

# VENTILACION DE UN ALIVIADERO EN POZO

Por ENRIQUE BECERRIL Y ANTON MIRALLES  
RAFAEL M.<sup>a</sup> SUITART Y DE GREGORIO  
Ingenieros de Caminos.

Sé refiere este artículo a los ensayos en modelo reducido realizados, en 1949, en el Laboratorio de la Escuela y en obra, con la colaboración del Ingeniero encargado de la misma, D. René Petit, sobre el aliviadero en pozo del pantano de Yesa, cuya finalidad primordial consistió en establecer, en forma adecuada, la ventilación de los túneles, de modo que quedara asegurada su capacidad de evacuación y alejado el riesgo de cavitación. Se compara la solución propuesta con las conclusiones de otros laboratorios.

El aliviadero proyectado para el Pantano de Yesa es de los que se designan de ordinario con el nombre de *aliviadero en pozo*; consta de cuatro elementos iguales, cada uno de los cuales está formado por un pozo vertical y un túnel de desagüe sensiblemente horizontal, siendo la capacidad individual de 750 m.<sup>3</sup> por segundo; por tanto, la total del aliviadero, de 3 000 m.<sup>3</sup>/seg. Los túneles (fig. 1.<sup>a</sup>) describen en planta una amplia curva, buscando el cauce del río, al cual vierten a través de un cuenca amortiguador de energía. La necesidad de esta curva, así como otras consideraciones referentes a la oblicuidad de los túneles respecto a las compuertas, aconsejaron proyectar los pozos verticales, con objeto de reducir en lo posible los efectos de circulación secundaria que se produciría de otro modo al intentar cambiar la dirección del agua, animada de una velocidad considerable.

El agua penetra en los pozos por un solo frente, a diferencia de los que en América se llaman "Morning glory spillways" que, presentando disposición similar, difieren por la forma de la embocadura, que es de revolución, semejante a la flor llamada en castellano campanilla, y "Morning glory" (gloria de la mañana) en inglés.

Tipo de estos aliviaderos es el de la presa de Owyhee, terminada en 1935, el cual, con distintas variaciones, ha sido repetido en muchas presas. Por ejemplo, en América puede considerarse similar el doble aliviadero de Boulder Canyon, diferente por la forma de embocadura, y ahora está en proyecto el de "Hungry Horse", cuyos ensayos en Denver, en la Oficina del Bureau Reclamation, hemos tenido ocasión de presenciar. En España pertenece a este tipo el de la presa del Generalísimo (Benageber), recientemente estudiado en el Laboratorio de Obras Hidráulicas de la Escuela de Caminos.

En Yesa, los túneles están previstos para funcionar como canal cubierto, por lo cual uno de los fines de la experimentación realizada por el Laboratorio de

Hidrodinámica de la Escuela de Caminos fué comprobar que no se pusiesen en carga, introduciendo las reformas precisas para lograrlo.

La experimentación se realizó, de abril a octubre de 1949, sobre dos modelos: uno, a escala 1:100, en el Laboratorio, y otro, a escala 1:20, que existía con anterioridad en el propio pantano, construido por el Ingeniero autor del proyecto y encargado de las obras, D. René Petit.

La elección de la escala en un modelo reducido debe realizarse de tal modo que asegure su funcionamiento en régimen de plena turbulencia. Esta condición exige en el modelo un valor suficientemente elevado del número de Reynolds:

$$R = \frac{v D}{\nu} = \frac{4 v m}{\nu};$$

donde  $v$  es la velocidad y  $m$  el espesor medio hidráulico en el punto más desfavorable (el que da menor valor para  $R$ ), que resulta para nuestros modelos, en la salida del túnel,

$$R_{20} = 1\,472\,000 \text{ y } R_{100} = 131\,200,$$

tomando para  $v$  y  $m$  los valores que figuran en el proyecto, comprobados luego en los modelos.

Por tanto, la semejanza queda asegurada en ambos modelos y se decidió la construcción del de escala 1:100, a pesar de existir el otro, por ser más fácilmente reformable y además por permitir su ubicación en el Laboratorio una experimentación más fina. Así, los ensayos se realizaron en varias etapas, empezando todas en el modelo 1:100, en el cual se efectuaron diversos tanteos hasta ajustar cada uno de los elementos ensayados, pasando luego estas reformas al modelo 1:20, en el cual se comprobaban nuevamente. La correlación entre ambos modelos fué totalmente satisfactoria.

