

CIERRE DEL TUNEL DE DESVIACION DEL PANTANO DE ENTREPEÑAS

Por DOMINGO DIAZ-AMBRONA,
Ingeniero de Caminos.

Se hace en el presente artículo una detallada descripción del interesante y eficaz sistema adoptado para el cierre del túnel de desviación del Pantano de Entrepeñas, restituyendo el río a su cauce para que comience la utilización de la gran presa.

El 11 del pasado marzo se realizó el cierre del túnel de desviación del río Tajo, que ha servido para dar paso a las aguas durante la construcción de las obras, restituyéndose el río a su cauce, harto cambiado por la ejecución de la presa.

La ocasión, por tratarse del río Tajo, de tan ibérico renombre, no carece de cierta emoción histórica, y en ella podían rememorarse las tentativas viejas de un milenio para desviar el Tajo, entonces con fines bélicos.

Pero al lado de la fruición espiritual de un acontecimiento señero, que basta con señalar, existe tal vez algún interés de tipo técnico, acaso mejor práctico, que es al que nos vamos a referir en este artículo.

No abunda la documentación sobre obras de esta clase, y en general, cuando llega el momento hay que improvisar. Recordando la gran cantidad de dudas que teníamos aún hace pocos días, el tiempo perdido en tanteos y la posibilidad de descarriarse y recurrir a soluciones más costosas, nos decidimos a dar cuenta de lo realizado y su resultado, por si puede reportar algún provecho a alguien que tropieze con problemas semejantes.

El problema.

Se trataba de taponar definitivamente el túnel de desviación, cuya sección es la representada en la figura 1.^a, a, b, y c, desviando el agua a través de los huecos de los desagües de fondo (fig. 2.^a). La capacidad máxima del túnel, con el agua en la cota 652, estaba calculada en 170 m.³/seg. La de los desagües de fondo, en relación con la carga, se calculaba de acuerdo con el diagrama de la figura 3.^a. El umbral de los desagües de fondo, como puede apreciarse, está en la cota 649.

El problema se complicaba por el hecho de no estar instaladas las compuertas de los desagües de fondo más que en uno de los tres vanos. En los otros dos, a consecuencia de haberse instalado una compuerta completa de las de Entrepeñas en el Pantano de Buendía para hacer posible allí también el cierre, sólo estaban instaladas las compuertas delanteras de un modo precario, sin los carretes de unión

y sin posibilidad de descenso, apenas la carga de agua sobrepasase muy pocos metros el dintel. Es decir, sólo podrían utilizarse temporalmente y en caso favorable.

La época del cierre, impuesta por la marcha para-

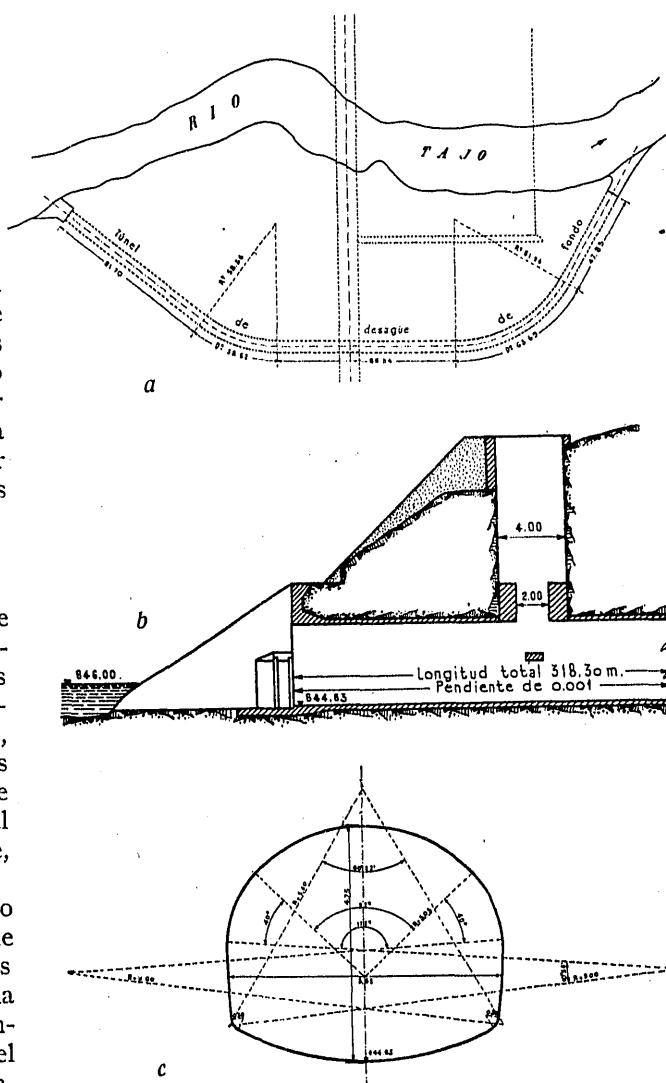


Fig. 1.ª — Dibujos del túnel de desviación.

