

REFUERZO DE LA LADERA DEL CANAL DE TOMA, DEL SALTO DE TORREJON

Dr. Ing. C. C. P. L. FRANCO

I. INTRODUCCION

El conjunto hidroeléctrico denominado "Salto de Torrejón", construido por la Sociedad "Hidroeléctrica Española, S. A.", comprende la ejecución de una presa en el río Tajo, otra en el río Tiétar (que es afluente del anterior un kilómetro aguas abajo) y su aprovechamiento conjunto en una sola central subterránea. A la vez, la instalación comprende la posibilidad de comunicación de los dos embalses, por gravedad desde el Tajo, más alto, al Tiétar, y por bombeo en caso inverso. La central, actualmente en servicio, va equipada con cuatro grupos, cuya potencia total en ejes de turbinas es de 202 800 CV., y el salto máximo utilizable es de 48,50 metros en la presa del Tajo y de 26 metros en la del Tiétar.

Uno de los problemas planteados ha sido la apertura del canal de toma del Tajo (que a su vez sirve para el trasvase Tajo-Tiétar y el bombeo Tiétar-Tajo), de grandes dimensiones (14 x 16 m.) en una ladera formada por pizarras y diabasas, estratificadas en capas de 10 a 15 metros, formando un fuerte ángulo de buzamiento hacia el río. Ello es el objeto del presente trabajo.

II. DESCRIPCION DE LA PRESA Y DEL CANAL DE TURBINACION

II. 1. Presa del Tajo.

La presa es de gravedad, de planta general recta con incurvación de los estribos, formada por dos arcos de circunferencia de 250 metros de radio, tangentes al tramo recto, donde está ubicado el vertedero. La cota más baja de la cimentación es la 185, y la de coronación la 247 (lámina 1, fig. 1.^a).

El paramento de aguas arriba es vertical, salvo en los últimos metros, donde baja con pendiente 4:1, dando origen a un pequeño repié que permite centrar mejor el empuje hidrostático. En su parte inferior se acuerda con un arco circular de 4 metros de radio hasta alcanzar la excavación, sobre la que incide normalmente.

El paramento de aguas abajo tiene una pendiente de 1:0,8 salvo en el tramo final, que es de 1:2, con el fin de ganar la excavación lo más normalmente posible. En su parte superior, este paramento se hace vertical,

logrando así el ensanche necesario para el camino de coronación (lámina 1, figs. 2.^a, 3.^a, 4.^a).

Existen cuatro aliviaderos cuyo perfil se ha definido geoméricamente mediante ensayos en modelo reducido. Está constituido su perfil por cuatro círculos de radios crecientes, teniendo como capacidad total de desagüe con una sobreelevación del embalse hasta la cota 244 (perfectamente admisible, ya que la coronación de la presa está a la 247) de 6 000 m.³/seg.

El cuenco amortiguador de 76 m. de anchura ha sido también definido en el ensayo. El aliviadero, de cuatro vanos de 16 metros de luz libre cada uno, está separado por pilas de 4 metros; el labio del aliviadero está a la cota 231,50 y la cota de máximo nivel normal de explotación del embalse es la 242,50.

Cada vano está cerrado por una compuerta Taintor de 16 x 11,430 metros.

Las características esenciales de los desagües de fondo, también han sido definidas mediante ensayos en modelo reducido; los constituyen dos conducciones idénticas con su solera a la cota 200, capaces de evacuar 100 m.³ por segundo cada uno, con la máxima cota de agua.

Lleva cada uno una compuerta Wagon con cierre de seguridad y una compuerta Taintor con cierre de regulación; aguas arriba de la primera va instalada una atagüa.

II. 2. Conducción Tajo-Tiétar.

La conducción Tajo-Tiétar constituye una auténtica comunicación entre los dos embalses, con un tramo central horizontal, de donde parten las cuatro galerías de alimentación de los grupos de que consta la central subterránea que se encuentra construida entre los dos embalses.

Lleva cada uno una compuerta Wagon con cierre de y la obra de toma está adosada al estribo derecho de la presa, con la cota de umbral 229. El escalón de accesos está situado a la cota 227,50. Va provista de rejilla, y el bocal corona a la cota 245 (lámina 1, fig. 5.^a).

La primera parte del canal, hasta pasar la compuerta, es de sección rectangular con ancho de 14 metros y cajero de hormigón con espesores aproximados de 2,5 metros en los muros laterales y 1,5 metros en solera.

