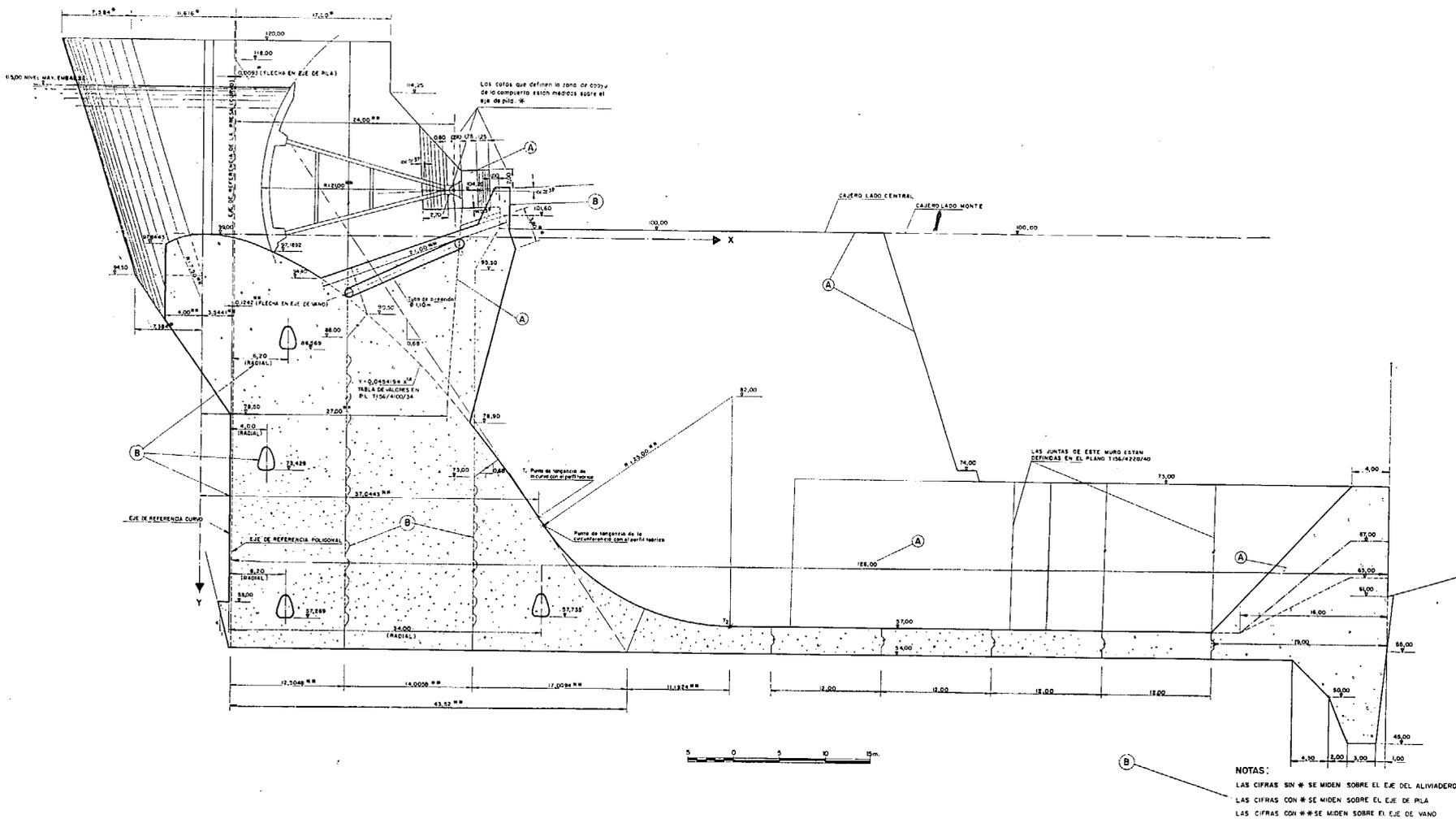


Fig. 5. — Aliviadero del Tajo. Perfil longitudinal por eje de vertedero.

esfuerzo a la zona de agua arriba de la pila, con lo cual se asegura la ausencia de tracciones en el cuerpo de la misma.

El paramento del aliviadero se une al cuenco amortiguador por medio de un acuerdo circular de 25 m de radio. La solera, a cota 57, está formada por losas de 3 m de espesor, bajo las cuales se ha dispuesto una extensa red de drenaje en el contacto hormigón-roca, con sus desagües colocados aguas abajo de un pequeño resalto situado en la zona de solera de presiones mínimas.

Las juntas entre losas llevan artesas y dispositivo de estanqueidad, estando el borde de aguas abajo, en las juntas transversales, ligeramente más bajo. Todas las losas van ancladas al terreno por medio de anclajes de 5 ó 6 m de penetración en roca.

2.2.2. Aliviadero sobre el Sever.

Está situado sobre los elementos 16, 17 y 18 de la presa. Consta de dos vanos de 14 m de luz cada uno, umbral a cota 103 y separados por una pila de 4 m de espesor. Su desarrollo total es de 44,60 m.

Lleva como elemento de cierre y regulación dos compuertas Taintor de 14 m de radio, accionadas por servomotores, con su mando de maniobra situados en cámaras ubicadas en las pilas. Disponen asimismo de ranuras para colocación de ataguías.

La transmisión del empuje de la compuerta a las pilas se realiza por intermedio de vigas metálicas, ancladas mediante cables postensados, que llevan el empuje a la zona de agua arriba de las mismas.

El aliviadero se continúa con un cuenco amortiguador solera a cota 62,50, siendo 18 m el radio del círculo de acuerdo entre ambos. Las losas son de 3 m de espesor y llevan idénticos dispositivos a los descritos para el cuenco del aliviadero sobre el Tajo.

2.3. Desagües de fondo.

Existen dos: uno situado sobre la margen derecha del Tajo y otro en la margen izquierda del Sever.

El primero aprovecha en su primer tramo el túnel de desvío del Tajo. El segundo tiene su toma al abrigo de la ataguía del Sever, con completa independencia del túnel de desvío. Las salidas se sitúan, respectivamente, en el muro cajero derecho del aliviadero del Tajo y en el muro cajero izquierdo del aliviadero del Sever. Las cotas de los umbrales de entrada son 65,50 para el del Tajo y 73 para el del Sever. El umbral de salida está a la cota 74 en ambos desagües.

Disponen de los siguientes elementos de cierre y regulación:

- Ataguía para vano de 3,40 × 4,50.
- Compuerta de seguridad tipo vagón para vano de 3,40 × 4,40.
- Compuerta Taintor de regulación 3,50 × 3,00.

En ambos desagües, el tramo anterior a la transición agua arriba de la ataguía es de hormigón y de 5 m de diámetro. Desde aquí hasta el final todo el circuito va blindado y consta de las siguientes partes fundamentales:

- Transición redondo-cuadrado de 9,00 m de longitud.
- Tramo rectangular de ubicación de ataguía y compuerta de seguridad.
- Conducto circular de 5 m de diámetro de 36 m de longitud en el del Tajo y 48,20 m en el del Sever.
- Transición redondo-cuadrado de 9,68 m de longitud en el Tajo y 8,427 m en el Sever.
- Tramo en lámina libre de sección rectangular, desde la compuerta de regulación hasta la salida.