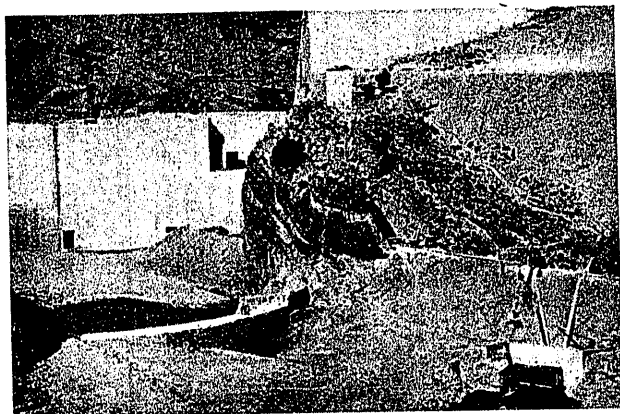


Fig. 2.ª — Situación relativa de la boca de entrada del túnel (cota 64 463). Ataguía de aguas arriba, poco antes de ser rebasada, y desagües de fondo (cota 649).

lela de todas las demás condiciones: hormigonado, construcción del muro protector de la central hidroeléctrica y, sobre todo, montaje de los desagües de fondo, no podía ser más desfavorable. Había que prever un dispositivo eficaz para caudales que en modo alguno bajarían de 20 m.³/seg., y muy bien podían estabilizarse en más de 60 m.³/seg., con posibilidades de crecidas súbitas de hasta varios centenares de metros cúbicos por segundo (véanse curvas de caudales cronológicos en 1951 y 1952 (fig. 4.ª)).

Para acceso al túnel de desviación estaba construido un pozo de sección rectangular de 4 × 2 m., con boca de entrada en la cota 660, 50 m., si bien puede considerarse que a partir de la cota 657 las filtraciones del terreno lo harían impracticable.

El embalse provisional creado podría dar una carga de agua de hasta 45 m.

Los dispositivos previstos.

Para asegurar el cierre en circunstancias normales — ya en sí muy desfavorables, dada la época — y prever contingencias extraordinarias una vez empezadas las operaciones, se adoptaron las siguientes disposiciones, algunas de las cuales no llegaron a utilizarse por haberse desarrollado la marcha del cierre de acuerdo con las más optimistas previsiones:

a) *Boca de entrada.* — La observación de los caudales, el estudio de los registrados en el tiempo de ejecución de la obra y durante todo el siglo, coordinada con la de las condiciones del año: nieve en la cabecera, correlación de lluvias con caudales, estado del terreno, etc., nos llevó a la conclusión de que era sumamente probable que, por lo menos en algunas ocasiones, las aguas no cubrieran totalmente el túnel. Ello y la ingenieril exigencia de máxima economía y facilidad de ejecución, aconsejó la solución de dividir la sección del túnel mediante una viga horizontal que serviría al mismo tiempo de base de operaciones,

apoyo inferior de una rejilla fija que cubriese la parte superior del túnel y apoyo superior de un eje sobre el que girase la rejilla móvil que habría de cubrir la mitad inferior del túnel.

La determinación de la altura de esta viga sobre el umbral era cuestión de la máxima responsabilidad, ya que, de construirla demasiado alta, se reducía considerablemente su utilidad y se encarecía grandemente la rejilla y compuerta inferior, y pasarse hacia abajo era todavía mucho peor, puesto que podía determinar su inutilización como base de operaciones y apoyo del eje, aunque eventualmente siempre podría servir para reducir la luz de los elementos resistentes del cierre, en el caso de que se trasladase más arriba el eje de giro.

Afortunadamente, la colocación elegida resultó la más conveniente. Apenas terminada de hormigonar, sobrevino una pequeña crecida; cubrió los encofrados y corrió sobre el hormigón fresco de treinta y seis horas, sin que produjese el más mínimo daño. Sumergida durante bastantes días, con posterioridad, un ligero descenso del caudal permitió realizar con

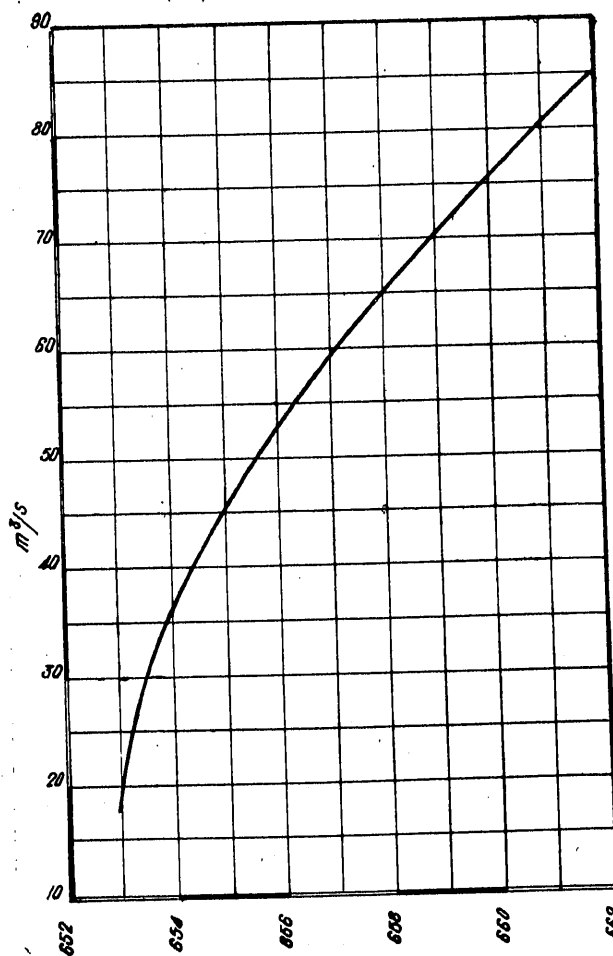


Fig. 3.ª — Diagrama de caudales en desagües de fondo.