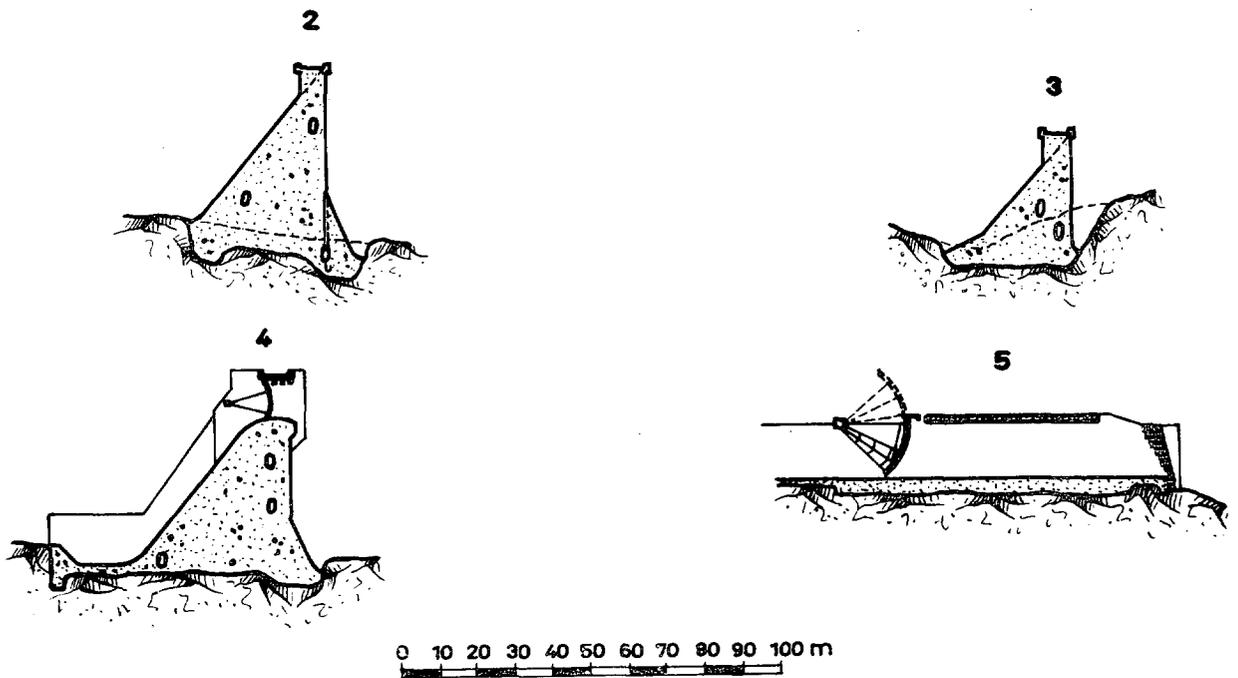
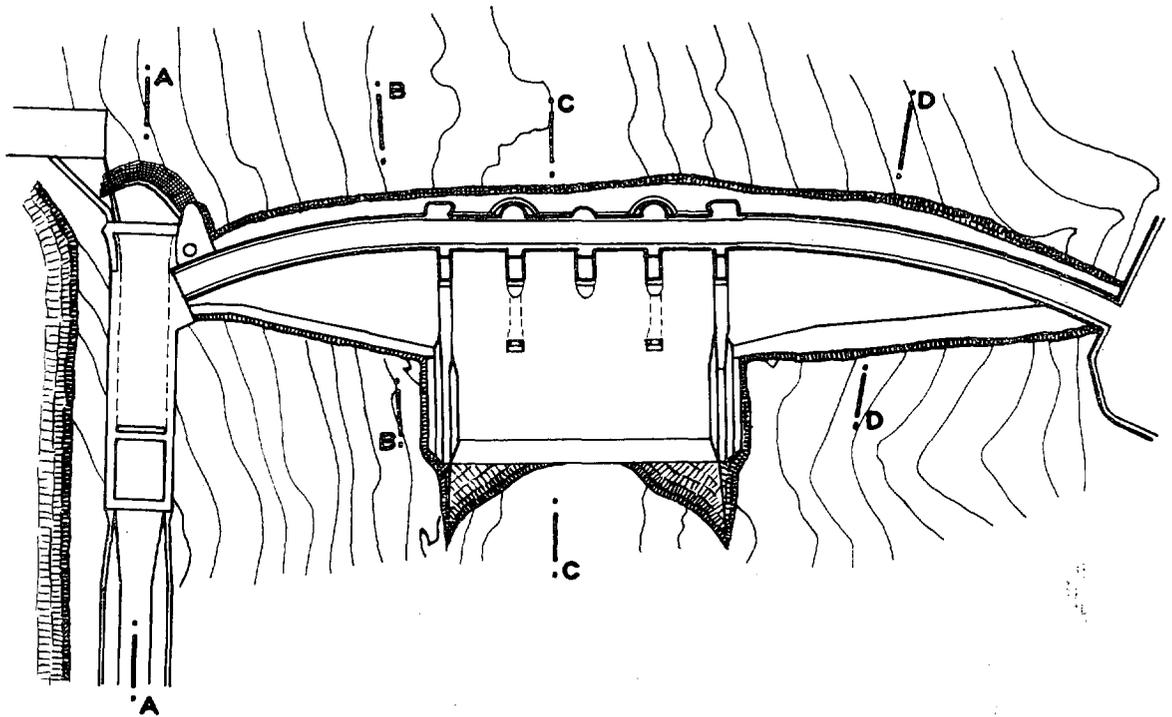


Lámina 1.

1. Planta presa sobre el río Tajo.
2. Sección tipo por el estribo derecho.
3. Sección tipo por el estribo izquierdo.
4. Sección por el eje del canal de toma

Plate 1.

1. Ground plan of the Torrejon on the Tagus River.
2. Cross-section at the right abutment.
3. Cross-section at the left abutment.
4. Cross-section at the spillway.
5. Cross-section at the intake channel axis.

La compuerta de sector, con eje a la cota 243,50, permite su elevación, el paso de las aguas hasta el nivel 242,70.

El canal va a cielo abierto, con las interrupciones del dintel del bocal de toma y las vigas de sostenimiento y anclaje de la compuerta.

Por la margen derecha del canal, a la cota 245, corre la carretera de enlace con la coronación de la presa del Tajo.

En la margen derecha y en la misma cota 245 se dispone una plataforma de 7,5 metros, constituida en parte por la explanación del terreno y en parte por el relleno del intradós del muro del canal en su tramo superior; pasada esta plataforma la ladera asciende con un talud que forma 47° con la horizontal, y tras un quiebro donde el terreno disminuye su pendiente, se dispone un murete de protección.

Una vez rebasada la compuerta, el canal entra en su segundo tramo de mayor longitud con solera horizontal (pues el agua puede circular por él en los dos sentidos, según se trate de turbinación o bombeo), a la cota 229,300.

En esta parte la sección del canal es trapecial asimétrica.

La solera del canal, de 0,50 metros de espesor, va anclada al terreno.

Por encima del paseo, la ladera asciende con un ángulo de 47° con la horizontal, talud impuesto por la estabilidad del terreno, siguiendo en su parte superior el murete de protección.

La última parte de la conducción es en túnel descendente en ángulo de 40° con la horizontal hasta alcanzar la cámara de turbinación, cuya solera se sitúa a la cota 191. Tanto la galería como la cámara de turbinación son de sección circular de 12 metros de diámetro.

