

Cierres de las tomas de agua, de los desagües de los pantanos y de las tuberías de presión

I

Solución de compuertas

El procedimiento corrientemente empleado para el cierre de los conductos de toma o desagüe de las presas es el de compuertas metálicas, en que se obtiene la impermeabilidad por la aplicación de una guarnición de bronce fija a la hoja o parte móvil sobre otra guarnición análoga sujeta al marco de la compuerta.

Mientras esta disposición se ha usado en el cierre de vanos por los que se evacuaba del embalse un caudal moderado con cargas de agua relativamente escasas, inferiores a 20 m, ha dado resultado satisfactorio. Para aliviar el esfuerzo necesario a la elevación de dichos cierres, en las compuertas de algunas presas se disponía, además de la guarnición citada para la impermeabilidad, la sustitución del deslizamiento de las dos guarniciones por la rodadura. A este efecto, la aplicación de éstas era en forma de cuña, y una vez vencida la resistencia necesaria para hacer recorrer a las compuertas un corto espacio, quedaban apoyadas sobre un camino de rodadura, fijo a las ranuras y paralelo al movimiento de apertura de las compuertas, por intermedio de una disposición de rodillos, que unas veces, como en las compuertas instaladas en la presa de Roosevelt, eran trenes de rodillos Stoney, que recorren, como se sabe, la mitad del camino que las compuertas; y otras veces eran rodillos unidos a las hojas de las compuertas, recorriendo el mismo camino que éstas.

Al construirse, en época reciente, presas de altura considerable, que se acerca, en algunas, a 100 metros, y en tres de las últimamente construídas rebasa ligeramente esta cifra, y embalsarse volúmenes de agua de muchos centenares de millones de metros cúbicos; al ser necesario servir, en las temporadas de riego, caudales consiguientemente mayores que los que se pedían a los pantanos de menor altura de presa, había que pensar en aumentar la sección de las tomas, o en multiplicar su número o en aumentar la carga máxima de agua a que se habría de realizar la apertura de las compuertas, o en soluciones en que estas circunstancias se tenían en cuenta a la vez.

Y al admitir agua atravesando las compuertas a cargas mayores de 20 m, los resultados han sido desastrosos, especialmente cuando la apertura y cierre, en vez de practicarse por completo, dejando las hojas de aquéllas en el límite de su recorrido, quedaban en posición intermedia, como forzosamente tenía que suceder al regularse el caudal con ellas por no ser necesario todo el que evacuaban a plena apertura. En algunos casos los daños eran de tal índole, que las compuertas quedaban completamente inutilizadas y las galerías o conductos aguas abajo de aquéllas muy gravemente dañados.

Compuertas del pantano de Roosevelt

Las compuertas de la galería Sur de la presa de Roosevelt (fig. 1.^a) eran seis, cada una cerrando un vano de $3 \times 1,50$ m y colocadas en dos filas de a tres,

quedando separadas estas filas 3,25 metros. Las compuertas de aguas arriba eran de reserva o seguridad, y las de aguas abajo de regulación o de servicio. La cara de aguas arriba de cada compuerta podía ponerse en comunicación con la de aguas abajo por medio de una tubería en la que quedaba interpuesta una llave (by-pass). De este modo se podía equilibrar la presión hidráulica a que quedaba sometida la compuerta en ambas caras y se disminuía el esfuerzo necesario para elevarla. Para esto último, en una cámara inmediatamente por encima de las compuertas, las barras de éstas penetraban en un cilindro en el que ajustaba un émbolo calado a la extremidad de las barras, y la presión hidráulica, ejerciéndose en una cara u otra del émbolo, determinaba el movimiento de apertura o de cierre.

Estas compuertas quedaron instaladas y se pusieron en servicio en 1908; y después de algunos meses de funcionamiento, en que la carga de agua alcanzó sólo la altura máxima de 27 metros sobre el centro de ellas, se vió en mayo de 1909 que los trenes de rodillos o habían sido completamente arrastrados o rotos y arrastrados parcialmente. Las guarniciones estaban rotas o aflojadas, así como sueltos también o aflojados la mayor parte de los tornillos que aseguraban la unión de la barra a la compuerta y las partes de ésta o del marco. El piso de la galería tenía muy graves erosiones, presentando cavidades hasta de 1,20 a 1,80 m de profundidad. Del techo se había desprendido un trozo de hormigón de unos 3 m de diámetro.