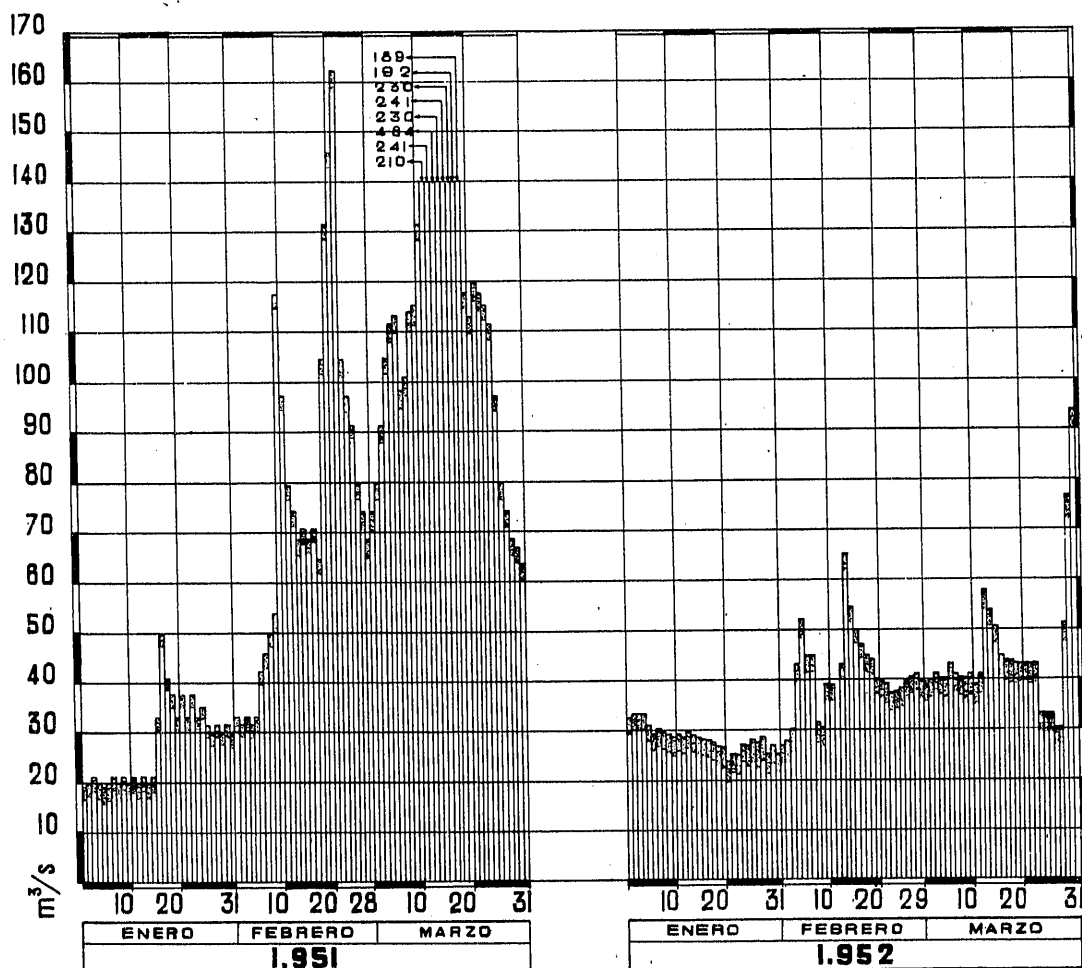


Fig. 4.^a — Caudales cronológicos, según el Servicio de Aforos.

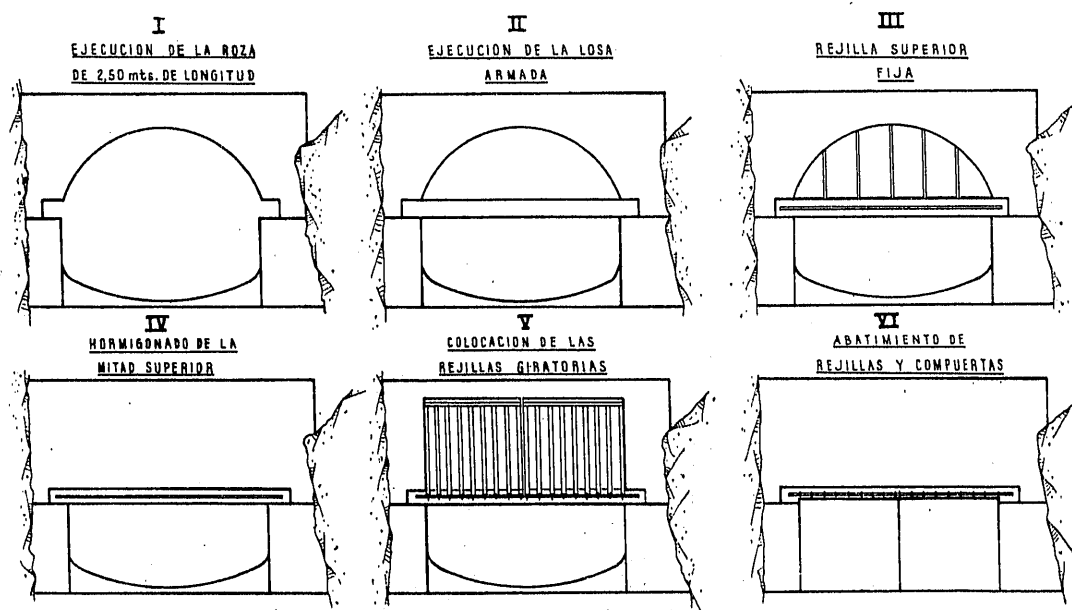


Fig. 4.^a — Esquema del conjunto de dispositivos y operaciones en la boca de aguas arriba