La transición de canal a cielo abierto a conducción cerrada se hace mediante un tramo abocinado de sección trapecial simétrica cerrada.

De la cámara de turbinación parten las cuatro tuberías de toma que alimentan los grupos de la central. Cada una de ellas va provista de su correspondiente chimenea de equilibrio, que sirve también de pozo de compuertas, y sus tubos de aireación aguas abajo de las chimeneas. Estas tienen sección en herradura con 6 metros de ancho en la base; aquéllos son circulares de 1,29 metros de diámetro.

Las compuertas de protección de las turbinas son del tipo oruga y de 4 por 6 metros: son manejadas por un semipórtico grúa instalado en la última terraza de escalonamiento de ladera, a la cota 245.

Por el extremo opuesto a la cámara de turbinación se pasa a la conducción del Tiétar, que une la toma con los tubos de alimentación de la central.

Los circuitos de turbinación para el Tajo y el Tiétar son comunes a partir de la cámara. La conducción del Tiétar, de longitud notablemente menor que la del Tajo, está enterrada en toda su longitud. Se trata de una galería circular de 11 metros de diámetro con revestimiento de hormigón armado de 80 cm. de espesor.

A la entrada de la cámara tiene un estrangulamiento donde se sitúa una compuerta de doble efecto, pues ha de trabajar con carga de agua del lado de la cámara de turbinación en caso de turbinación del Tajo, o bien por el lado opuesto, en caso de bombeo. La compuerta es manejada por un semipórtico instalado en la plataforma a la cota 245.

III. GEOLOGIA DEL CONJUNTO DE LA ZONA DE SITUACION DE LA PRESA SOBRE EL RIO TAJO, Y EN PARTICULAR DE LA LADERA DERECHA A LA ALTURA DEL ESTRIBO.

Geológicamente la zona de cerrada está compuesta por cuarcitas y pizarras que arman en el interior del sinclinatorio silúrico flanqueado por su cuarcita armónica de Monfragüe. Una reducida intrusión de rocas cristalinas básicas, en forma de lacolito, asoma en la margen derecha del Tajo, junto a la "Tajadilla Alta".

En la lámina 2, se observa el corte geológico de la zona de la cerrada. En la margen derecha nos encontramos primeramente con la capa de cuarcitas, con una potencia a la altura de la perforación o sondeo número 10 de 4 metros; a continuación tenemos una capa de 13,60 m. de pizarra negra, luego otra de 4,50 m. de pizarra con intercalaciones carbonosas; a continuación otra de 6,20 m. de diabasa y finalmente volvemos a encontrar pizarra con intercalaciones silíceas y luego nuevamente pizarra negra.

El problema principal que se presenta es debido al ángulo de buzamiento de las pizarras, ya que su estratificación es paralela a la capa de diabasa, o sea, con un ángulo muy pronunciado hacia el río; esto hizo temer y posteriormente se pudo comprobar, que al abrir una zanja de más de 15 m. de profundidad en la ladera, pudiera provocarse un deslizamiento de todo el paquete de pizarras situadas por encima del canal.

Se pensó haber situado el canal por lo menos parcialmente en la diabasa; pero su pequeño espesor y el aumento de excavación no sólo no solucionaban el problema, sino que lo incrementaban al tener que ejecutar la obra en túnel.

Como el filón de diabasa se encuentra a una profundidad de 10 a 14 m. y su estructura cristalina presenta una mayor resistencia y estabilidad, se ha adoptado la solución de anclar el muro lateral derecho del canal, o el terreno mismo, efectuando un postensado, de forma que esté cosido todo ello al filón de diabasa.