Para manejo y maniobra de la ataguía y compuerta de seguridad se ha dispuesto un conducto en pozo, accesible desde la coronación de la presa.

El manejo y maniobra de la compuerta de regulación se efectúa desde torres idénticas situadas en la zona de cajeros lado monte de ambos aliviaderos.

2.4. Circuito hidráulico.

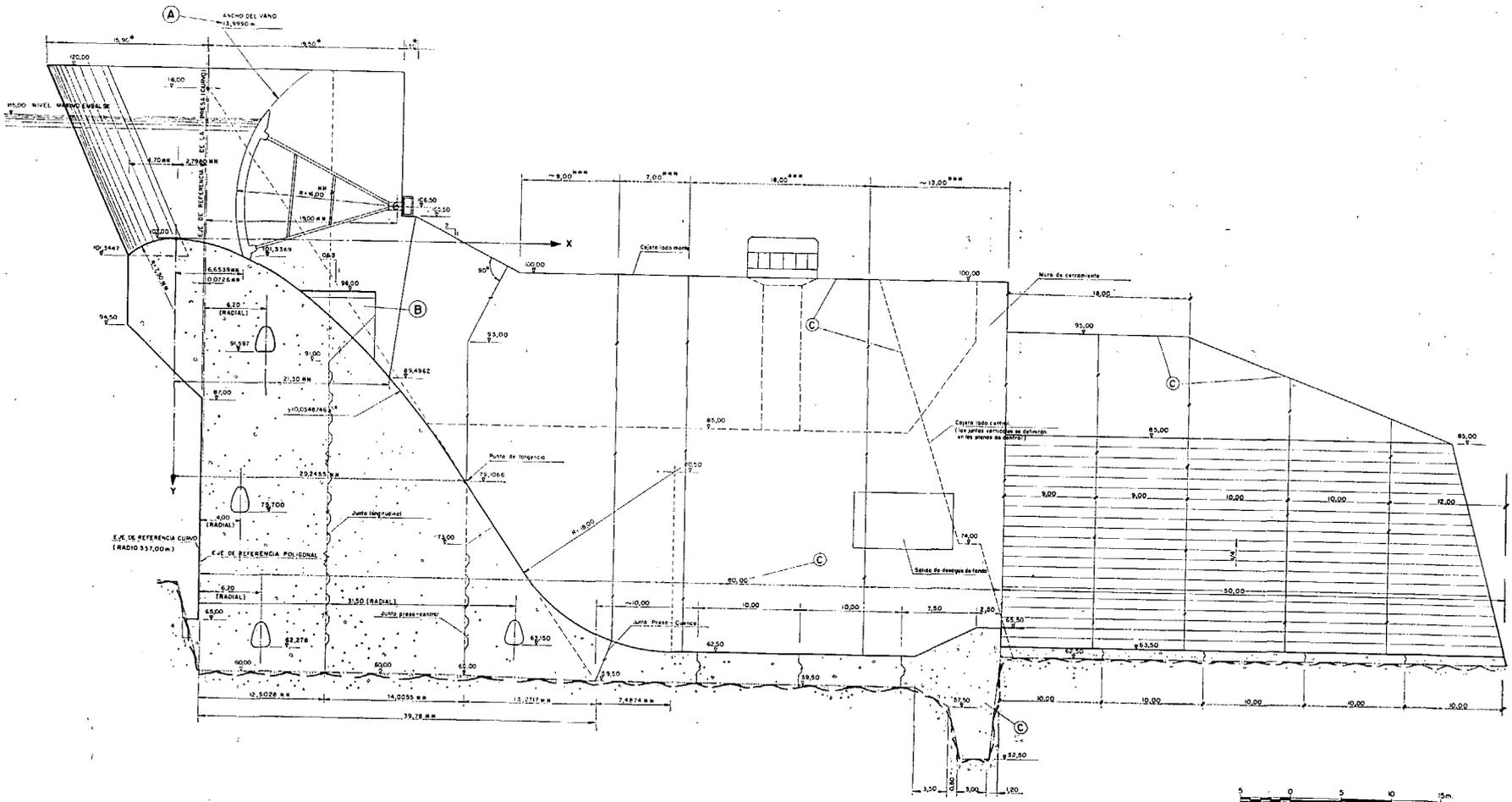
Las tomas de la central van situadas sobre los elementos 9, 11, 13 y 15 de la presa. Constan fundamentalmente de:

- Labio semicircular con umbral a cota 75, sobre el que se cimenta la estructura soporte de la rejilla, integrada por arcos y pilares de hormigón armado, de formas hidrodinámicas adecuadas.
- Embocadura rectangular de 9 × 13,25 m en correspondencia con el paramento de aguas arriba de la presa, sobre el que puede deslizarse la ataguía de cierre.
- Acuerdo de formas hidráulicas apropiadas hasta llegar a la sección de compuerta, de forma rectangular de 8 × 10,38.
- Transición blindada cuadrado-redondo, con curvatura vertical, en el eje de referencia, de 55 m de radio.
- Tubería de corta longitud y 10 m de diámetro, de unión con la cámara espiral.

La ataguía de protección de la compuerta se maneja desde coronación, por medio del pórtico grúa que corre a lo largo de la misma.

La compuerta está accionada por servomotor, cuyos órganos de maniobra se disponen en coronación. Existe una cámara para revisión a cota 114,50.

Se ha dispuesto un conducto de aireación tras la compuerta, con toma de aire en el paramento de aguas arriba de la presa.



NOTAS:
 LAS CIFRAS SIN * SE MIDEN SOBRE EL EJE DEL ALIVIADERO
 LAS CIFRAS CON * SE MIDEN SOBRE EL EJE DE PILA.
 LAS CIFRAS CON ** SE MIDEN SOBRE EL EJE DE VANO
 LAS CIFRAS CON *** SE MIDEN SOBRE EL CAJERO LADO MONTE

Fig. 6. — Aliviadero del Sever. Perfil longitudinal por eje de vertedero.