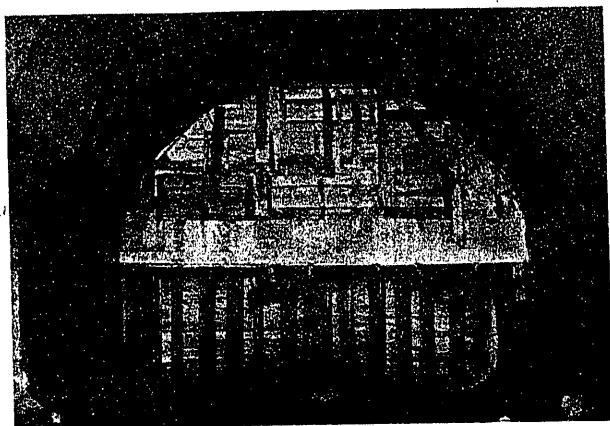


Fig. 5.ª — Vista de la compuerta desde el interior del túnel, ya agotado. Carga de 5 m. de agua. Filtración, 10 l./seg. Pueden apreciarse los dos puntos en que está localizada.

relativa comodidad las operaciones necesarias para montar las rejillas móviles y taponar la mitad superior, operaciones que se hicieron contra reloj, si bien la observación de los caudales demuestra que, con posterioridad, aún se hubiera dispuesto de muy amplias oportunidades.

Otra cuestión muy estudiada fué la referente a si la compuerta de cierre de la mitad inferior debía ser una o más de una. Un cuidadoso dragado y comprobación de que la boca del túnel estaba limpia de escombros, nos llevó a la conclusión de que el número de compuertas debía ser el menor posible. La mayor

facilidad de manejo impuso el número de dos, aunque hubiéramos deseado una sola.

El problema que se planteaba consistía en elegir entre las filtraciones que pudieran producirse entre la compuerta y el fondo, y las que encontrarían su camino por las juntas verticales entre las compuertas. Nos parecieron mucho más temibles y difíciles de combatir estas últimas, y la experiencia de un ulterior examen detallado de la compuerta en carga ha confirmado esa previsión (véase foto). Por el umbral no se produce ni la más mínima filtración; el apoyo de caucho sobre madera ha demostrado ser del todo suficiente.

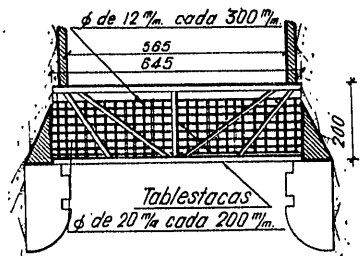
En la figura 6.ª se representa con todo detalle la rejilla proyectada y la compuerta de madera que se apoya sobre ella.

b) *Poso de acceso al túnel.* — Se estableció, no sin dificultades, otro piso armado que sirviera de plataforma de maniobra y apoyo, a altura de 2,70 m. sobre el fondo del túnel, es decir, muy poco más alto que el nivel de las aguas en el túnel.

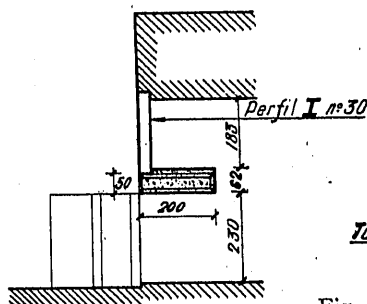
Aun cuando no pareciese probable, se previó el caso de que las filtraciones resultantes superasen la capacidad del equipo de agotamiento disponible, y se proyectó un dispositivo para hormigonar dentro del agua.

Consistía en un cajón de encofrado, que por la parte de aguas arriba era de madera y por la de aguas abajo estaba limitado por una delgada chapa de palastro, atravesado por seis tubos de desecho

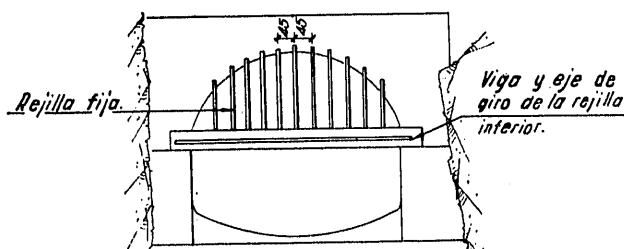
PLANTA
DETALLE DE LA ARMADURA DE LA VIGA



SECCION LONGITUDINAL



FRENTE



DETALLE DE LA VIGA

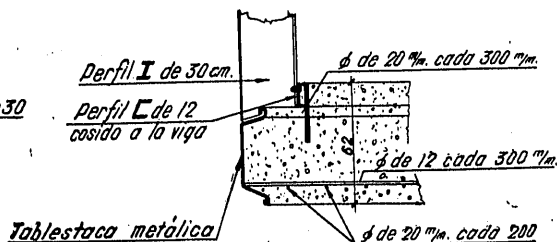
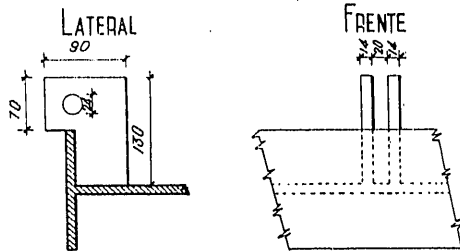


Fig. 6.ª, a. — Dispositivo para el cierre del túnel. (Cotas, en cm.).

de los de ventilación de túneles, con 30 cm de diámetro. Dividido en tres partes para su más fácil manejo, el encofrado tenía rigidez suficiente conseguida mediante un ligero entramado triangulado.