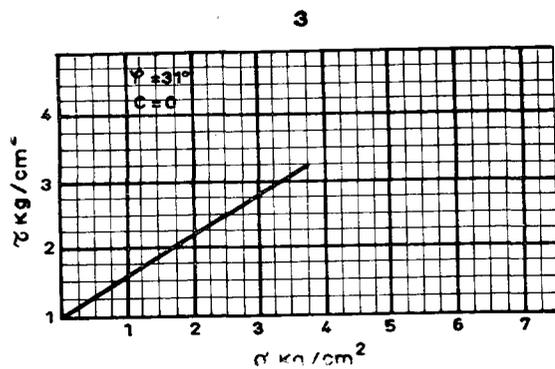
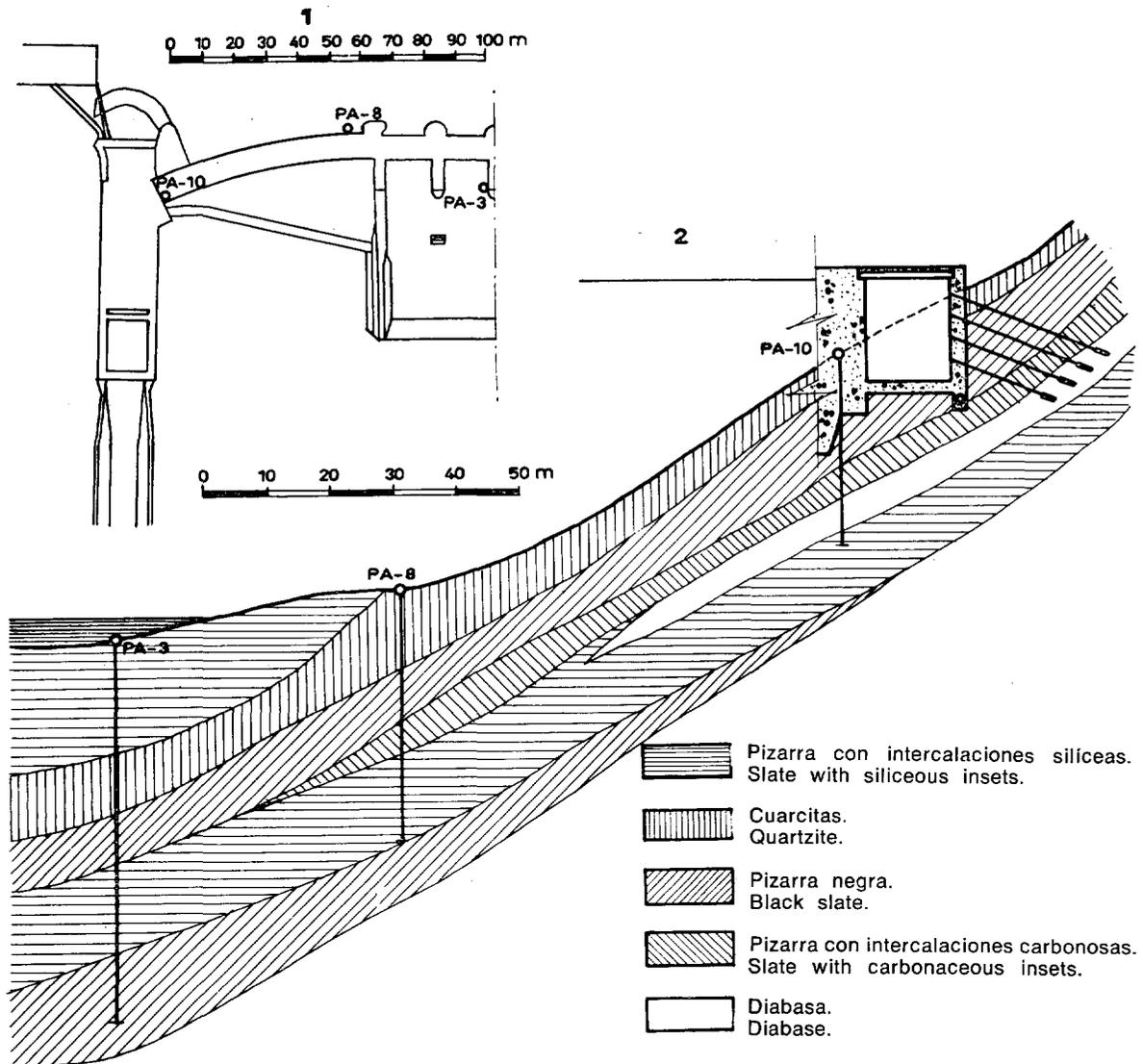


Lámina 2.

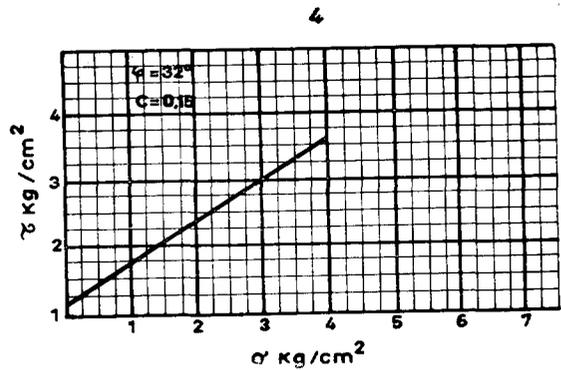


Plate 2.

1. Planta de presa con situación del sondeo 10.
2. Perfil del terreno por el eje de presa.
3. Ensayo de corte directo en terreno saturado a la cota 199.
4. Ensayo de corte directo en terreno saturado a la cota 228.

1. Ground plan of the dam and location of the borehole 10.
2. Profil of ground at the axis of dam.
3. Shear-test on saturated ground at level 199.
4. Shear-test on saturated ground at level 228.

IV. ESTRUCTURA DEL CANAL DE TOMA

La embocadura del canal de toma está constituida por cuatro secciones de distintas características:

Bloque en "L": este tipo va desde la rejilla hasta terminar el primer bloque, una vez sobrepasado el hueco de ataguías; en este bloque, cuya sección puede verse en la lámina 3, se han hecho las hipótesis siguientes:

1. Peso propio del hormigón, 2,5 toneladas por metro cúbico.

2. Sobrecarga sobre la losa dintel, 12 toneladas, que corresponden a una grúa móvil para el izado de los tableros de ataguía, para el cierre de la embocadura del canal.

3. Carga hidrostática en el interior del canal con un nivel de agua a la cota 243,50, siendo la cota de solera la 229.

4. Subpresión sobre la solera del canal, pero al estar la misma cosida al terreno mediante anclajes "perfos", se ha admitido que colabora con la propia solera una cierta masa del terreno, por lo cual solamente se considera una carga de subpresión de 6 toneladas por metro cuadrado.

5. Subpresión sobre el hastial del lado monte; aquí se ha considerado carga triangular con valor total abajo y nula arriba.

El empuje del terreno sobre el hastial del lado monte, se considera que ha de ser absorbido íntegramente por los anclajes postensados; pero aparte de ello, se admite que entre los anclajes existen unas cuñas parciales, que no son aguantadas por los mismos; esta particularidad se traduce en considerar un empuje uniformemente repartido de 5 toneladas por metro cuadrado.

Partiendo de esta hipótesis de carga, se ha supuesto la existencia de un cierto número de anclajes de 100 toneladas sobre el hastial del lado monte, y para el cálculo, se considera este hastial como una placa apoyada sobre un medio elástico bajo el efecto de cargas puntuales de 100 toneladas en los puntos de anclaje de los cables.

A continuación tenemos el bloque cajón, es decir, de sección cerrada con relleno de terreno en su parte superior (ver croquis); las hipótesis de cálculo que se han considerado en este caso han sido las siguientes:

1. Peso propio, 2,5 toneladas por metro cúbico.

2. Sobrecargas sobre el dintel del bloque, una galera transportando un transformador, equivalentes a 80 toneladas en total.

3. Carga hidrostática interior del agua hasta la cota 243,50.

4. Subpresión sobre la solera, igual que en el caso anterior, 6 toneladas metro cuadrado, por seguir la solera cosida al terreno mediante anclajes "Perfos".