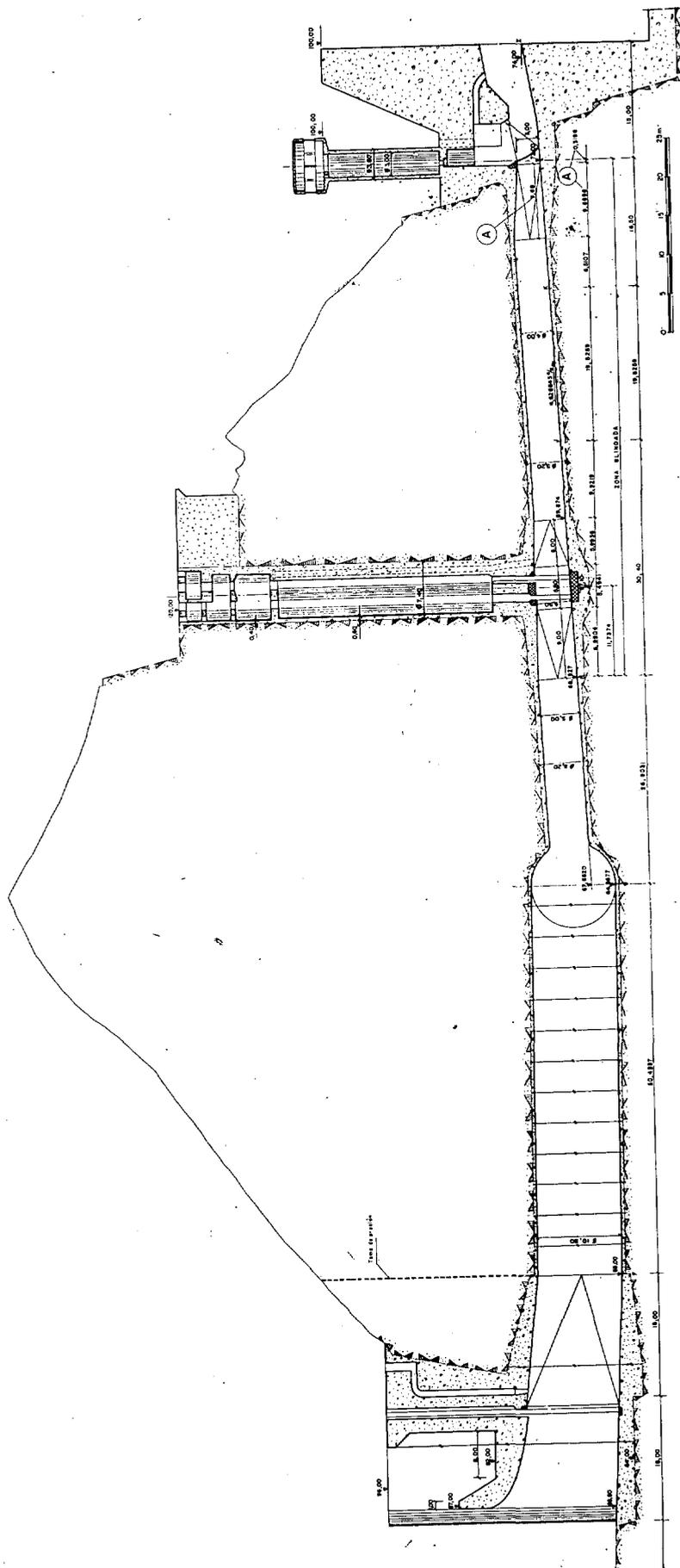


Fig. 7. — Desagüe de fondo M. D. Tajo. Perfil longitudinal.

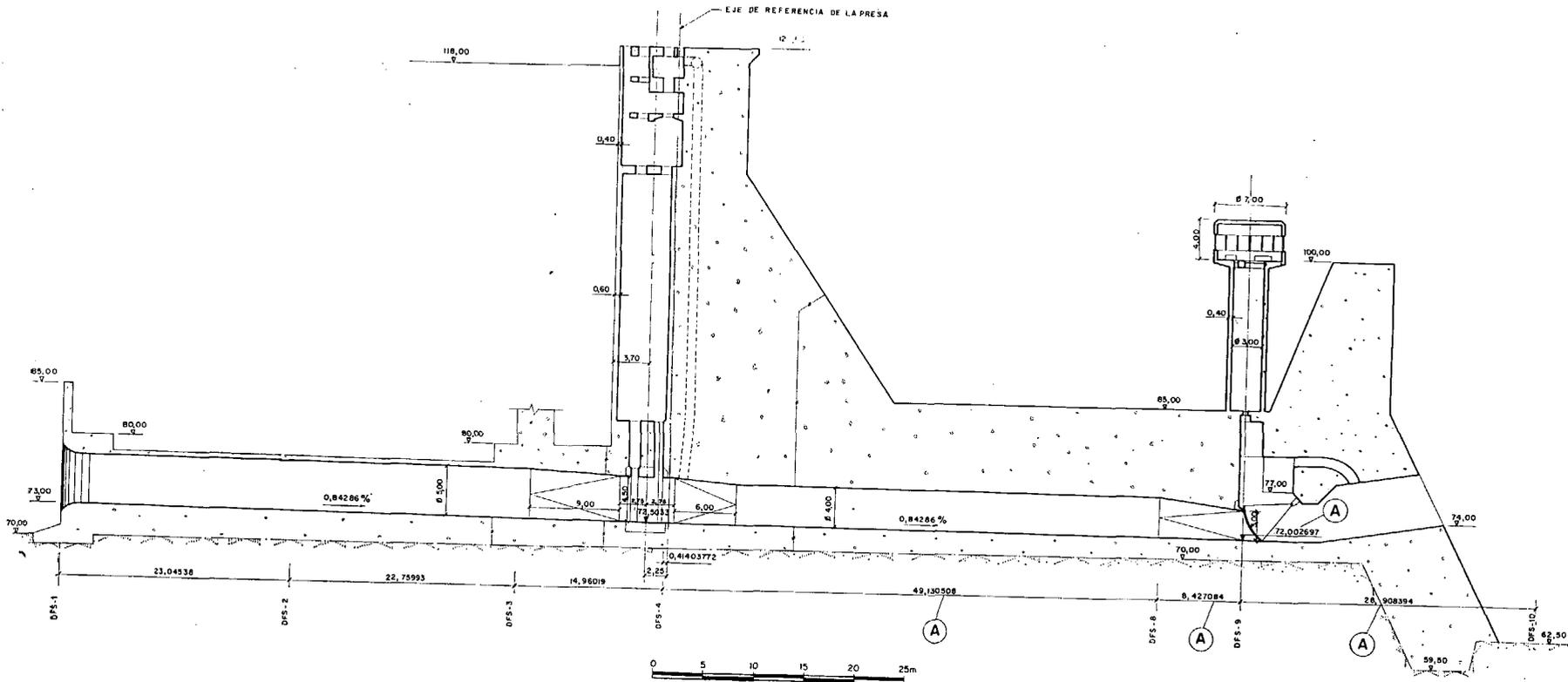


Fig. 8. — Desagüe de fondo M. I. Sever. Perfil longitudinal.

2.5. Central.

Se desarrolla adosada a la parte central de la presa, siempre en territorio español, con los ejes de grupo situados sobre un arco de circunferencia de 157 m de radio.

La estructura de hormigón, que defiende la nave de generadores de los niveles que pueden producirse agua abajo como consecuencia de los grandes caudales de avenidas, es de tipo celular y se cimenta sobre un zócalo de hormigón que alberga los tubos de aspiración. Lateralmente queda cerrada por unos muros-placa de hormigón armado, que, a su vez, forman parte de los cajeros lado río de los aliviaderos Tajo y Sever.

Se disponen juntas radiales de dilatación entre grupos, situando las áreas de montaje de los grupos entre los mismos, disposición que aconseja la distribución radial del conjunto.

Los servicios auxiliares de la central se han situado en la zona de agua abajo de los elementos de presa números 8 al 15, a cotas 113, 106 y 101. El cuadro de control se sitúa debajo de ellos, a cota 96.

La salida de barras se hace hacia agua arriba, atravesando, en vertical, la zona de servicios auxiliares. El parque de transformadores se ha situado en coronación, a cota 120.

El acceso de la maquinaria a la central se realiza desde coronación de la presa por medio de un pórtico colocado en el eje de simetría de los grupos. Su capacidad de carga es de 100 Tm. Existen, asimismo, dos puentes grúas que corren a lo largo de la nave de la central para el servicio de la misma. Su capacidad de carga unitaria es de 320 Tm y conjunta de 640 Tm, con gancho auxiliar de 25 Tm.

Las ataguías de la aspiración pueden maniobrase desde la plataforma superior de la estructura celular, situada a cota 100, por medio de un pórtico-grúa móvil. Su capacidad de carga es de 40 Tm.