\* \* \*

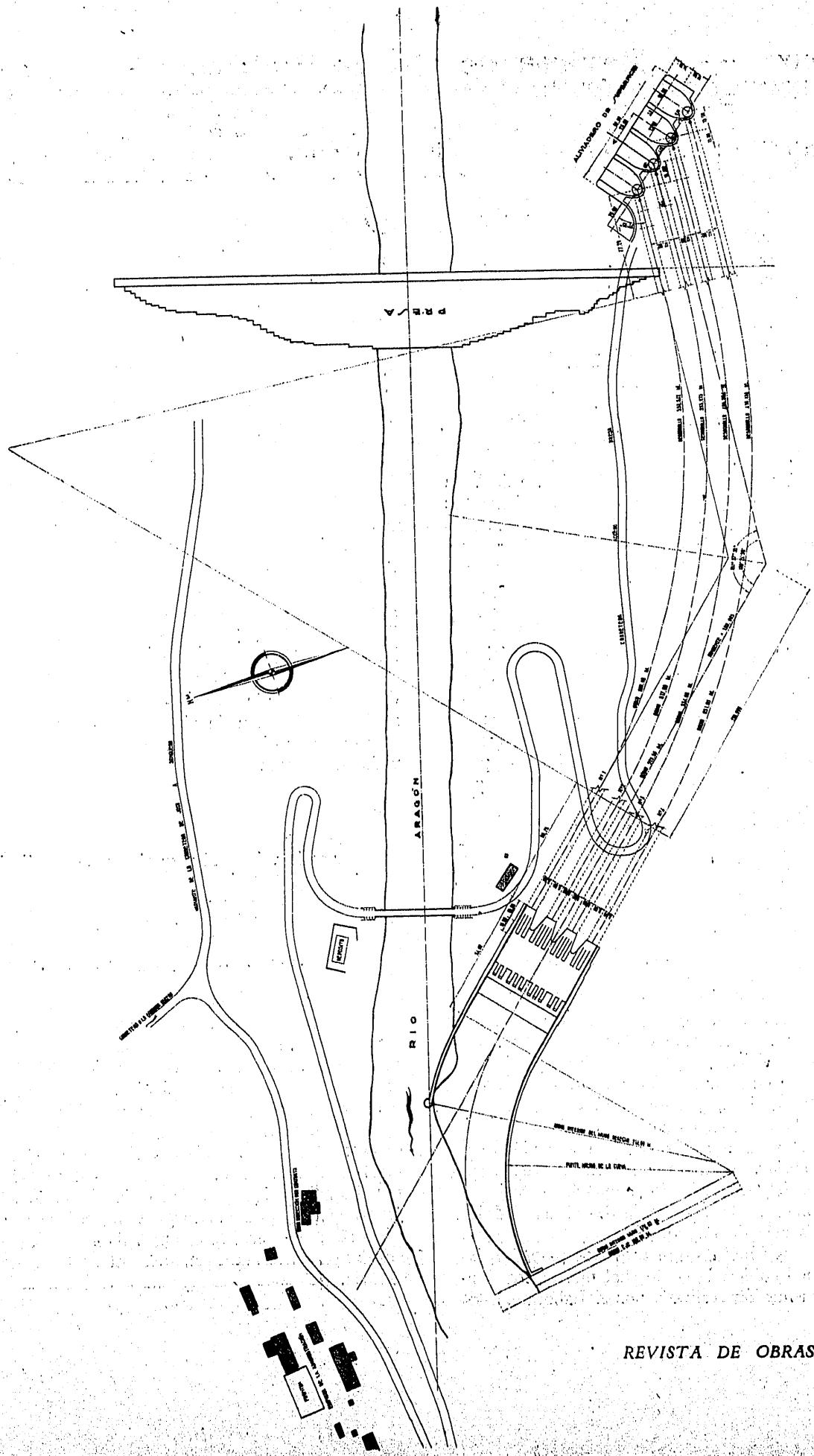


Fig. 1.<sup>a</sup>—Disposición general de la presa y aliviaderos

Los más importantes y típicos problemas que presentan esta clase de aliviaderos en pozo son los relacionados con el régimen de presiones sobre las paredes, presiones que son mucho más peligrosas cuando tienen signo negativo y pueden, por tanto, originar cavitaciones. En el estudio del aliviadero de Yesa, hemos

consecuencia de la anulación de energía cinética en la capa límite, en contacto con la pared. La circulación secundaria que así se superpone a la principal va de intradós a extradós, por la periferia, y en sentido contrario, en el plano de simetría. Estos fenómenos se superponen a los característicos del régimen irrotacional.