En el año 1909 se repararon las compuertas y la galería. En ésta se emplearon más de 200 metros cúbicos de hormigón. Además, se revistió por completo con planchas de acero de 15 mm y 18 mm de espesor, uniéndose éstas con roblones embutidos y pasadores de 28 mm, quedando las planchas ancladas al hormigón por medio de pasadores especialmente dispuestos para que las tuercas quedaran al ras de la superficie. Se prescindió de los trenes de rodillos en las compuertas de regulación. En las de seguridad no pudo hacerse modificación alguna, porque esto hubiera exigido vaciar el embalse, y no se quiso apelar a este extremo remedio.

Puesto en servicio nuevamente el túnel Sur en 1909, y no bastando las demás tomas de la citada presa para el suministro del agua necesaria al riego, se tuvieron que abrir las compuertas citadas con cargas hasta de 36 m de agua. Así se continuó hasta el año 1914, en cuya primavera se procedió a reparar las compuertas y galería, encontrándose con que el revestimiento de acero de ésta tenía gravísimos desperfectos, habiendo la corriente arrancado algunos trozos situados inmediatamente aguas abajo de las compuertas, doblándolos y dejando al descubierto el hormigón inferior, que presentaba oquedades hasta de 0,60 m de profundidad. Todo el revestimiento de acero inmediato a las compuertas, que no había sufrido tan graves daños, resultaba corroído; este desgaste no tenía el carácter de erosión causada por el paso del agua cargada de caudal sólido, sino el de una acción química que determinaba la oxidación del

metal, que presentaba en unas partes la superficie con picaduras, y en otras dicha oxidación llegaba a ser tan profunda que alcanzaba el espesor completo de la plancha, que, destruída así en parte, era arras-trada en trozos. Muchas de las cabezas de los roblo-nes habían saltado y los restantes estaban tan dañados que su fortaleza era precaria. No pudo determinarse el estado de las compuertas de seguridad; pero por

metro 1,20 m, y al final de ellas, junto a la salida, se colocó, en cada una, una válvula del tipo que indica-remos más adelante.

Causas de los desperfectos

Basta lo arriba indicado, que sin tanta gravedad se ha repetido en otras presas de los Estados Unidos,