Los accesos principales a la central, comunes con los de la presa, se han dispuesto a partir de la coronación de los elementos 10 y 14. Existen otros accesos secundarios por la estructura celular.

A lo largo de toda la cimentación de la central se ha dispuesto una red de galerías de drenaje, conectadas entre sí y con los pozos de bombas, que, en número de dos, se han situado en las juntas de los grupos 1-2 y 3-4.

Los datos fundamentales de la nave de la central son los siguientes:

Cota de cimentación	46,500 m
Cota de fondo del codo de aspiración	54,345 m
Cota plano medio del distribuidor	73,500 m
Cota alternadores	81,500 m
Cota excitatrices	85,150 m
Cota carriles puente-grúa	106,000 m

Ancho de la central	27,500 m
Separación entre grupos según el arco de círculo que los contiene	36,206 m

Las características del equipamiento son las siguientes:

1. Turbinas:

Número de turbinas	4
Tipo	KAPLAN
Potencia nominal	149,600 CV
Salto máximo neto	43 m
Salto crítico	34 m
Salto mínimo neto	20 m
Caudal máximo	375 m ³ /seg
Velocidad de giro	93,8 r.p.m.
Diámetro del rodete	7,600 m
Peso de partes rodantes	340 Tm
Peso del eje de turbina	100 Tm

2. Alternadores.

Potencia nominal	122.222 kVA
Tensión	15.000 ± 10 % V
PD ²	40.000 Tm/m ²
Intensidad nominal	5.225 amp.
Frecuencia	50 c. c.
Factor de potencia	0,9
Calentamiento máximo	80°
Peso del rotor	510 Tm
Peso del estátor y partes estáticas	280 Tm

3. Transformadores.

Tipo	Trifásico
Potencia nominal	122.222 kVA
Relación transformación 15/420 ±	± 5 % kV.
Conexión triángulo-estrella.	
Peso	224 Tm

2.6. Desvíos de los ríos Tajo y Sever durante las obras.

Integran el desvío del salto de Cedillo los siguientes elementos:

2.6.1. Túnel margen derecha del Tajo.

De 350 m de longitud aproximadamente, con sección circular revestida de 10,80 m de diámetro y 11,50 m de excavación. Su embocadura, situada a cota 67, es de perfil hidráulico apropiado, dotada de partidador central, que crea dos vanos de 5 m de ancho por 12 m de altura, donde pueden colocarse tableros planos para su obturación, manejados desde una plataforma superior a cota 95.

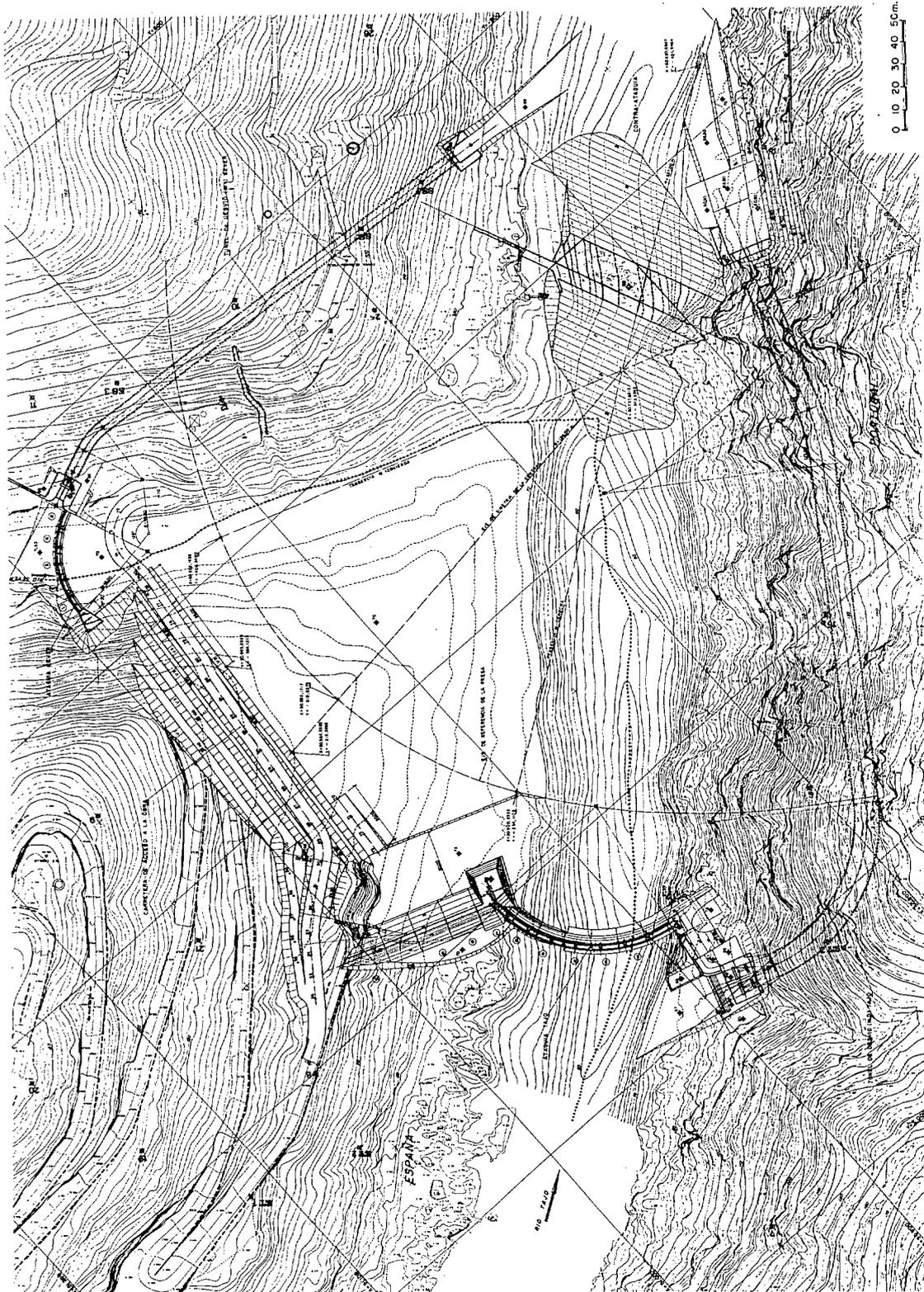


Fig. 10. — Desvíos. Planta general.

Su estructura de salida se ha dispuesto de forma que pueda recuperarse parte de la energía debida a la velocidad.

Su capacidad nominal es de 1.200 m³/seg.

2.6.2. Ataguías.

La ataguía del Tajo es una superficie cilíndrica engendrada por un perfil trapecial de paramento agua arriba vertical de 65 m de radio. Nace a cota 65 y tiene un umbral vertedero a la 91. Su ángulo en el centro es de 78°.

Para regularizar el cauce del río se crea un zócalo hasta la cota 65 de la que nace el cilindro-ataguía. Los espesores del cilindro son: 1,50 m a cota 90 y 6,50 en la base de contacto con el zócalo.

Se apoya por un lado en el estribo aligerado de hormigón contiguo a la embocadura del túnel, y por el otro, en el estribo-ataguía de gravedad. Para su construcción se dividió en bloques por medio de juntas planas dotadas de dispositivos de inyección.

Sobre el labio vertedero se han dispuesto una serie de partidores donde van ubicados los conductos de aireación de la lámina.