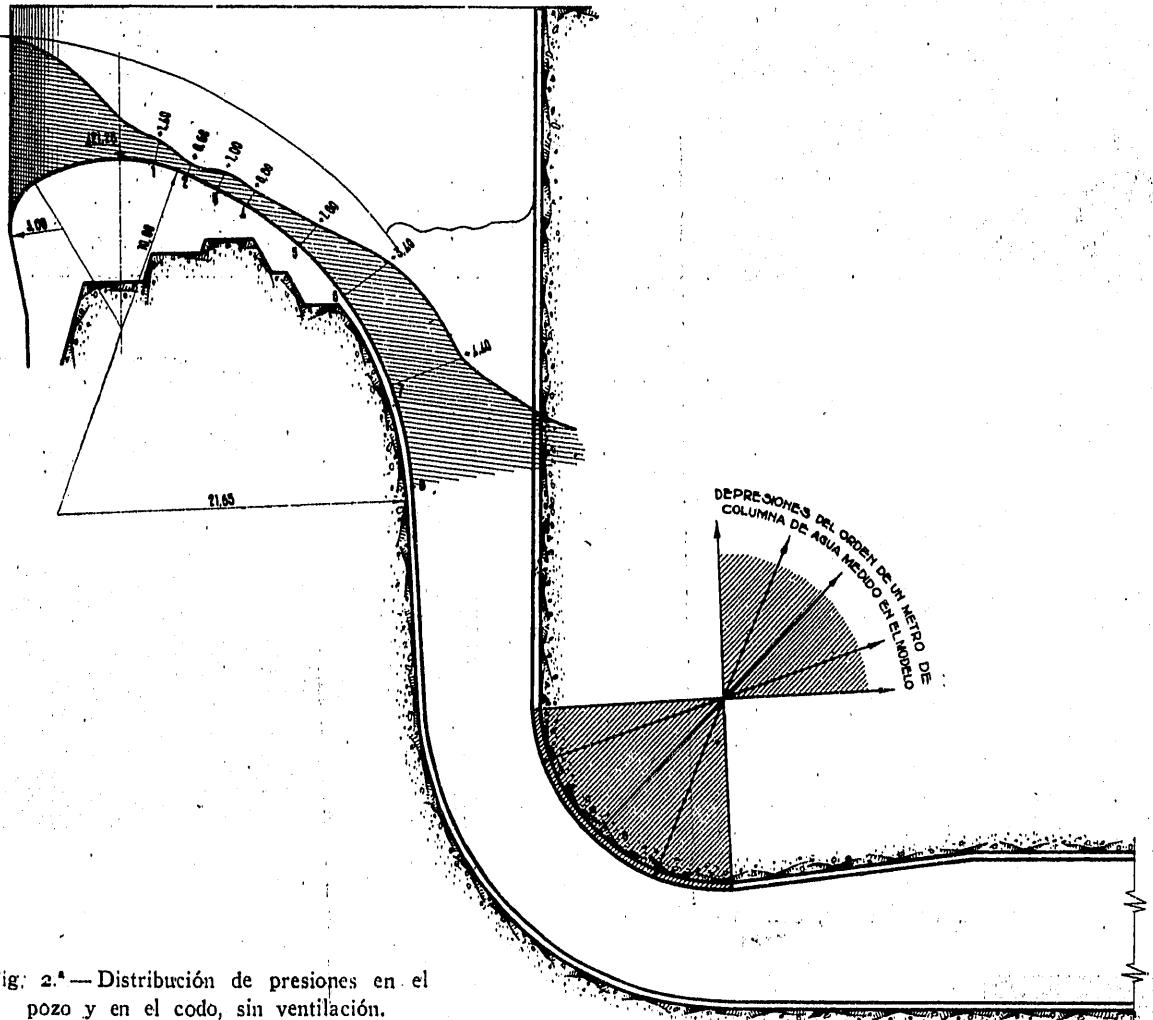


Fig. 2.<sup>a</sup>—Distribución de presiones en el pozo y en el codo, sin ventilación.

concedido importancia especial a este punto, alarmados por las consecuencias que pudieran derivarse de la situación a que aludimos. Y esta preocupación está justificada, además, por las incidencias ocurridas en el aliviadero de la margen izquierda de Boulder (lado Arizona), donde se produjo la destrucción del revestimiento y la formación de una enorme sima, a la salida del codo de enlace entre el pozo (inclinado en este caso) y el túnel horizontal.