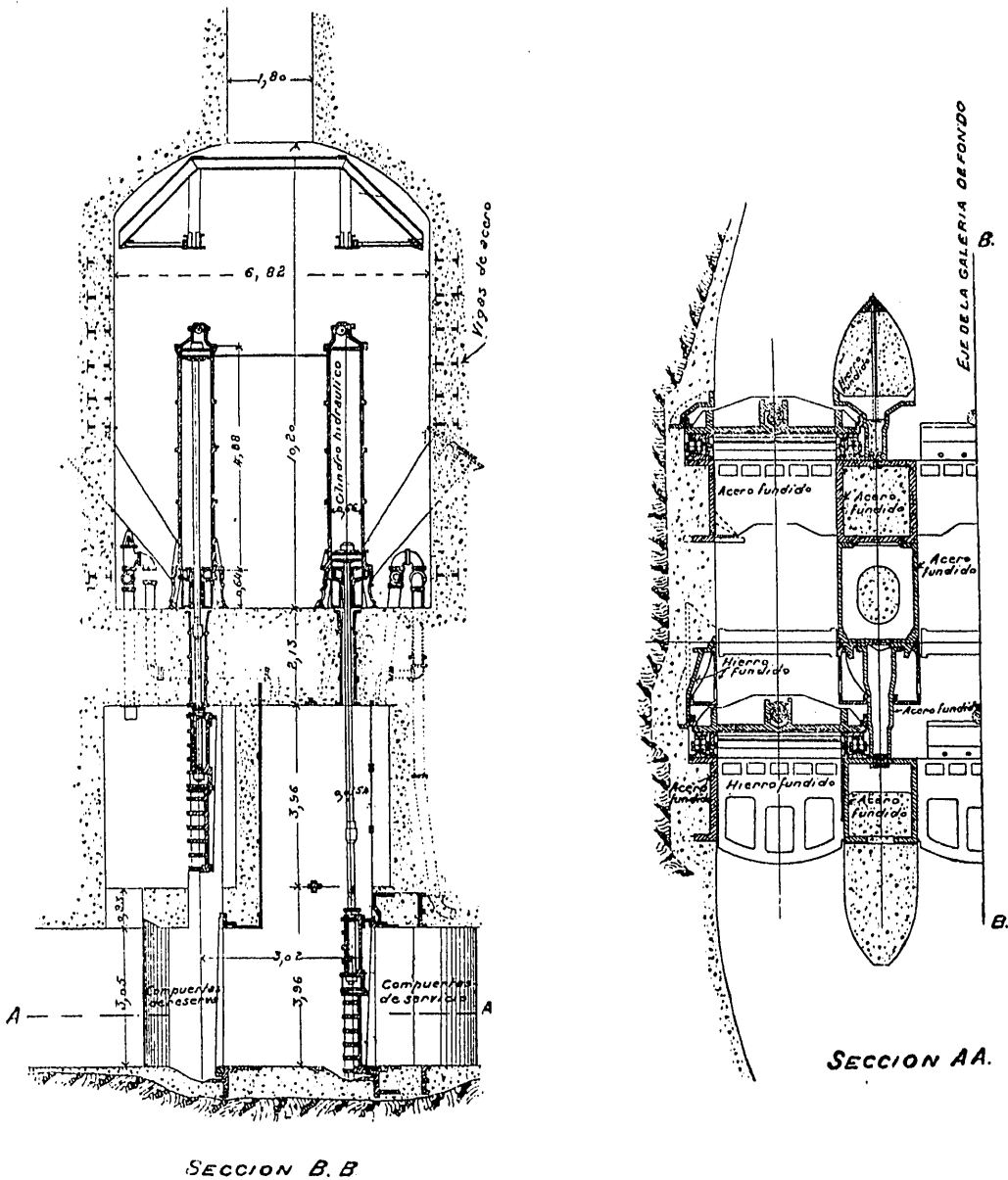


Fig. 1.^a Compuertas de la presa del pantano de Roosevelt

el que presentaban las de regulación, podía tenerse la certeza de que los trenes de rodillos habían sido arras-trados; y se temió que al quedar sin proteger el hor-migón, entre ambas compuertas, las filtraciones irían en aumento y la estabilidad de los marcos de las compuertas quedaría seriamente amenazada.

Ante tal desastre, se decidió en 1915 abandonar las compuertas citadas; aguas abajo de ellas se taponó la galería en una longitud de unos 15 m; a través de este tapón se instalaron dos tuberías de 1,35 m de diá-metro, que se cerraron con compuertas de desliza-miento de 0,75 x 0,95, movidas por cilindros hi-dráulicos; aguas abajo de estas compuertas, las tu-berías continuaban a lo largo de la galería con diá-

para fijarnos en la importancia suma de las causas que pueden producir tan grandes daños.

Desperfectos de origen mecánico

Unos de éstos son de origen mecánico, por efecto del choque del chorro y de los remolinos que éste forma, con las paredes. Otros son debidos a la acción química que determina la corrosión del acero, de la fundición y de otros metales. La fundición es la más atacada; le sigue el acero; el bronce es más resistente a esta acción.

Aunque la causa primera es compleja y difícil de

fijar, se forma concepto de su importancia por las siguientes consideraciones.

Desde luego, se ha observado que los desperfectos mayores se originan al quedar la compuerta parcialmente abierta; y aunque sólo se emplee ésta para que adquiera una posición extrema, o completamente abierta o cerrada, es un hecho que mientras dure la apertura, queda sujeta a las mismas causas que determinan los desperfectos citados.

En la posición intermedia de la compuerta, al quedar estrangulado el chorro y formarse un brusco ensanchamiento aguas abajo del vano libre, se determina una importantísima depresión en aquél, tanto mayor cuanto mayor va siendo el chorro y menor el espacio libre para la afluencia del aire del exterior a lo largo de la parte superior de la galería. Cuando el agua va cerrando ésta, el vacío que en un instante se forma junto a las compuertas, es roto por la llegada brusca del aire exterior, venciendo la resistencia que el agua le opone; y esto, repetido constantemente, ocasiona ruidos enormes, explosiones, choques violentos, desperfectos, erosiones y arrastres.