CHARNELA PARA EL GIRO DE LA COMPUERTA DE MADERA



CHARNELA PARA EL GIRO DE LA REJILLA

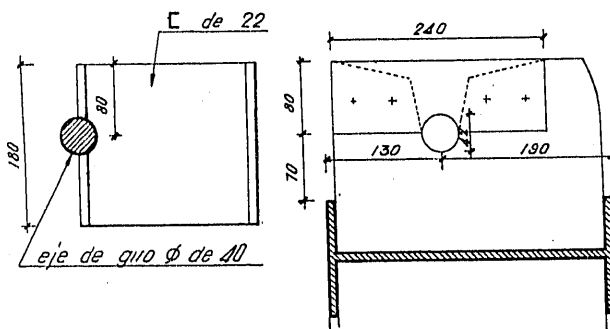


Fig. 6.^a, b.—Detalles de las rejillas. (Cotas en mm.).

Adosado a esta especie de compuerta fija de hormigón por su parte de aguas abajo, a la que la chapa de palastro proporcionaba suficiente adherencia, podía establecerse el tapón provisional de hormigón, a cuyo amparo podría hacerse ya en seguridad el macizado del túnel. Los tubos se cerraban aguas arriba mediante tapas giratorias sobre eje horizontal, provistas de juntas de caucho.

Este dispositivo no se llegó a utilizar porque pudo agotarse totalmente el túnel y construirse el tapón provisional con la misma comodidad que una obra completamente en seco.

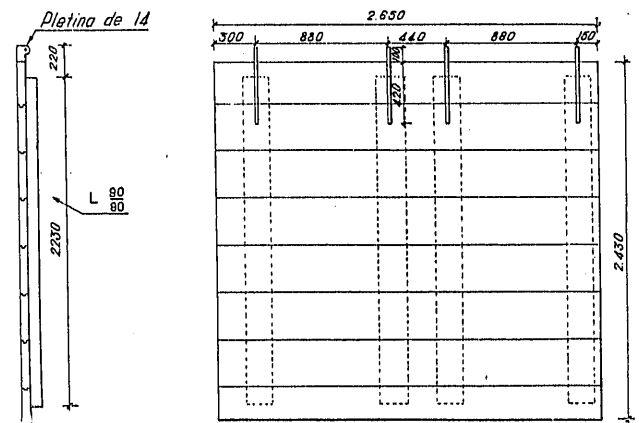


Fig. 6.^a, c.—Compuerta de madera apoyada en la rejilla. (Cotas, en cm.).

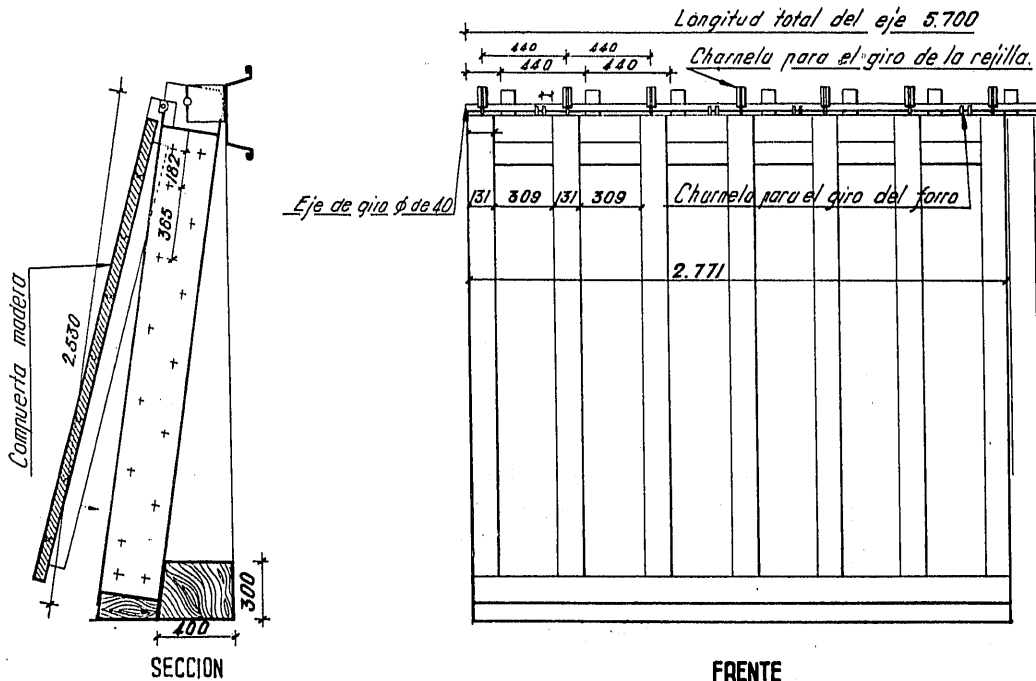


Fig. 6.^a, d.—Rejilla giratoria para el cierre inferior. (Cotas, en mm.).