Veamos cómo se plantea la cuestión: En los codos de una tubería se producen fenómenos derivados de la disimetría que se introduce. La circulación se realiza, no en la forma circular que corresponde al régimen irrotacional, sino en dos hélices contiguas, como

cional, por virtud de los cuales la circulación en el codo da lugar a una sobrepresión en el lado exterior y una depresión en el interior. El valor calculado para estas sobrepresiones y depresiones, en nuestro caso, es del orden de 20 m. de columna de agua, como pudo comprobarse en el modelo.

Hay, pues, motivos fundados para señalar grave riesgo de cavitación en la parte interna del codo.

Para este efecto se dispusieron sobre el modelo tomas manométricas en dos zonas del pozo (fig. 2.<sup>a</sup>): 8 tubos en el paramento del vertedero y otros 4 en la bóveda del codo de enlace del pozo con el túnel.

Los primeros acusaron siempre presiones positivas para cualquier caudal, demostrando que no existe pe-

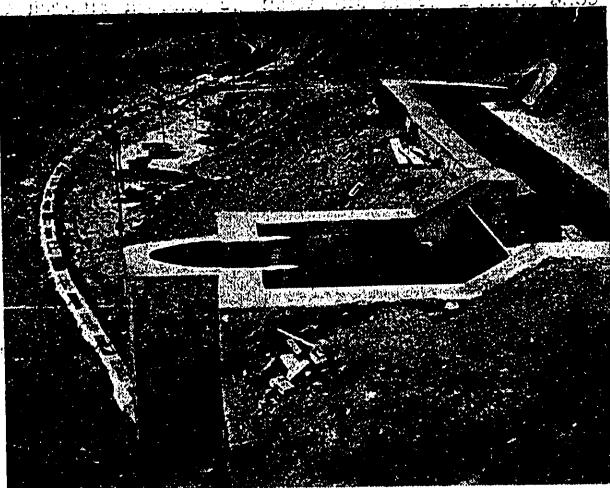


Figura 3.<sup>a</sup>

ligro alguno en esta zona, por lo cual no hubo de insistirse en posteriores ensayos. En cambio, la zona interna del codo acusa unas depresiones alarmantes, que para el caudal máximo alcanzan 1,00 m. en el modelo a escala 1:20, valor análogo al calculado y que no tiene equivalencia en la realidad, pues indica una depresión de una atmósfera por bajo del vacío absoluto. La cavitación y destrucción rápida del hormigón de esta zona serían inevitables. Es necesario, por tanto, suprimir estas depresiones; para ello hay tres formas de lograrlo:

a) Modificar el trazado.

b) Superponer una presión positiva, superior a la depresión que se quiere evitar.

c) Ventilar suficientemente la zona peligrosa, mediante entradas de aire.

En nuestro caso, las dos primeras soluciones no son adecuadas ni parecen fáciles, resultando más sencillo producir una ventilación, con lo cual se evitan,



Figura 4.

a la vez, la cavitación y la puesta en carga del túnel.

El principal motivo para ésta elección radica, a nuestro entender, de una parte, en la necesidad de que el aliviadero trabaje con una fuerte velocidad, a fin de disminuir en lo posible, por fricción, la energía cinética del caudal. Si la boca de salida se estrechara, para forzar la presión a lo largo del túnel, la velocidad de éste habría de ser reducida y, por tanto, mayor y más costosa la sección y mayor la velocidad final.