Si suponemos dos moléculas líquidas situadas al mismo nivel, una en el vano de la compuerta, otra al final de la galería, en el desembocadura de ésta a la atmósfera; si la compuerta está parcialmente abierta y deja un área de paso mitad que la de la galería, y si la velocidad de paso del agua por la compuerta (formándose vacío completo inmediatamente aguas abajo de ella) es de 30 m por segundo, lo que representa una altura de agua de 46 m; siendo cero la altura debida a la presión, por suponer vacío absoluto junto a la compuerta, la suma de las dos alturas, de velocidad y de presión, será 46 m. En cambio, en la segunda molécula, que tendría una velocidad mitad, por ser doble el área de paso, o sea 15 m, la altura debida a esta velocidad ($h = \frac{v^2}{2g}$) será de 11,40 m; y como junto a aquélla reina la presión atmosférica, cuya altura de agua equivalente es de 10 m, la suma de las dos alturas indicadas, en la segunda molécula será de $11,40 + 10 = 21,40$ m. Debiendo ser constante, según el teorema de Bernoulli, en régimen normal, esta suma, resulta entre las dos cifras una diferencia de altura de $46 - 21,40 = 24,6$ m, que ha de gastarse en choques que son la causa de los desperfectos mecánicos.

Desperfectos de origen químico

Las corrosiones, de indudable origen químico, son debidas a que, al llegar el agua junto a las zonas en que por el ensanchamiento brusco se produce una depresión, se desprende el aire que lleva disuelto; pero primeramente le ocurre esto al oxígeno, que se combina rápidamente con el metal, formando una ligera capa de óxido, que es arrastrada por el agua, dejando la superficie libre y más adecuada a nuevos ataques. Estas corrosiones tienen su asiento predilecto inmediatamente aguas abajo de cualquier desigualdad de la superficie, como solapes, cabezas de roblones o pasadores, etc.

Corrosiones de la misma índole se presentan en los rodetes de las turbinas cuando, por defecto de cálculo o por no trabajar con la carga debida, quedan zonas en que el agua no se aplica sobre el hierro, produciéndose allí una depresión y siendo natural-

mente mayor ésta cuando la altura del tubo de aspiración se acerca al límite admisible.

Los inconvenientes citados se agravan en las llaves compuertas de sección circular por la forma de media luna que dejan al vano estrangulado y las peores condiciones de resistencia en que queda el disco obturador, en la posición intermedia.

Aducción de aire a las zonas de baja presión

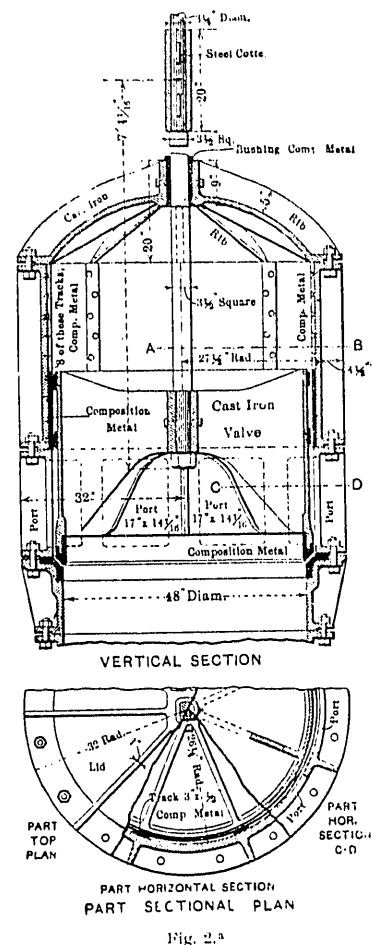
Se comprende desde luego que un remedio o limitación del daño se obtendrá haciendo llegar aire en cantidad suficiente a las zonas en que tal depresión pueda producirse; y ésta es una disposición que no debe olvidarse allí donde se adopten las compuertas.