La ataguía del Sever es también circular, de perfil trapecial de 41 m de radio y 68° de ángulo en el centro, con un zócalo desde la cota 70 a la 73, a partir de la cual nace el cilindro. Su labio vertedero se sitúa a cota 85 y lleva partidores con conductos de aireación. Se estriba por un lado en la estructura de toma del túnel de desvío del Sever y por otro en un macizo de hormigón situado en la margen derecha del mismo, no coronado a cota 87,50. Para su construcción se dividió en cinco bloques por medio de juntas radiales planas con dispositivos de inyección.

La contra-ataguía está coronada a cota 80. Es de materiales sueltos y lleva como elemento estanco una pantalla de tablestacas que, atravesando la arena del río, alcanza el lecho rocoso. Su perfil transversal es de taludes 1 : 3 y 1 : 2.

2.7. Puente de acceso.

El puente de acceso a la plataforma de coronación de la presa, cota 120, arranca del cajero lado monte del canal Tajo-Sever y termina en el elemento número 12 de la presa. Dispone de una pila intermedia cimentada en el propio canal y permite el acceso, desde España, de todo el material destinado a la presa y central.

3. ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA

3.1. Cálculo de la estructura.

La presa de Cedillo es una estructura de planta curva, de perfil trapecial con paramento de agua vertical

y talud agua abajo 0,68. El vértice resistente está a cota 118.

Las secciones horizontales son arcos de tres centros, cuyos radios, referidos al paramento de aguas arriba valen 196 m en su parte central y 337 m en las zonas laterales. El ángulo en el centro es constante e igual a 53,5°.

La continuidad de la estructura queda interrumpida por los aliviaderos en cotas superiores a la 99 en el lado Tajo y a la 103 en el lado Sever, por lo cual hemos considerado que trabaja como sigue:

- Como presa de gravedad desde coronación-cota 120 hasta la cota 100.
- Como presa arco-gravedad desde la cota 100 hasta la cota 65.

El hormigón en las zonas de cotas inferiores a la 65 —cauces de ambos ríos— hemos supuesto constituye un zócalo de regularización de características idénticas a la de la roca.

Se han calculado las siguientes hipótesis:

- a) Peso propio total por elementos independientes.
- b) Carga hidrostática trapecial con valor 18 m a cota 100 y 53 m en la base.
- c) Carga hidrostática desde la cota 100 a la 118, sustituida por su resultante y momento aplicados a cota 100.
- d) Efectos temperatura restringida: 10° C elevación y 5° de descenso.

En las hipótesis b), c) y d) la estructura se ha considerado de tipo arco con la siguiente hipótesis:

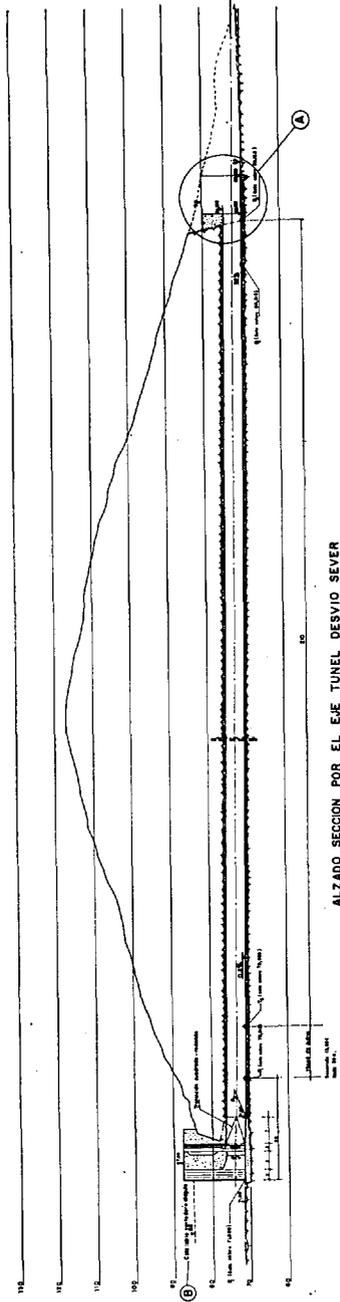
- Módulo de elasticidad del hormigón: 250.000 Kg/cm².
- Módulo de Poisson del hormigón: 0,15.
- Módulo de deformación de la roca: 100.000 Kg/cm².
- Módulo de Poisson de la roca: 0,25.

Las tensiones y corrimientos máximos obtenidos en la superposición de las hipótesis compatibles y más desfavorables han sido los siguientes:

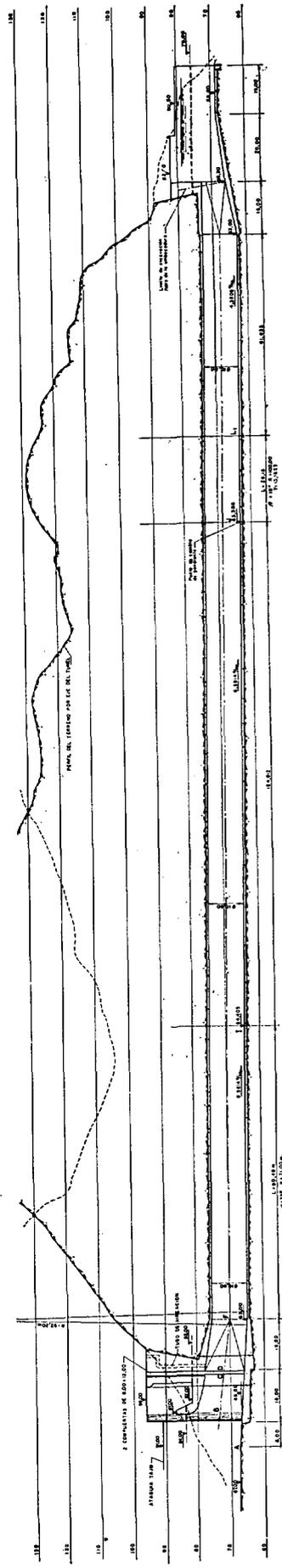
En arco	15,3 Kg/cm ²
En ménsula	16,1 Kg/cm ²
En cimientó	14,0 Kg/cm ²
Corrimiento	8,7 mm

3.2. Estudio de la refrigeración.

La temperatura media de la presa en el momento de inyectar las juntas debe ser alrededor de 15° a 16° C, si pretendemos lograr un comportamiento estructural óptimo frente a las acciones térmicas. Ahora bien, por imperativo del programa de desvíos, las operaciones de inyección deben realizarse pocos meses después de finalizar el hormigonado de la presa. En estas condiciones,



ALZADO SECCION POR EL EJE TUNEL DESVIO SEVER



PERFIL LONGITUDINAL POR TUNEL DESVIO TAJO

Fig. 11. — Desvios. Túneles del Tajo y Sever. Perfiles longitudinales.