Por otra parte, a menos de que el túnel fuera ejecutado en contrapendiente, con la boca de salida más alta que su clave, se produciría, forzosamente, un funcionamiento diferente con pequeños o con grandes caudales. En el primer caso, el túnel actuaría como canal; en el segundo, como túnel a presión. Hemos tenido nueva ocasión de observar, en los ensayos de Yesa, el fenómeno de transición de uno a otro régimen

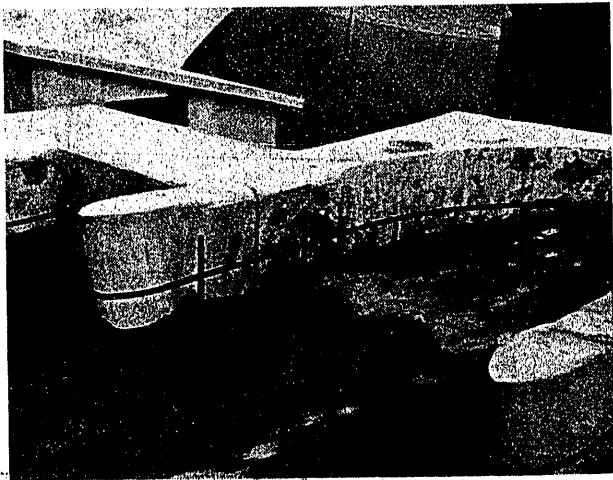


Figura 5.<sup>a</sup>

y de estimar el peligro que puede representar, por los complicados procesos de evacuación del aire residual y las explosiones que producen las burbujas al ser arrastradas, con repetición innumerable de terribles golpes de ariete. En el modelo 1/20 del aliviadero (fig. 3.<sup>a</sup>), existente en el propio pantano, pudimos, provocando un fenómeno de ésta especie, determinar la explosión de los cristales que cubrían la bóveda del túnel.

Planteado así el problema, en una segunda serie de ensayos se instaló, a la entrada del codo, un tubo de ventilación, conservando las tomas manométricas, con objeto de observar los resultados obtenidos mediante la entrada de aire. En efecto, se acusa una sensible reducción de las depresiones, que, no obstante, no desaparecen totalmente; además se observa la producción de un nuevo fenómeno: la entrada de aire da lugar a la formación de una bolsada de este fluido a partir del tubo de ventilación, la cual reduce

considerablemente la sección del codo, disminuyendo la capacidad de desagüe del pozo; esto ocasiona un aumento de la altura de agua en él (figs. 4.<sup>a</sup> y 5.<sup>a</sup>), de tal forma que el aumento de carga hace crecer la velocidad para compensar la pérdida de sección. La mayor velocidad ocasiona el arrastre de una parte del

duzca bolsadas de aire. La solución es, evidentemente, crear sobre el codo una cámara en comunicación con la atmósfera, de tal modo, que el agua, al llegar al final del pozo, tenga su superficie totalmente libre, sin que la zona de aducción del aire interfiera con la porción de sección ocupada por el agua en movimiento,