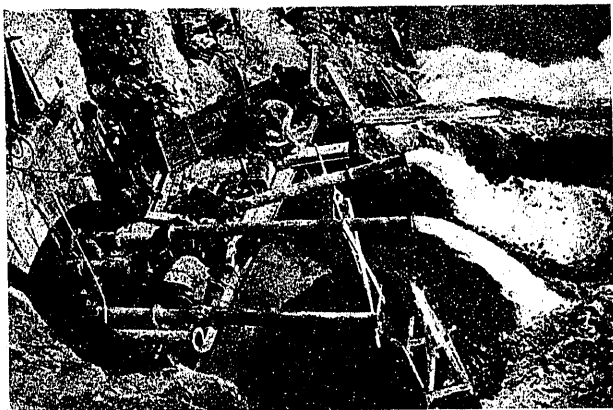


Fig. 7.ª — Agotamiento dispuesto aguas abajo. Tres bombas con capacidad total de 220 l./seg.

c) *Boca de salida.* — Con medios realmente elementales, aprovechando los apoyos que podía ofrecer el terreno, se estableció una plataforma de tablestacas — este elemento benemérito de universal utilización en las obras — para apoyo de los grupos motobombas e inicialmente como plataforma de la mano de obra para realizar el cierre con sacos de arcilla.

Posteriormente se amplió e impermeabilizó casi totalmente, dándole mayor anchura, como puede apreciarse en los gráficos y fotografías.

Por último, para conseguir una impermeabilidad y seguridad completas y ahorrar agotamientos, se ejecutó una contraataguía de fábrica.

La realización del cierre.

La ejecución de la viga horizontal, de 2,50 m. de canto, fué objeto, antes de comenzarse, de serios reparos, por el temor de que la profunda roza necesaria para alojarla y empotrarla pusiera en peligro la bóveda del túnel. Sin embargo, se realizó sin dificultad

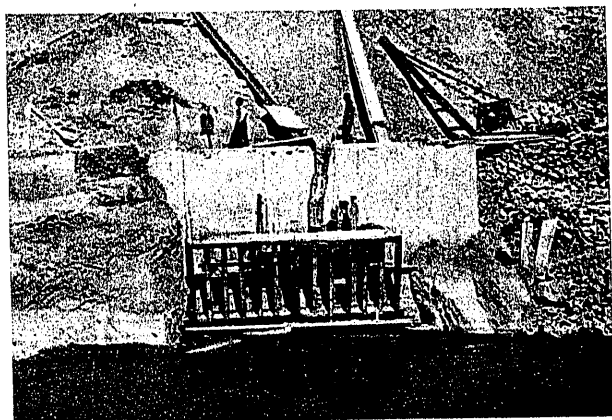


Fig. 8.ª — Las dos rejillas de apoyo en disposición de ser abatidas. Detrás se ha terminado de hormigonar la mitad superior del túnel. Se conserva el elemental dispositivo de hormigonado.

apreciable y sin riesgo. Más molesta resultó la que se ejecutó debajo del pozo y para apoyo del tapón provisional de hormigón, debido, sobre todo, a la baja temperatura y a la corriente de aire que atravesaba el túnel, así como a tener que trabajar colgado durante la primera fase. Todo ello quedó, sin embargo, compensado ante la gran seguridad y comodidad que proporcionó el disponer de tan valioso punto de apoyo.

Se había previsto el siguiente programa detallado, que se realizó casi con exactitud en lo esencial, principalmente en la boca de aguas arriba. Únicamente se demoró, por la imposibilidad material en

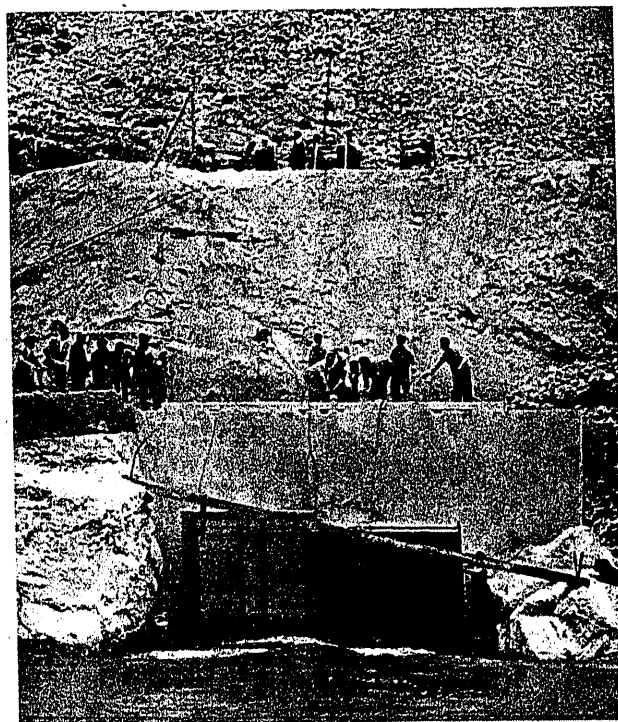


Fig. 9.ª — Una de las rejillas ha sido abatida. La otra y los dos tableros de compuerta se conservan levantados. Pueden verse los cabrestantes que sirvieron para la operación y la viga cruzada que sirvió para reenvíos.

que se encontró la contrata de atender a múltiples tajos independientes y complicados, el hormigonado del tapón definitivo, cosa sin importancia, ya que el provisional ofrecía garantía absoluta, como se ha demostrado con posterioridad, al resistir una carga que, por ahora, es de 36 m. de agua. Sin embargo, el considerable aumento de caudal aguas abajo determinó un día la entrada del agua por la ataguía de la boca inferior del túnel. Como es natural, la situación fué inmediatamente restablecida, pero una vez más quedó demostrada la veracidad de la observación de que tras un éxito completo viene, a menudo, un período de excesiva confianza que puede resultar peligroso.



Fig. 10. — Hormigonado del tapón provisional, bajo la protección de la compuerta.