Válvulas equilibradas

Por los inconvenientes citados, en las presas recientemente construídas o proyectadas en los Estados Unidos, se ha intensificado el empleo de válvulas equilibradas.

Válvulas cilíndricas

Un primer tipo de válvulas cilíndricas equilibradas se empleó en la presa de New-Croton, que abas-



tece de aguas a Nueva York. Se representa en la figura 2.^a. Y consiste esencialmente en una envolvente exterior de fundición que deja ocho ventanales por donde penetra el agua. El cierre se determina con un cilindro interior que lleva guarniciones de ajuste en

el borde inferior y en el superior. Las presiones hidráulicas laterales, por la simetría respecto al eje vertical de la válvula, quedarán equilibradas entre sí; y el esfuerzo de tracción es sólo el necesario para vencer los rozamientos. Esta válvula se ha perfeccionado en otros casos, prolongando la cúpula por medio de un tubo que surja por encima del nivel máximo del agua; por el interior de este tubo queda la barra de manobra, y el tubo sirve de acceso al aire, que remedia las depresiones que se forman al ingresar los chorros de agua por los ventanales. En otros casos, el cilindro obturador queda ajustado en el interior de un pozo, como ocurre en la presa de Mc Donald; disposición que se representará esquemáticamente en el artículo siguiente.

Válvula cilíndrica, aunque no equilibrada, es la que se instaló en la toma de agua del salto de Fully, que se manobra a una carga hidráulica de 39 m, y que, por no alargar estas notas, no describimos. Detalles de ella puede encontrarlos el lector en *Bulletin Technique de la Suisse Romand*, número 22, del 28 de octubre de 1922.

También se emplearon compuertas cilíndricas de 3 y 2 m de diámetro en la toma de aguas de la cámara de presión de la instalación hidroeléctrica de Jonage-Lyon. Puede verse su descripción en *Handbuch der Ingenieur Wissenschaft. Wasserkräfte*, pág. 867.

En las presas construídas por el Departamento de *Reclamation Service* (1) se han colocado compuertas cilíndricas en las siguientes:

PRESAS	Compuertas cilíndricas		Carga de manobra sobre el centro de la compuerta		Medio de movimiento	Fecha de la instalación
	Núm. de	Diámetro Metros	En el proyecto Metros	En la realidad		
Elephant Butte	4	3,1	3,30	No se han maniobrado	Iano (a) Cilindros hidráulicos	1916
Lahontan. . .	2	2,5	30,0	27,60		
Sherburne Lak	1	3,6	24,30	15,60	Iano (a)	1918
	1	3,6	7,80	No se han maniobrado		
McDonald Lak	1	1,7	19,20	14,4	Mano	1918
	1	1,7	12,0	No se han maniobrado	Mano	1917

(a) Estas válvulas tienen contrapeso para equilibrar el peso propio.

Válvulas equilibradas propiamente dichas

Este nombre se aplica especialmente a otros tipos de válvulas.

La primera de éstas fué ideada por el ingeniero yanqui O. H. Ensign, en 1906. El fundamento de ellas consiste en un émbolo cilíndrico que tiene un extremo puntiagudo A para guiar los filetes líquidos; sobre esta superficie de revolución de generatriz curva se

(1) Para elegir, estudiar y construir las obras de riego que, en virtud de la ley de 17 de junio de 1902, debía llevar a cabo el Gobierno de los Estados Unidos, se creó, dentro de la Administración, un organismo técnico especialmente encargado de tales cometidos, conocido con el nombre de *Reclamation Service*.

ajusta una guarnición que asienta en otra análoga fija en la parte inmóvil de la válvula. El otro extremo del émbolo tiene un saliente anular o anillo B de mayor diámetro que el resto de la parte cilíndrica del émbolo. Este puede moverse dentro de un cilindro fijo C que tiene un diámetro interior escasamente mayor que el del anillo citado B. La cámara posterior D, que