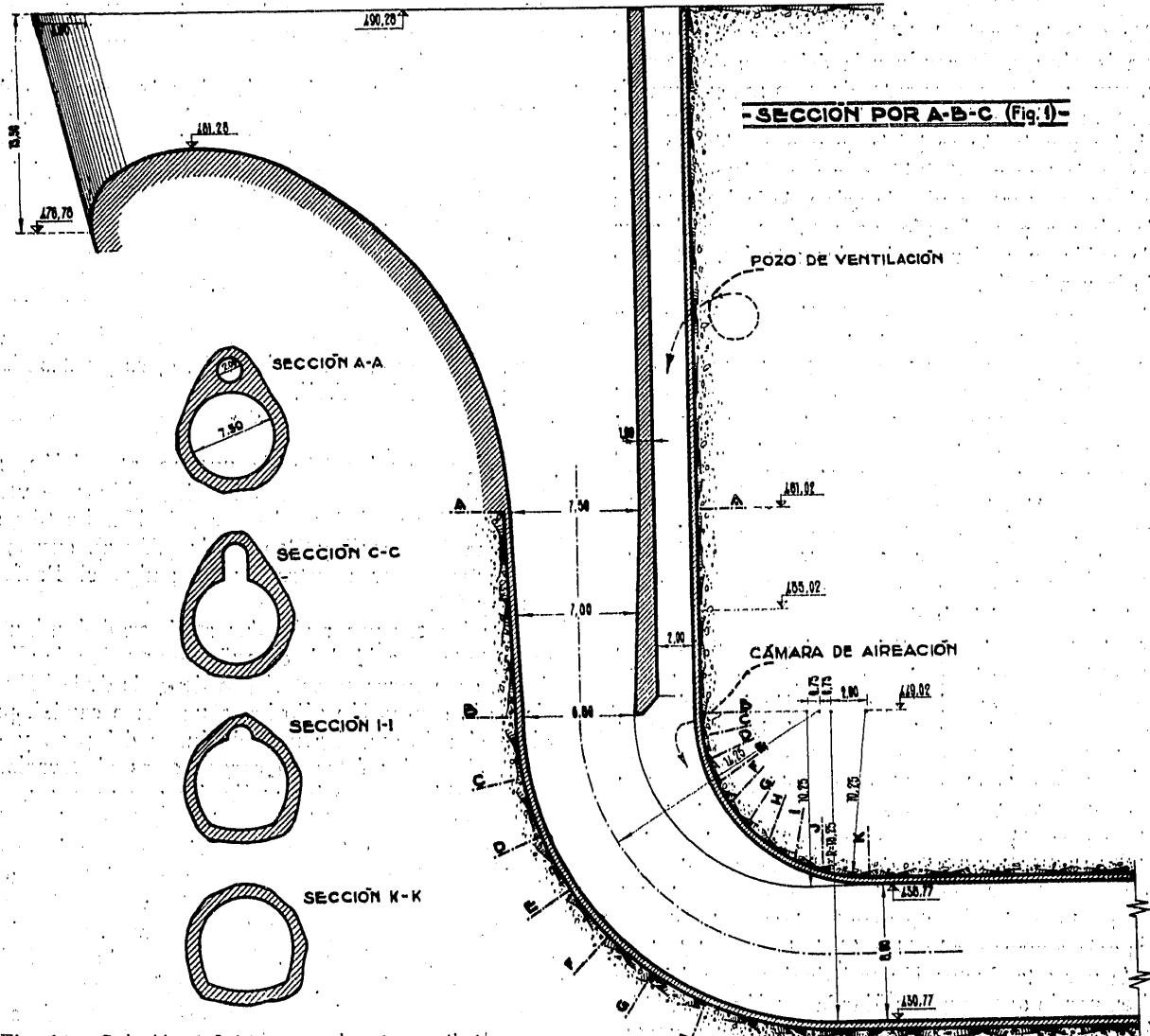


Fig. 6.<sup>a</sup> — Solución definitiva con el codo ventilado,  
a través de una cámara.

aire de la bolsada, con lo que aumenta la sección útil y se reduce de nuevo la velocidad, descendiendo de nuevo el nivel en el pozo; continúa entrando aire por el tubo de ventilación, aumentando de nuevo la bolsada y repitiéndose periódicamente el fenómeno.

Este proceso pulsatorio, con variaciones de la presión, continúa siendo peligroso para la conservación del hormigón del codo, por lo cual aparece la necesidad de crear un dispositivo de ventilación que no pro-

y cubriendo el conjunto con una bóveda más alta que contenga el terreno, a la cual deberá darse forma adecuada; pudo comprobársese que, prácticamente, esta solución equivale a establecer el contacto directo con la atmósfera, como si se suprimiera la bóveda de intradós del codo, lo que permitió simplificar la experimentación. Es evidente, por tanto, que han desaparecido totalmente las depresiones, sin reducir la capacidad de desague.

Sentada esta observación, se dibujaron varias soluciones, que no son sino distintas formas de cubrir la zona del codo, a efectos mecánicos de resistencia al empuje del terreno. En todas ellas se conserva el umbral, paramento y pozo ligeramente troncocónico del proyecto; a partir de la base inferior de éste, que es la menor, se inicia el codo, cuya sección es variable y tal, que su transformación sucesiva termina en la sección normal del túnel (fig. 6.<sup>a</sup>).

En toda la longitud del codo, y por su clave, se forma la cámara de confluencia del pozo de ventilación, cuyo ancho es constante, de 2,00 m., y cuya altura se va reduciendo progresivamente al iniciarse el túnel. La ventilación se inicia en una sección de despegue perfectamente definida por una arista metálica. Asimismo se conserva viva la arista de la intersección de la cámara con el codo, para evitar que el agua pueda subir en rociadas sobre las paredes, interceptando la ventilación.