5. Empuje del terreno del lado monte, 5 toneladas por metro cuadrado, por la razón indicada en el caso anterior, y también aquí se hace el cálculo, suponiendo que el hastial de este lado es una placa apoyada sobre medio elástico, con cargas puntuales de 100 toneladas.

6. No se ha considerado empuje de la presa sobre

el cajón que forma el canal, pues por ser la presa de planta general recta, con incurvación de los estribos con dos arcos de circunferencia de unos 250 m. de radio, tangentes al tramo recto, donde está ubicado al vertedero, y tener éste la cota de umbral a la 231, y la del canal a la 229, se produce un arco inclinado que transmite toda la carga al terreno.

7. Finalmente se han considerado, por ser un elemento cerrado, los efectos de temperatura y dilatación, ya que se trata de una estructura hiperestática.

El siguiente perfil es idéntico al anterior, con la única diferencia de que el terreno no empuja a lo largo del muro del lado monte.

Por último, tenemos una sección en *U* correspondiente a la parte descubierta del canal: Las hipótesis de cargas son más sencillas en este caso, al estar el desmonte separado del trasdós del muro y solamente se supone el peso propio (2,5 toneladas por metro cúbico); carga hidrostática con un nivel también hasta la cota 243,50 y el efecto de la subpresión solamente en la solera.

Al terreno lateralmente se le ha dado un talud de 1/10 con un abancalamiento en la parte superior a la cota 245, aproximadamente, para evitar que el desplome sea excesivo.

Para asegurar la estabilidad de esta masa rocosa, se ha anclado directamente a la diabasa por medio de anclajes pretensados.

IV. 2. Pantalla de impermeabilización.

Se ha efectuado una pantalla para impedir la filtración desde el embalse por debajo de la solera del canal en el sentido transversal y según se aprecia en la lámina 4, con unas profundidades que oscilan entre los 20 y 30 m. y presiones en la admisión de 4 a 10 Kg./cm.²; la separación es de 2,5 m. entre taladros y las características de absorción, profundidad, etc., se aprecian en el cuadro adjunto.

Pantalla *B*, de impermeabilización, lámina 4:

Características: { Separación de taladros: 2,50 m.
Profundidad en la roca: 20 m.
Inclinación con la vertical: 20°.

Presión: { 10 Kg./cm.² si $h > 10$ m.
4 Kg./cm.² si $h \leq 10$ m.

IV. 3. Elementos de drenaje.

A lo largo de todo el canal y en su mismo sentido, por debajo del paramento izquierdo se ha construido una galería de drenaje, desde donde se han efectuado cuatro pantallas de taladros en sentido transversal y formando diversos ángulos; esta galería tiene la forma y dimensiones que se indican en la lámina 4 (fig. 3.^a), y como se puede apreciar tiene una cuneta para recogida de aguas permitiendo el paso de personas para una inspección ocular.

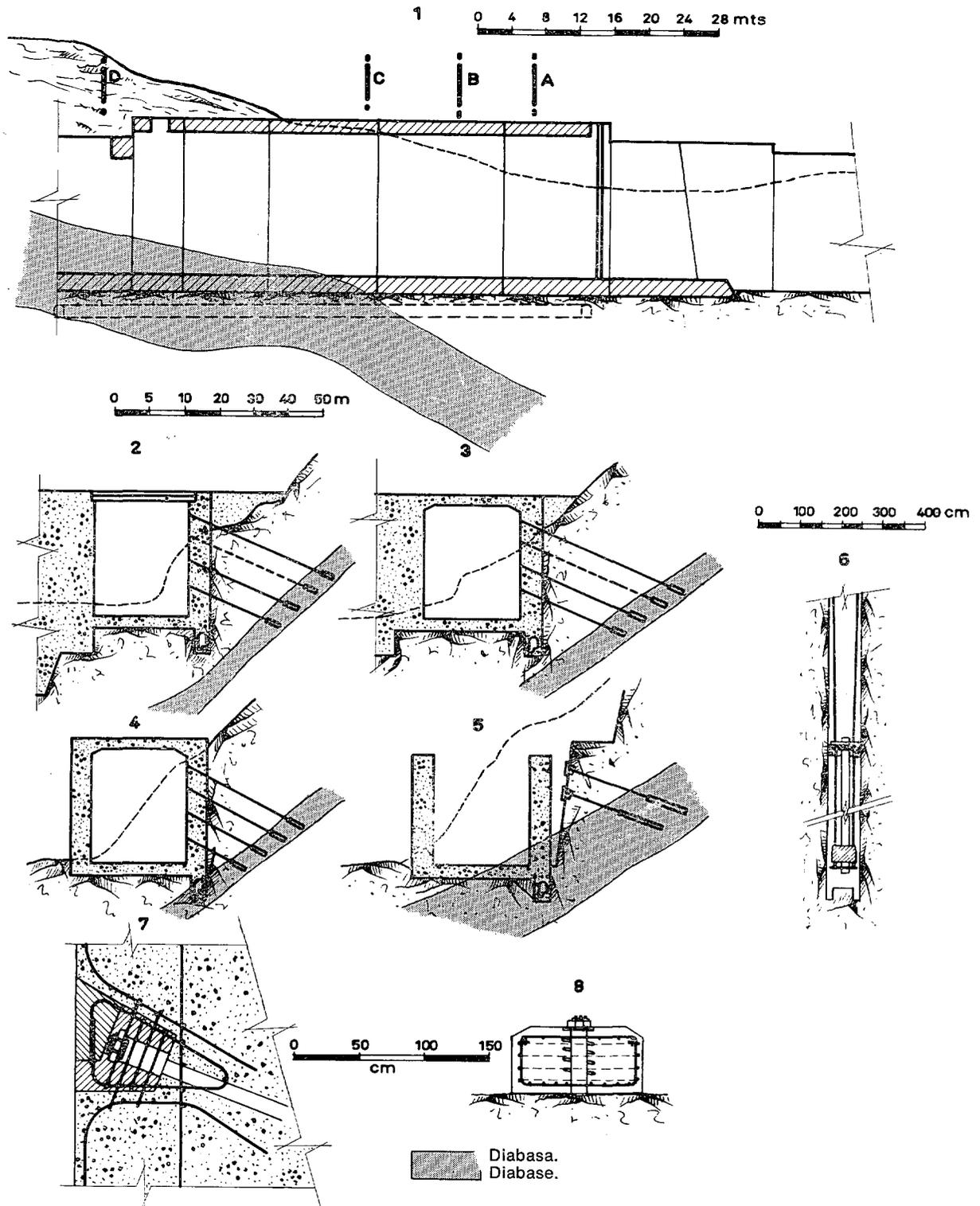


Lámina 3.