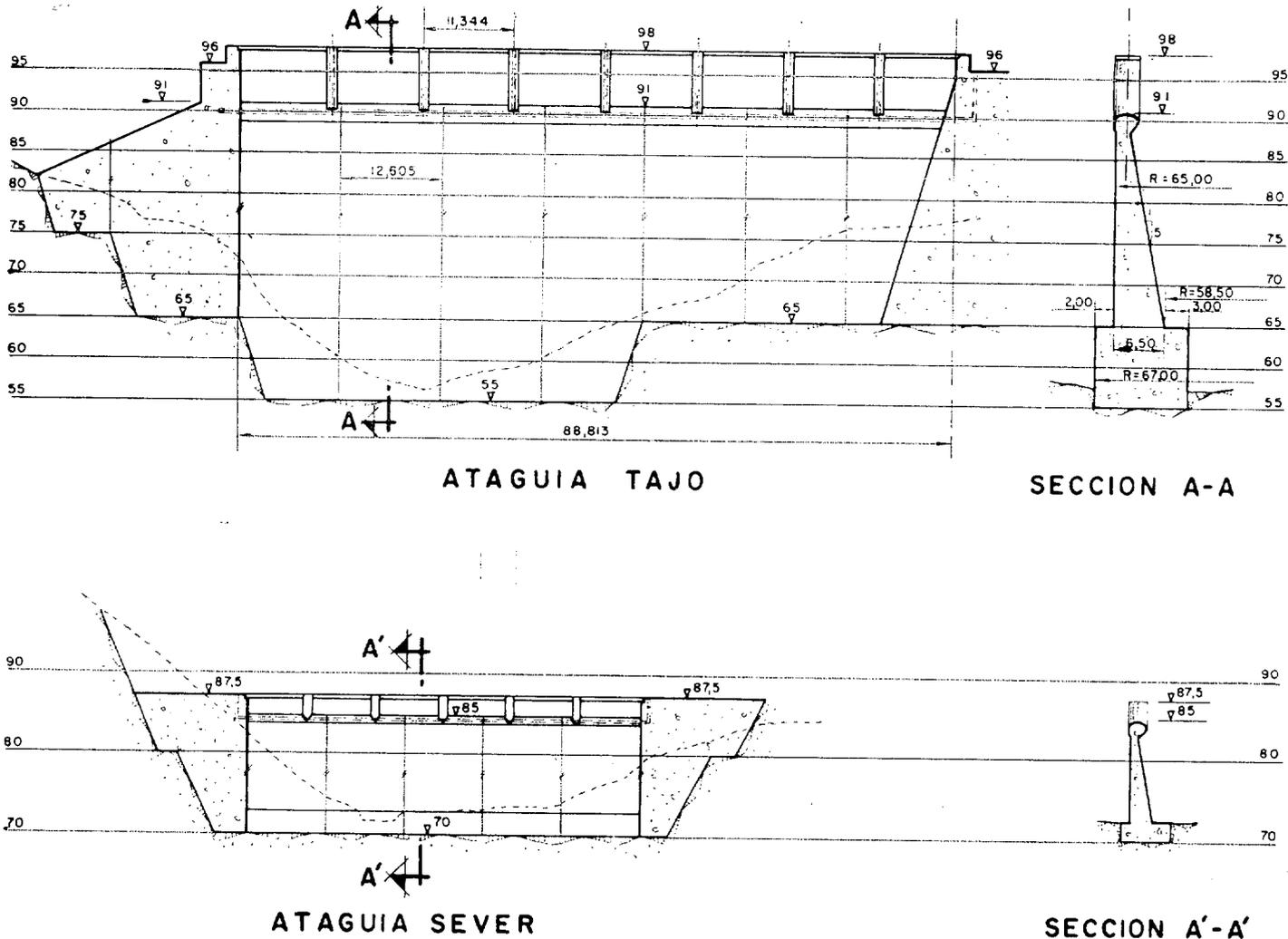


Figura 12.

se dispone de un tiempo muy corto (de quince a nueve meses según la zona) para la disipación natural del calor de fraguado, imponiéndose la necesidad de establecer un sistema de refrigeración del hormigón.

El estudio térmico realizado para resolver este problema parte de las siguientes hipótesis:

a) Por ser la presa de espesor fuertemente variable, se ha dividido en tres zonas, asignando a cada una de ellas un espesor medio y una fecha de ejecución deducida del programa de hormigonado. Estas zonas son:

- Zona baja (cota 55 a 70), de 37,50 m de espesor, hormigonada en el otoño de 1972.
- Zona media (cota 70 a 85), de 27,50 m de espesor, hormigonada en el invierno de 1972-73.
- Zona alta (cotas 85 a 100), de 17,50 m de espesor, hormigonada en la primavera de 1973.

b) Las temperaturas iniciadas del hormigón (suma de las temperaturas de puesta en obra y de la elevación debida al calor de fraguado) varían entre 35° y 45° C según la época de hormigonado. Estos valores se han deducido de numerosos datos experimentales tomados en la presa de Alcántara (construida con un hormigón casi idéntico) y en zona muy próxima.

c) El coeficiente de difusividad del hormigón se supone igual a 0,04 m²/h.

d) La onda de temperatura ambiente es sinusoidal con un máximo de 28° C en verano y un mínimo de 8° C en invierno.

e) La refrigeración artificial, que se efectúa mediante circulación de agua a través de serpentines de ϕ 1", tiene las siguientes características:

- El agua, que procede del gran embalse de Alcántara, se mantiene constantemente a 12° C.
- El caudal específico es de 0,5 cm³/seg/m³.
- Las serpentines se disponen según una malla rectangular de 2 x 2,50 m.

Los resultados del estudio se encuentran resumidos en el gráfico adjunto, que pone de relieve la necesidad —y la eficacia— de la refrigeración artificial.

3.3. Dispositivos para la inyección de juntas.

Hemos dicho que la forma de trabajo de la estructura de la presa es:

- Cono presa de gravedad desde coronación hasta cota 100.
- Cono para arco-gravedad desde la 100 hasta el cimientó.

Del anterior planteamiento se deduce fácilmente la necesidad de inyectar las siguientes zonas de juntas:

- En las radiales o transversales desde cimientos hasta la cota 100, como mínimo.
- En las longitudinales desde cimientos hasta la intersección de la junta con el perfil teórico de presa.

Cada junta se divide en varios recintos estancos, de 10 a 15 m de altura, mediante chapas de hierro de 300 mm dobladas en forma de Z. Dichos recintos afectan:

- A todo el ancho del elemento en las juntas longitudinales.
- A toda la longitud de contacto entre elementos en las juntas radiales.

Cada recinto constituye una unidad independiente que se inyecta de una sola vez, para lo cual va dotado de un circuito de inyección y otro de purga.

El circuito de inyección consta de los siguientes elementos conectados en serie:

- Tubo de inyección-alimentación, de ϕ 1,5", empotrado fuera del plano de la junta y con un extremo accesible (boquilla de inyección) desde la galería perimetral.
- Ranura alimentándose, con sección triangular de 75 x 75 mm comunicado con la junta en toda su longitud, y situada en la parte más baja de cada recinto.
- Tubo de inyección-retorno, de ϕ 1,5", empotrado fuera del plano de la junta y con un extremo accesible (boquilla de retorno) desde la galería perimetral.

El circuito de purga está formado por tres elementos también conectados en serie:

- Tubo de purga-alimentación, de ϕ 1,5", empotrado fuera del plano de junta y con un extremo accesible (boquilla de limpieza). Va dotado de válvula de no retorno.
- Ranura colector, de las mismas características que la ranura alimentadora, pero situada en la parte superior del recinto.
- Tubo de purga-retorno, de ϕ 1,5", empotrado fuera del plano de junta y con un extremo accesible (boquilla de purga).