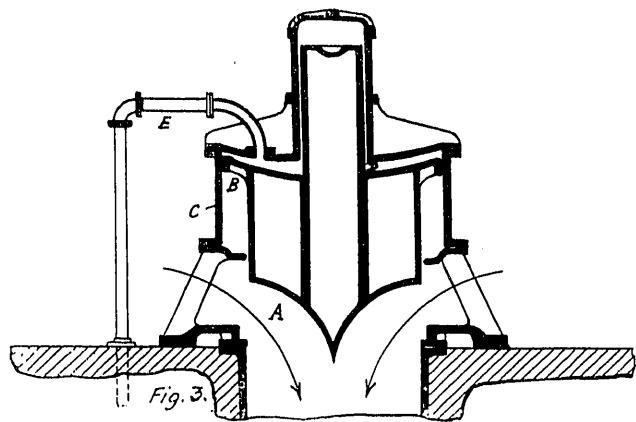


Fig. 3.ª

queda entre el émbolo y el cilindro, tiene comunicación con un tubo de desagüe E, que a voluntad puede servir para desaguar dicha cámara, para incomunicarla con el exterior, cerrando una llave situada en el tubo, o para introducir en ella una depresión poniendo dicho tubo en comunicación con una bomba de vacío, o una presión hidráulica exterior superior a la del embalse.

Como hemos dicho que el anillo B no ajusta completamente en el interior del cilindro, por el huelgo que queda puede penetrar el agua a presión del embalse en la cámara D.

Si suponemos el émbolo aplicado sobre su asiento y, por lo tanto, cerrada la válvula y cerrada la llave del tubo de desagüe E, por el huelgo del émbolo y el cilindro penetrará el agua a presión de la cámara D, y reinará dicha presión sobre la cara posterior del émbolo, mientras que la cara anterior quedará sometida a la presión atmosférica en la superficie comprendida dentro de la guarnición de asiento; y en el resto, o sea la sección anular, se ejercerá la presión del embalse; de modo que la fuerza resultante tenderá a mantener cerrado el émbolo.

Si se abre la llave del tubo de desagüe E, como este tubo es de mayor diámetro que el necesario para eliminar el agua a presión que penetra por el huelgo del émbolo, en la cámara D reinará la presión atmosférica, mientras que en la otra cara las presiones serán las indicadas antes y, por lo tanto, la resultante determinará la apertura de la válvula. Si se quiere cerrar ésta, basta cerrar la llave del tubo E; en la cámara D, por el agua que penetre por el huelgo del anillo, se igualará la presión a la del embalse; y, en cambio, en el extremo puntiagudo, la presión será menor que la del embalse por la depresión originada por la velocidad del agua.

De este modo se puede conseguir o el cierre o la apertura completas. Si se quiere que la válvula quede en una posición intermedia, es preciso que la presión en la cámara D corresponda a un valor comprendido entre la presión atmosférica y la del embalse, y suficiente para equilibrar las fuerzas que se ejercen en la otra cara, que con presión del embalse en la sec-

ción anular, presión menor en la superficie puntiaguda y dependiente de la posición de la válvula y la fricción de ésta en las guías. Aquella presión intermedia en la cámara *D* se puede conseguir con parcial apertura de la llave del tubo *E*. Pero sería difícil el regular esta apertura; y una vez conseguida la posición intermedia de la válvula, este equilibrio se destruiría fácilmente por cualquier cuerpo extraño que se detenga o se expulse en o por la llave del tubo *E* y en o por el huelgo entre émbolo y cilindro.

Disposiciones para regular la posición del émbolo

Por esto se han ideado otros medios de conseguir un equilibrio más estable de la válvula. Uno de ellos es el de resistencia tubular que se indica en la fig. 4.^a,

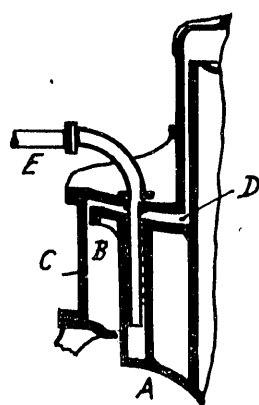


Fig. 4.ª

y que se aplicó a las válvulas de las presas de Roosevelt, Pathfinder y Belle Fourche, todas en los Estados Unidos. El tubo de desagüe *E* se prolonga dentro de la cámara *D* por medio de un trozo rígido que tiene la superficie exterior con ranuras transversales. Dicho tubo penetra dentro de un orificio ciego que tiene el émbolo, dejando escaso huelgo entre el interior del orificio y el exterior del tubo. Al desaguar la cámara *D*, el agua ha de atravesar dicho huelgo con las desigualdades consiguiendo a las ranuras, que constituyen una resistencia o freno que tiende a aumentar la presión en la cámara *D*, es decir, a cerrar la válvula; pero al cerrarse ésta, disminuye dicha resistencia y, por lo tanto, aumenta la salida del agua por el tubo *E*, disminuye la presión en *D* y se produce tendencia a la apertura.