1. Sección por el eje longitudinal del canal de toma.
- 2, 3, 4, 5. Secciones transversales *A-B-C-D*.
6. Detalle de la cabeza fija del anclaje pretensado BBR (tipo G_f).
7. Detalle de la cabeza fija del anclaje pretensado BBR (tipo G_f).
8. Cabeza de anclaje móvil en bloque exento del anclaje pretensado BBR (tipo G_f).

Plate 3.

1. Cross-section at the longitudinal axis of channel
- 2, 3, 4, 5. Cross-section *A-B-C-D*.
6. Detail of fix head in prestressed anchoring BBR (type G_f)
7. Detail of mobile head in prestressed anchoring BBR (type G_f).
8. Mobile head for anchoring.

Las pantallas efectuadas desde esta galería son tres (lámina 4, figura 2.^a).

La primera, llamada pantalla *M*, se efectuó verticalmente en sentido descendente con una profundidad de 15 y 25 m. alternativamente y una separación de taladros de 2,5 m.; su misión es recoger las aguas más profundas rebajando al máximo el nivel freático, y dejarlas en la cuneta de la galería.

La segunda pantalla, denominada *O*, está formada por dos grupos de taladros; ambos ascendentes; el primero, de 20 m. de longitud, forma un ángulo de 15° con la vertical, y el segundo, de 25 m. forma un ángulo de 35°; están situados alternativamente con una separación también de 2,5 m y arrancan del punto situado a 1,30 m. de la solera de la galería en su paramento derecho. La misión encomendada es el drenaje de todo el bloque rocoso situado detrás del paramento derecho del canal.

La tercera pantalla, denominada *P*, situada a 0,70 metros sobre la solera de la galería en su paramento derecho, tiene una inclinación de 85° con la vertical, una

longitud de 15 m. y una separación de 2,50 m. entre taladros; su misión es evitar la subpresión en la solera del canal.

Por otra parte, en el principio de esta galería, y según se aprecia en la lámina 4 (figura 3.^a), existe un ramal desde el que se ha realizado otra pantalla de drenaje del macizo de la margen derecha de la boca de toma; se ha efectuado con taladros en distintas direcciones según se aprecia en la misma lámina 4 y en la disposición de la figura 5.^a, "sección transversal de este ramal", esta pantalla llamada *Q* tiene distintas características según se puede apreciar en los cuadros adjuntos.

Por último, se ha efectuado otra pantalla de drenes desde la galería que corre por debajo de la toma denominada *M*, cuya misión es drenar las posibles filtraciones de la pantalla de impermeabilización *B* antes descrita, y cuyas características están en el cuadro siguiente, así como de las otras pantallas de drenaje descritas anteriormente.