4. CONSTRUCCION

4.1. Materiales.

4.1.1. Cemento.

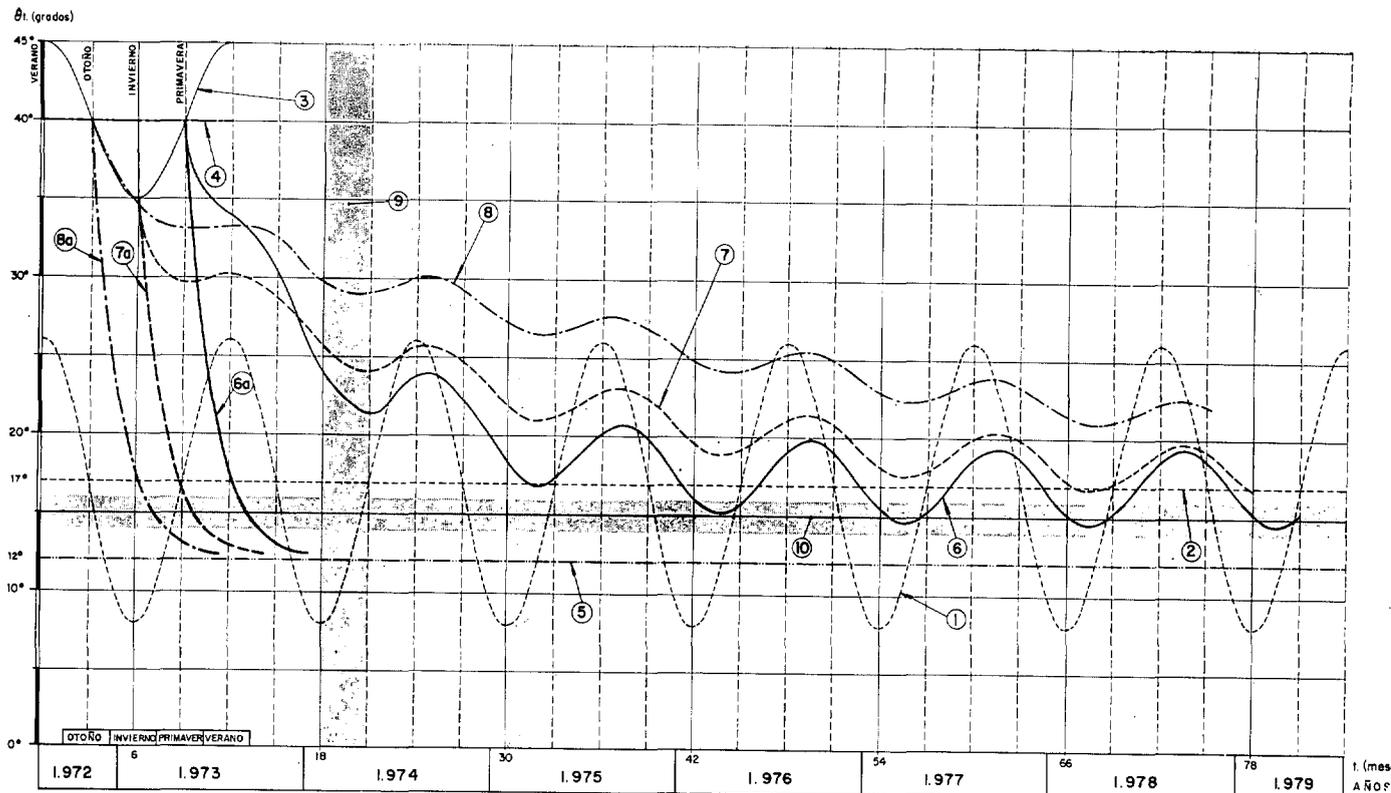
El cemento es puzolánico, con las siguientes características técnicas:

Composición química:

1. Alúmina (Al₂O₃) \geq 6 %.
2. Oxido férrico (Fe₂O₃) \geq 4 %.
3. Oxido cálcico (CaO) \geq 50 %.
4. Sílice (SiO₂) \geq 23 %.
5. Anhídrido sulfúrico (SO₃) \leq 3 %.
6. Oxido magnésico (MgO) \leq 5 %.
7. Residuo insoluble \leq 10 %.
8. Pérdida al fuego \leq 4 %.

Propiedades físicas:

1. Finura de molido: Residuo máximo:
Tamiz 900 mallas/cm² \leq 0,2 %.
Tamiz 4.900 mallas/cm² \leq 8,0 %.
2. Superficie específica mínima: 3.200 \pm 200.
3. Peso específico real mínimo \geq 2,98.
4. Fraguado:
Principio = después de tres horas.
Fin = antes de dos horas después del principio.
5. Calores de hidratación máximos a 21° C:
A 3 días $<$ 40 cal./g.
A 7 días $<$ 55 cal./g.
A 28 días $<$ 70 cal./g.
6. La proporción de puzolana será del 30 \pm 2 %.
7. Humedad: máximo 1 %.
8. Resistencias a flexotracción (curado a 21° C):
A 3 días \geq 33 Kg/cm².
A 7 días \geq 45 Kg/cm².
A 28 días \geq 64 Kg/cm².



- ① TEMPERATURA DEL AIRE ($\theta_{at} = 17 + 9 \cos \frac{\pi t}{6}$)
- ② TEMPERATURA MEDIA ANUAL DEL AIRE (17°)
- ③ TEMPERATURA INICIAL DEL HORMIGÓN ($\theta_{hi} = 40 + 5 \cos \frac{\pi t}{6}$)
- ④ TEMPERATURA MEDIA INICIAL DEL HORMIGÓN (40°)
- ⑤ TEMPERATURA DEL AGUA DE REFRIGERACIÓN (12°)
- ⑥ REFRIGERACIÓN NATURAL DE UN BLOQUE DE 17,50 m. DE ANCHO (HORMIGONADO EN PRIMAVERA)
- ⑥a REFRIGERACIÓN ARTIFICIAL DE UN BLOQUE DE 17,50 m. DE ANCHO (HORMIGONADO EN PRIMAVERA)
- ⑦ REFRIGERACIÓN NATURAL DE UN BLOQUE DE 27,50 m. DE ANCHO (HORMIGONADO EN INVIERNO)
- ⑦a REFRIGERACIÓN ARTIFICIAL DE UN BLOQUE DE 27,50 m. DE ANCHO (HORMIGONADO EN INVIERNO)
- ⑧ REFRIGERACIÓN NATURAL DE UN BLOQUE DE 37,50 m. DE ANCHO (HORMIGONADO EN OTOÑO)
- ⑧a REFRIGERACIÓN ARTIFICIAL DE UN BLOQUE DE 37,50 m. DE ANCHO (HORMIGONADO EN OTOÑO)
- ⑨ EPOCA PREVISTA PARA LA INYECCION
- ⑩ TEMPERATURA DE CIERRE DE JUNTAS

Figura 13.

A compresión:
 A 3 días \geq 130 Kg/cm².
 A 7 días \geq 200 Kg/cm².
 A 28 días \geq 300 Kg/cm².
 A 90 días \geq 375 Kg/cm².