Al llevar al modelo esta solución, se observa un hecho muy curioso: cerrando la entrada de aire, el funcionamiento del modelo continúa siendo correcto y el codo sigue perfectamente ventilado mediante el aire que, en sentido ascendente a lo largo del túnel (todo él con superficie libre), penetra hasta el codo a través de la cámara de ventilación. Sin embargo, la posible supresión del pozo de ventilación no es aconsejable, ya que éste permite, con un costo reducido, asegurarla, aun en caso de formación de ondas o de que, por cualquier causa, aumentase el calado de la zona de descarga del túnel.

El túnel, como hemos dicho, está proyectado como canal cubierto, por lo cual es necesario que no pueda ponerse en carga en ningún punto. En los primeros ensayos se observó que las características del túnel determinaban, efectivamente, su funcionamiento en régimen de canal; ahora bien: es evidente que si el pozo y el codo funcionan en carga y el túnel no, habrá una sección en la que se produzca el cambio de régimen; si no existe ninguna circunstancia que fije esta sección, el cambio de régimen se producirá de un modo oscilante, fluctuando dentro de ciertos límites más o menos reducidos. Toda la zona del túnel afectada por esta fluctuación, trabajará en condiciones difíciles, por lo que conviene fijar la sección de cambio de régimen, la cual habrá que tratar constructivamente, de un modo adecuado al trabajo a que se destina.

Desde el momento en que en una sección producimos una entrada de aire; si ésta es suficiente, toda la corriente aguas abajo de este punto trabajará como canal, con lo que habremos conseguido fijar la sección de cambio de régimen. Los ensayos en los modelos han confirmado el buen funcionamiento del túnel en régimen de canal, produciéndose el cambio de régimen en la sección impuesta, a la entrada de la cámara de ventilación, sección para la cual recomendamos un blindaje metálico, fuertemente anclado.

Queda con esto de manifiesto nuestra preocupación fundamental y la forma en que, como resultado de los ensayos, creemos haberla resuelto: *Evitar toda situación de incertidumbre o fluctuación en el régimen hidráulico.*

Porque son las fluctuaciones de velocidad las que siempre originan las fluctuaciones de presión, que unas veces producen efectos de impacto temibles, como explosiones, y otras pueden hacer intervenir el juego casi microscópico del mecanismo de la cavitación, más grave todavía.

Es frecuente que los aliviaderos en pozo, establecidos sin precauciones especiales, hayan de pasar, para ciertos caudales críticos, del funcionamiento en canal al régimen en presión, y que este cambio de régimen haya de realizarse en sección que progresivamente va desplazándose al variar el caudal; no queremos ocultar nuestra preferencia por la solución preconizada para Yesa, con evitación de aquella incertidumbre, y nos atrevemos a evocar, en este punto, la visión lógica de D. Eugenio Ribera, maestro de Ingenieros, el preconizar, siempre, la necesidad del claro planteamiento del problema ingenieril.

\* \* \*

Como complemento de nuestra exposición, nos parece interesante comentar los dispositivos de ventilación de los aliviaderos en pozo, de Hamitz (Argel), Pracana (Portugal) y Ben Métir (Túnez), ensayados en Lausana por nuestro ilustre amigo el Profesor Stucky (1).

En los ensayos realizados se determinó minuciosamente la capacidad de desague de este tipo de aliviaderos, cuya curva característica depende de la influencia de la coronación sólo hasta un cierto caudal, próximo al máximo, dependiendo luego del pozo y del codo, al quedar éstos en carga; estas observaciones son coincidentes con las realizadas por nosotros.

Se prefiere en dicho trabajo ventilar a la salida del codo, con lo cual se asegura el funcionamiento del túnel en régimen de canal, pero en cambio no se protege el codo contra la cavitación. La ventilación en la entrada del codo, que también se ensaya, se abandona por las perturbaciones que introduce en la circulación en el codo, análogas a las observadas por nosotros, y que consisten en la formación de bolsadas de aire, como hemos descrito.

\* \* \*

No queremos terminar estas notas sin expresar desde aquí nuestro agradecimiento a todo el personal técnico del pantano, y muy especialmente a nuestro querido compañero D. René Petit, cuyas atenciones y valiosa colaboración permitieron llevar a feliz término la experimentación.

(1) André Gardel: "Les évacuateurs de crues en déversoirs circulaires"; *Bulletin Technique de la Suisse Romande*, de 31 de diciembre de 1949.