Fig. 12. — Vista de la presa desde aguas abajo, en el momento de efectuar el cierre.

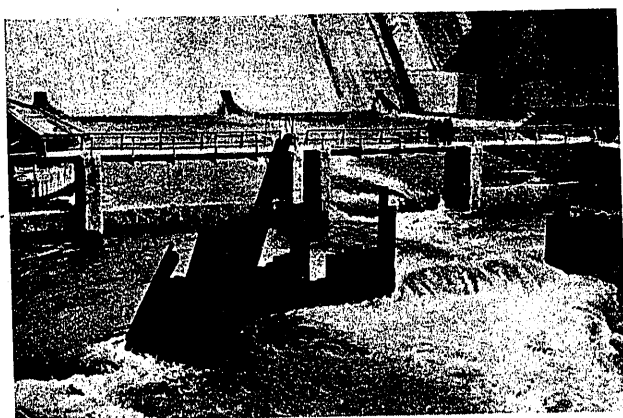


Fig. 11. — Los tres desagües de fondo desaguan unos 40 metros cúbicos por segundo. Vista de la ataguía de aguas abajo y tablestacas que sirvieron para su ejecución.



Fig. 13. — Los tres desagües de fondo vertiendo un caudal aproximado de 40 m.³/seg.

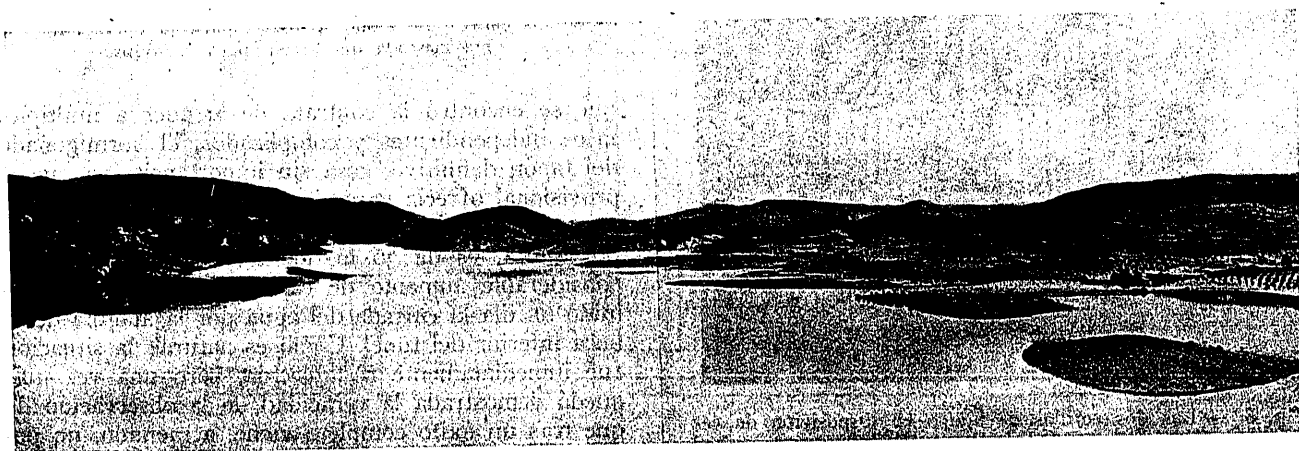


Fig. 14. — Vista general del embalse, con 100 millones de m.³.

PLAN PARA EL CIERRE DEL TUNEL DE DESVIACION

OPERACIONES	PERSONAL		EQUIPO Y MATERIALES	HORARIO	
	ENCARGADO	A LAS ORDENES DEL ENCARGADO		PARCIALES	AL ORIGEN
Aguas arriba.					
1. Descenso de la 1. ^a rejilla	José Cendón	2 capataces y 20 peones	2 cabrestantes y una polea de reenvío y 2 diferenciales	1/2	1/2
2. Comprobación de la situación de la 1. ^a rejilla	»	»	»	1/4	3/4
3. Levantar la 1. ^a rejilla	»	»	»	1/4	1
4. Descenso de la 2. ^a rejilla	»	»	4 cabrestantes y 2 poleas	1/4	1 1/4
5. Comprobación de la 2. ^a rejilla	»	»	»	1/4	1 1/2
6. Elevación de la 2. ^a rejilla	»	»	»	1/4	1 3/4
7. Ajuste de la separación entre rejillas cortando el eje (eventual)	»	El mismo personal y un soldador	El mismo material y un equipo de soldadura..	1/4	2
		Tiempo perdido		1	3
8. Solidarización de ambas rejillas con sus compuertas	»	2 capataces y 20 peones	4 cabrestantes y 2 poleas y trozos de cable y perillos	1/4	3 1/4
9. Descenso conjunto de las dos compuertas	»	»	»	1/2	3 3/4
		Tiempo perdido		1/2	4 1/4
10. Formación de la pantalla de arcilla	»	El mismo personal ...	4 pisones con mango de 8 metros	1 1/4	5 1/2
11. Formación del terraplén	»	5 capataces y 60 peones	14 vagonetas, palas y rastrillos. Iluminación para trabajar de noche	11	16 1/2
				12	28 1/2
Aguas abajo.					
1. Formación de la ataguía de sacos de arcilla (1)	Juan Molina	2 capataces y 20 peones	1.200 sacos de arcilla y 6 pisones de 3,50 m.	3/4	3/4
2. Colocación de los tubos de aspiración de las bombas	»	El mismo personal y 3 mecánicos	1 cabrestante y herramienta para el montaje	3	3 3/4
3. Formación de terraplén aguas abajo de la ataguía	»	2 capataces y 30 peones	10 vagonetas, palas y rastrillos. Iluminación para trabajar de noche	10	13 3/4
4. Relleno de arcilla entre el terraplén y la ataguía de sacos ..	»	2 capataces y 20 peones	El mismo material	2	15 3/4
5. Agotamiento del túnel de desviación	»	2 mecánicos	3 bombas para 220 litros por segundo	8	23 3/4

(1) Esta operación comenzará al terminar la operación núm. 9 de aguas arriba.