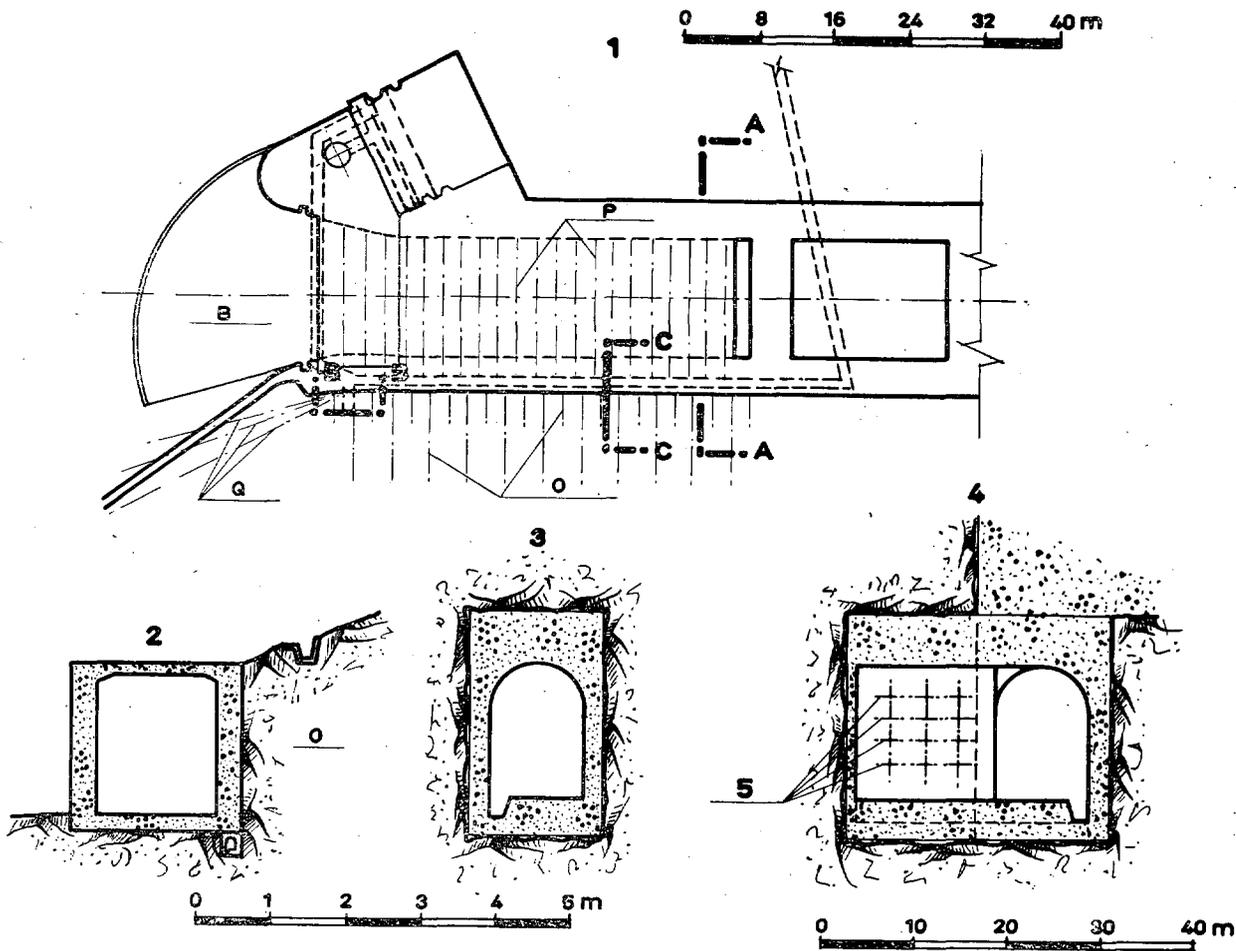


Lámina 4.

Plate 4.

1. Planta de la embocadura del canal de toma.
- 2, 3, 4. Secciones transversales AA-BB-CC.
5. Drenajes.

1. Plan of the intake channel inlet.
- 2-3-4-. Cross-sections AA-BB-CC.
3. Detail of drain gallery.
5. Drains.

Pantalla	Separación de taladros — m.	Profundidad en la roca — m	Inclinación con vertical	OBSERVACIONES
M	2,50	1 de 25 1 de 15	0°	Para realizar desde la galería después de terminar la pantalla B de impermeabilización.
O	2,50	—	—	Para realizar desde la galería después de terminar la pantalla B de impermeabilización.
P	2,50	—	—	Para realizar desde la galería después de inyectadas las juntas en la solera.
Q	—	—	—	Para realizar desde el ramal de la galería después de terminada la pantalla B de impermeabilización.

IV. 4. Anclajes.

El objeto principal de los anclajes es, aprovechando el filón de diabasa que discurre enterrado en el terreno como indica el croquis adjunto de la lámina 2, coser la masa rocosa de pizarras y pizarras carbonosas a la diabasa, impidiendo los posibles deslizamientos y al mismo tiempo aportando unos esfuerzos que tienden a descargar la estructura del canal del empuje del terreno.

Existen dos tipos de anclajes; uno, para coser al te-

rreno la estructura de hormigón, y otro, para el propio terreno.

El anclaje al terreno se realiza mediante una cabeza fija (ver detalle en lámina 3), donde quedan embutidas a su vez las cabezas de los alambres. Toda la zona de anclaje se inyecta en dos fases a través de un tubo concéntrico al agujero de la perforación. La parte inyectada queda aislada del resto de la perforación para la posterior inyección mediante un obturador de cuero que hace estanca la zona.

Las cabezas de anclaje en el hormigón están descri-

CANAL DE TOMA

Panel núm. 4 (TT-1).

Denominación de los anclajes	PERFORACION		COLOCACION		INYECCION		TENSADO	
	Fecha de terminación	Longitud perforación	Fecha de colocación	Longitud anclaje	Fecha de inyección	Inyectado — Lit.	Fecha de tensado	Capacidad — Tm.
4, a I	10-11-64	45,30	17- 3-65	44,00	18- 3-65	50	5-4-65	100
4, a II	25-11-64	44,70	10- 3-65	44,00	12- 3-65	44	5-4-65	100
4, a III	11-12-64	44,70	24- 2-65	44,00	12- 3-65	44	5-4-65	100
4, a IV	13-11-64	46,25	17- 3-65	44,00	18- 3-65	50	5-4-65	100
4, b I	30-11-64	41,70	9- 3-65	41,00	12- 3-65	48	3-4-65	100
4, b III	24-11-64	41,70	17-12-64	41,00	22-12-64	70	5-4-65	100
4, c II	10-12-64	37,70	16-12-64	37,00	22-12-64	70	31-3-65	95
4, c IV	2-12-64	37,70	16-12-64	37,00	22-12-64	70	31-3-65	100
4, d I	27-11-64	34,70	15-12-64	34,00	22-12-64	65	3-4-65	95
4, d II	24-10-64	35,50	15-12-64	34,00	22-12-64	65	3-4-65	95
4, d III	26-11-64	34,70	15-12-64	34,00	21-12-64	70	3-4-65	92
4, d IV	8- 9-64	35,60	15-12-64	34,00	21-12-64	50	31-3-65	94

tas en la figura adjunta de la lámina 3; la inclinación de los anclajes con la horizontal es de unos 20 a 30 grados; por lo tanto, se han dejado abiertas unas cajas en el paramento interior del muro; colocando unos dados de anclaje y recubriendo posteriormente el conjunto con un hormigón de relleno para proteger las cabezas de los anclajes de la acción de las aguas.

En la página anterior, como ejemplo, se incluye un cuadro con las características de perforación, colocación, inyección y tensado de los anclajes de un panel del bloque TT-1.

V. CALCULO DEL NUMERO DE ANCLAJE.

Una vez fijadas las dimensiones de los distintos tramos del canal se ha calculado el número de anclajes necesarios para obtener la estabilidad de la ladera y la seguridad deseada en la estructura.

Las bases del cálculo han sido las siguientes:

El ángulo de rozamiento interno de las pizarras se ha fijado mediante ensayos de corte directo en 29°.

La cohesión se ha considerado para sus valores extremos, o sea,

$$C = 0; \quad C = 1.$$

El coeficiente de seguridad adoptado debe de ser $K \geq 1,1$.