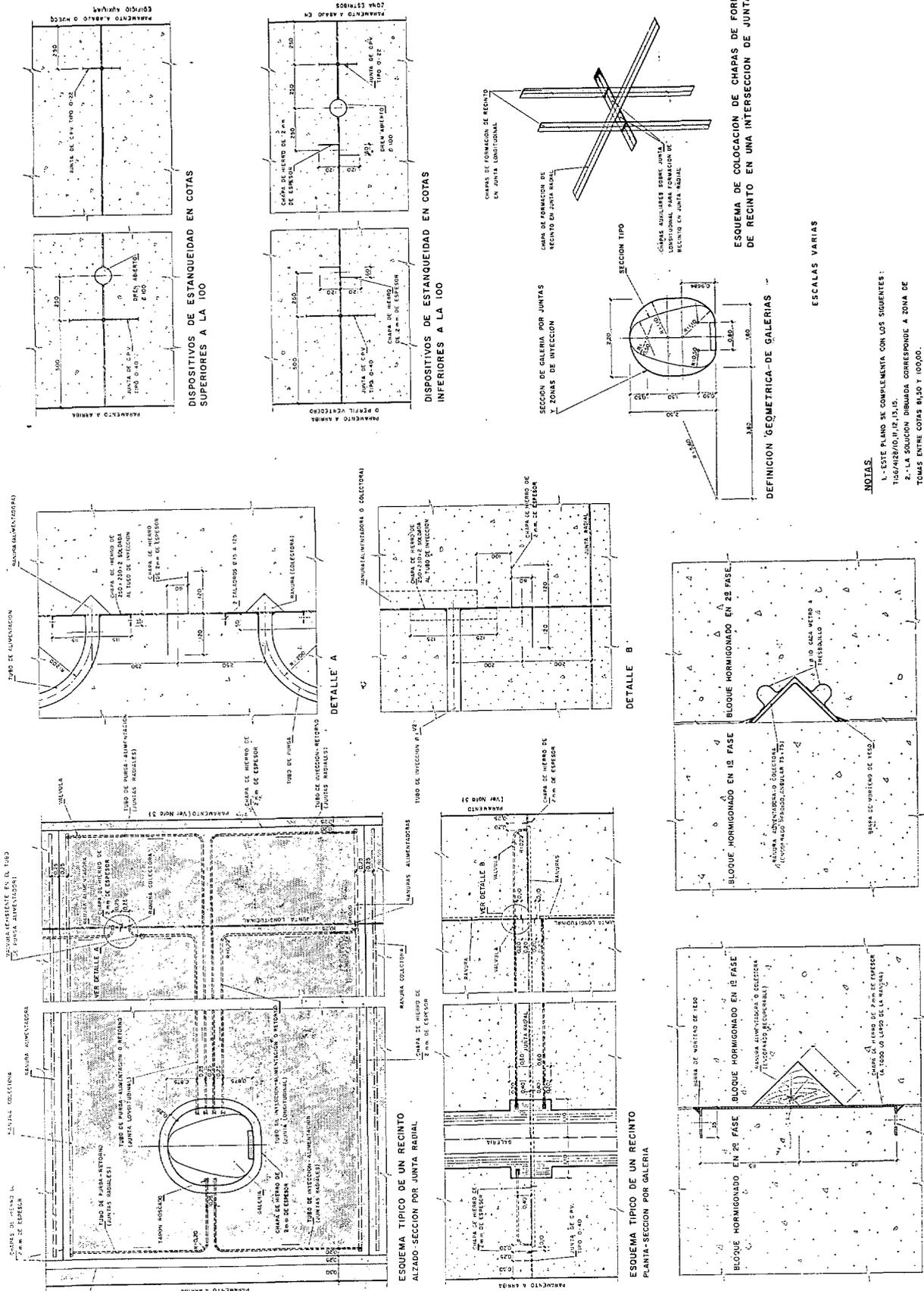
9. Ensayo en autoclave menor de 0,75 %.

4.1.2. Áridos.

Se utiliza como árido el producto resultante del machaqueo de la roca granítica procedente de la cantera situada en el término municipal de Valencia de Alcántara, a la altura del Km 2 de la carretera que va a San Vicente de Alcántara.

Los áridos se clasifican en seis tamaños, dos de arena y cuatro de árido grueso, y deben cumplir las siguientes condiciones:

DENOMINACION	Tamaño nominal — mm.	Menos del 10% retenido en el tamiz — mm.	Menos del 7% pasa el tamiz — mm.	Menos del 3% pasa el tamiz — mm.
Grava gruesa .	70-120	120	70	30
Grava fina	30- 70	70	30	15
Gravilla gruesa.	15- 30	30	15	5
Gravilla fina ...	5- 15	15	5	2,4



NOTAS.
 1.- ESTE PLANO SE COMPLEMENTA CON LOS SIGUIENTES:
 TOS/ARRIBO, H. 02.13.15.
 2.- LA SOLUCION DIBUJADA CORRESPONDE A ZONA DE TOMAS ENTRE COTAS 81.50 Y 100.00.

ESCALAS VARIAS

Fig. 14. — Presa. Detalles de juntas.

Con el esquema de instalación previsto puede realizarse lavado con agua refrigerada y poscribado final antes de la entrada de los áridos en los silos de la torre de hormigonado.

Son eliminados, a la salida del primario, los tamaños inferiores al tamiz de 25 mm, para anular todo el producto procedente de la meteorización de la roca.

5.1.3. Hormigones.

La composición granulométrica de los áridos de cada tipo de hormigón está definida por los porcentajes en peso de los tamaños nominales establecidos.

En el cuadro que sigue se indican los distintos tipos de hormigón previstos y sus resistencias características a compresión en probetas cilíndricas de 15 x 30 cm.

Hormigón tipo	Dosificación nominal (Kg/m ³)	Máximo tamaño del árido (mm)	Resistencia característica Rc-90 (Kg/cm ²)
Núm. 1	225	120	225
Núm. 2	275	70	225
Núm. 3	350	30	250

En principio sólo se prevén adiciones de plastificante para el hormigón del tipo número 1.

5.2. Plan de obra.

Se ha realizado un programa general de obra con objeto de conseguir información continua y fidedigna de la marcha de los trabajos considerados como esenciales.

Se aplicaron en la confección de dicho programa nuevas técnicas de redes, en combinación con técnicas de ordenador, que admiten su cálculo y valoración de manera precisa y rápida. En particular, el sistema elegido, que permite la máxima flexibilidad para el mantenimiento y actualización del programa, incluye una red de precedencias, en la cual se manifiestan claramente todas las relaciones de los diversos sucesos de las actividades. Para el cálculo de dicha red se utilizó el ordenador SIEMENS del Centro de Proceso de Datos de Hidroeléctrica Española, S. A., con un programa de cálculo denominado M.P.M. (METRA POTENCIAL METHOD), que combina una gran facilidad de presentación de datos con una variedad aceptable de informes de salida.- El número de actividades diferenciadas que se han considerado sobrepasan las 1.500, siendo aproximadamente las relaciones entre ellas de 2.700.

Es de destacar la combinación en el programa de los diversos aspectos de la confección del proyecto, ya que junto a las propias actividades de obra se aúnan aquéllas de diseño, fabricación, entrega y montaje, imprescindibles para el buen control de la marcha de la construcción del salto de Cedillo.

Con arreglo a esta programación, para finales de 1973 la presa debería encontrarse en labores de remate y acabado, permitiendo que la puesta en producción del primer grupo generador se haga en el comienzo del verano de 1975, y sucesivamente los otros, hasta que el último grupo entre en servicio un año después.