Los resultados obtenidos.

La caída de las compuertas cortó casi totalmente el paso de agua por el túnel. No puede determinarse qué caudal residual quedaría, pues el que pudo posteriormente apreciarse, de unos 10 litros/seg., cuando hubo acceso a la compuerta por su cara de aguas abajo correspondía ya al momento en que se había protegido la compuerta con un amplio terraplén, que sin duda contribuyó bastante a hacer desaparecer por completo las pequeñas filtraciones. Sólo quedaron dos vías de agua, y no muy grandes ciertamente, como puede verse en la fotografía de la compuerta en carga, vista desde el interior del túnel (fig. 5.^a). Las dos vías de agua están muy definidas: una de ellas aparece precisamente en la parte central, por la unión vertical entre las dos compuertas; la otra, que está a la derecha en la parte superior de la compuerta, corresponde sin duda a que debió de caerse alguna de las cuñas de madera con las que se complementó el cierre de apoyo horizontal de la rejilla contra la viga de hormigón.

A medida que pasaba el tiempo, y una vez construido el tapón provisional de hormigón, pudo observarse un aumento en las filtraciones a través de la compuerta, siempre de muy poca importancia, ya que podía ser muy fácilmente agotado con una sola bomba de pequeña potencia y 16 m. de altura de elevación, pero que demostraba que el agua debía abrirse camino cada vez más fácil a través del terraplén.

Construido el tapón provisional de hormigón, se observó que si bien daba ya una seguridad absoluta para poder trabajar a su amparo, su permeabilidad resultaba muy parecida a la de la compuerta. Esto no ofrecía inconveniente de importancia, ya que tan bajo caudal siempre podía ser agotado con una bomba ordinaria. No obstante, para llevar las cosas al límite, se inyectó el tapón, con el resultado de impermeabilizarlo casi de modo absoluto, ya que durante la construcción del tapón definitivo, las filtraciones totales del tapón provisional y de casi 100 m. lineales de túnel, bajo una carga de 22 m. de agua, apenas rebasaba los dos litros por segundo, en su casi totalidad filtrados por el revestimiento, que también probó ser de excelente ejecución.

Conclusiones.

Es indudable que la solución más cómoda para cerrar un túnel de desviación consiste en proveerlo desde el principio de una válvula. Pero esto no es siempre realizable, y menos en condiciones de escasez y carestía de los materiales metálicos. La comodidad de esta solución, siempre de coste elevadísimo, suele

reducirse mucho, anularse e incluso convertirse en positiva molestia, debida precisamente a ese mismo coste, si limita las dimensiones por debajo del desagüe ordinario que requiera la obra. Por otra parte, hay bastantes probabilidades de perder definitivamente la válvula, o de que los trabajos de recuperación resulten sumamente costosos. Por consiguiente, creemos es seguro que en España habrán de realizarse todavía muchos cierres análogos al que hemos descrito.

Para facilitar esta operación, siempre aventurada y difícil, y asegurar su buen éxito, incluso en circunstancias desfavorables, es del mayor interés que cuando se construya el túnel de desviación se tenga muy en cuenta que algún día habrá que cerrarlo y que para ello debe proporcionarse el máximo de facilidades.

La cota relativa de los desagües de fondo, o por lo menos del más bajo, respecto a la solera del túnel; la ejecución de accesos al mismo; la previsión de que, por lo menos temporalmente, puede estar sometido a presiones en la bóveda y solera; la inyección previa del hueco que inevitablemente queda entre la clave y la excavación; la ejecución de muescas que puedan eventualmente servir de base a elementos de trabajo, de apoyo o de cierre; la previsión de que deben algún día reducirse las luces, tanto en sentido vertical como horizontal, etc.; todas estas sencillas y baratas precauciones pueden ser de inestimable valor llegado el caso. El sistema que hemos utilizado ha probado su extraordinaria eficacia. El coste ha sido sumamente bajo, sobre todo si se tiene en cuenta que había que prever circunstancias extraordinarias que no se han presentado y que incluso las reales han sido bastante desfavorables. Ello hace que pueda tenerse en cuenta, al lado de otros procedimientos análogos, probablemente mejor adaptados para circunstancias diferentes.

La ejecución de todos los elementos, obras y operaciones, se realizó por gestión directa del personal de los Servicios Hidráulicos del Tajo.

La Sociedad contratista "Sanromán, S. A.", ofreció la colaboración de los eficaces talleres que tiene montados en Entrepeñas, así como los medios auxiliares y personal obrero necesarios. Todos trabajaron con entusiasmo, y los talleres especialmente ejecutaron las rejillas y compuertas con magnífica rapidez y perfección.

Antes de terminar, es de la más elemental justicia consignar aquí la labor inteligente, abnegada y ejemplar, que tanto en proyecto como en obra ha desarrollado una vez más el Ayudante de Obras Públicas encargado de la obra D. Juan Sanz Aguirre, a quien se debe la mayor parte del éxito conseguido.