El terreno se supone saturado.

Se sitúa la capa de diabasa a la profundidad determinada por los sondeos existentes.

La estabilidad se estudia tomando franjas de 2,5 metros de anchura, que es la separación de los anclajes.

Como hipótesis de deslizamiento se supone que el macizo puede deslizar según la superficie de contacto entre la pizarra y la diabasa, habiendo medido el ángulo que forma este plano con la horizontal mediante los sondeos efectuados.

Los fórmulas empleadas son las siguientes:

$$E = W \sin B = \lambda h \gamma \sin B \cos B: \left\{ \begin{array}{l} \lambda = \text{longitud de la línea de contacto.} \\ h = \text{altura de la cuña.} \\ B = \text{ángulo del talud natural.} \\ \gamma = \text{peso específico de la roca.} \end{array} \right.$$

$$E' = N + n \sec(\theta + \varphi) \tan \varphi + n \cos(\theta + \varphi).$$

$$N = W \cos B = \lambda h \gamma \cos^2 B.$$

θ = inclinación del cable con la horizontal.

φ = ángulo del plano de contacto con la horizontal.

$n = 100 a$ = esfuerzo total de tracción de los anclajes, siendo a el número de aquellos que se necesitan.

y debe de ser:

$$K = \frac{E'}{E} \geq 1,1.$$

Tomamos $B = \varphi$, pues se rectifica el talud del monte hasta hacerlo sensiblemente igual.

En estos cálculos se prescinde de las fuerzas que tienden a estabilizar.

El cálculo se realiza tanto para la hipótesis de terreno saturado y no saturado.

En la hipótesis de terreno no saturado se ha visto que las condiciones eran más favorables y por ello no ha sido necesario su cálculo.

En la lámina 2, se incluyen gráficos de ensayo de corte directo, para la determinación del ángulo de rozamiento interno de la pizarra.

V. 1. Resultados.

Quedó fijada así la estabilidad de la ladera, para evitar el peligro real de su desplazamiento. Esto se puso de manifiesto durante la ejecución de las excavaciones del canal, ya que hubo algunos desprendimientos aunque de pequeños volúmenes, a la vez que aparecieron fisuras en la plataforma superior situada unos 40 m. por encima de la zona de la obra.

A partir de la terminación del cosido de anclaje, no ha vuelto a producirse el menor movimiento ni fisuración, estando hace varios meses en explotación el canal con distintos caudales o vacío, dependiente del trabajo normal de explotación de la central.

V. 2. Dispositivos de control.

La ausencia de movimientos del canal ha podido ser comprobada a partir de los movimientos del estribo derecho de la presa, al que está íntimamente ligada la estructura de la embocadura.

La medida de los desplazamientos de la presa a su vez, se realiza mediante mediciones geodésicas desde puntos fijos del terreno, tanto a embalse lleno como a embalse vacío. En todos los casos, los resultados obtenidos han sido altamente satisfactorios, luego la solución adoptada ha sido correcta en este caso.

VI. RESUMEN.

En la margen derecha de la zona inmediata a la presa de Torrejón, hacia aguas abajo, el terreno está formado por una primera capa de cuarcitas de un espesor del orden de 4 m.; a continuación una capa de unos 13 m. de espesor, de pizarra negra, después otra capa de unos 4,50 m. de pizarra con intercalaciones carbonosas; más abajo otra capa de más de 6 metros de diabasa y, finalmente, pizarras con intercalaciones silíceas y nuevamente pizarra negra.

Todo ello con un fuerte buzamiento hacia el río del orden de 47°.

El canal de toma, que discurre por esta margen, y

cuyas dimensiones son de 14 m. de ancho y 16 m. de altura, supone el cortar el paquete de pizarras, temiendo, por tanto, su deslizamiento sobre canal.

Se tantearon diversas soluciones para no provocar la posibilidad del deslizamiento de las pizarras, haciendo el canal en túnel, o sujetar la ladera haciendo una estructura tumbada sobre el terreno y anclada a la diabasa en los nudos de esta estructura.

Finalmente, se optó por la solución de coser el hastial derecho del canal o el terreno mismo a la capa de diabasa, como más resistente y estable por su estructura cristalina. Este cosido se realizó en la forma ya descrita mediante cables postensados, habiéndose comprobado la efectividad de esta solución.

El canal tiene cuatro secciones tipo: 1.^a Bloque en *L* desde la rejilla hasta sobrepasar el hueco de ataguía; 2.^a Bloque cajón o de sección cerrada. 3.^a también cerrada, pero sin empuje directo del terreno sobre el muro lateral del lado monte. 4.^a Sección en *U* correspondiente a la parte descubierta del canal.

En cada caso se han considerado las diferentes hipótesis de carga. Las comunes son: peso propio del hor-

migón, 2,5 Ton./m.³ y carga hidrostática en el interior del canal correspondiente a 14,50 m. de agua. La subpresión se ha considerado como carga de 6 Ton./m.² teniendo en cuenta la colaboración del terreno al que está cosida la solera mediante pernos "perfos". La subpresión, en el caso de estar el hastial derecho recibiendo carga directa del terreno, se ha considerado como carga triangular, con valor total abajo y nulo arriba. El empuje del terreno sobre el hastial, en su caso, se considera que ha de ser absorbido íntegramente por los anclajes postensados, pero admitiendo que entre los anclajes existen unas cuñas parciales que no son aguantadas por los mismos.

El cálculo se realiza para la hipótesis más desfavorable, de terreno saturado.

Los anclajes se efectuaron con inclinación de 20 a 30° con la horizontal, y tensado de 90 a 100 toneladas.

A lo largo del canal y bajo el paramento izquierdo, se ha construido una galería de drenaje, y desde ella tres pantallas *M*, *O* y *P* de taladros que eliminan la subpresión y drenan todo el bloque rocoso de la ladera. Sus inclinaciones y disposición pueden apreciarse en los dibujos adjuntos.