Esta disposición, que parece sencilla, no dió en la práctica eficacia suficiente y se abandonó en las instalaciones posteriores a las indicadas, adoptándose la siguiente.

Regulación por manguito móvil

Se indica en la figura 5.^a y se aplicó en las válvulas de las presas de Arrow-Rock y otras. Consiste en un manguito *E*, prolongación del tubo de desagüe. Este manguito es móvil en el sentido de su longitud en virtud de transmisión accionada desde una cámara exterior; su borde inferior se aplica o no, a voluntad, sobre un asiento colocado en el respaldo del émbolo. Al quedar aplicado el manguito sobre el asiento, no desagua la cámara *D*, se establece en ella la presión del embalse, y la válvula se mueve en el sentido del cierre. Si este movimiento va acompañado de el del manguito, la válvula continuará moviéndose hasta cerrarse. Si se detiene el manguito o se hace retroceder, se abre el desagüe y la válvula se abre. Y la posición intermedia se consigue por parcial apertura o separación del manguito de su asiento.

En las últimas válvulas de este sistema que se han empleado, el manguito, en vez de tener una posición

excéntrica respecto al eje del émbolo, se sitúa concéntrico con éste.

Fuerzas exteriores cooperadoras del movimiento de las válvulas

A fin de asegurar el movimiento de éstas, las últimamente instaladas se proveen de disposiciones con

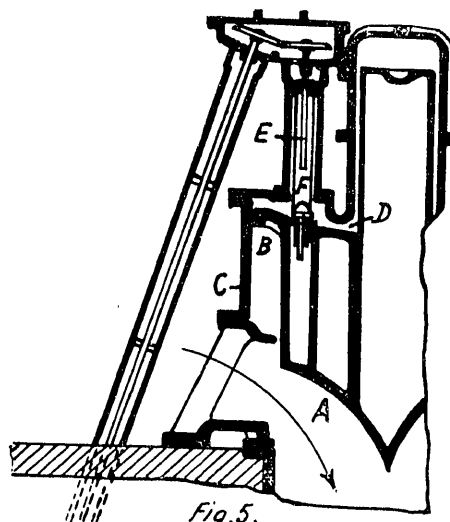


Fig. 5.ª

el fin de provocar un vacío parcial en la cámara *D* para garantizar el movimiento de apertura; o una presión hidráulica adicional para asegurar el cierre. También estos movimientos pueden conseguirse por medios mecánicos en virtud de transmisión de energía exterior, bien procedente de motor o de la mano del hombre. En algunos tipos de válvulas, como ya veremos, se prescinde de la presión hidráulica como agente de movimiento, que queda asegurado por la acción a voluntad de la energía exterior.

Válvulas de aguja

Otro tipo de válvulas equilibradas es el que se indica en la figura 6.^a, que es, sencillamente, el procedimiento de regulación de agua empleada en las toberas de las turbinas Pelton. En esta disposición la

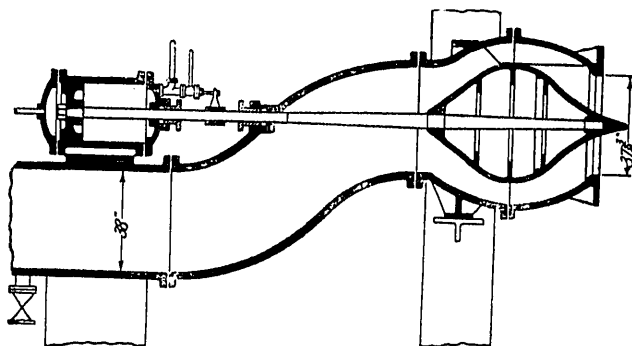
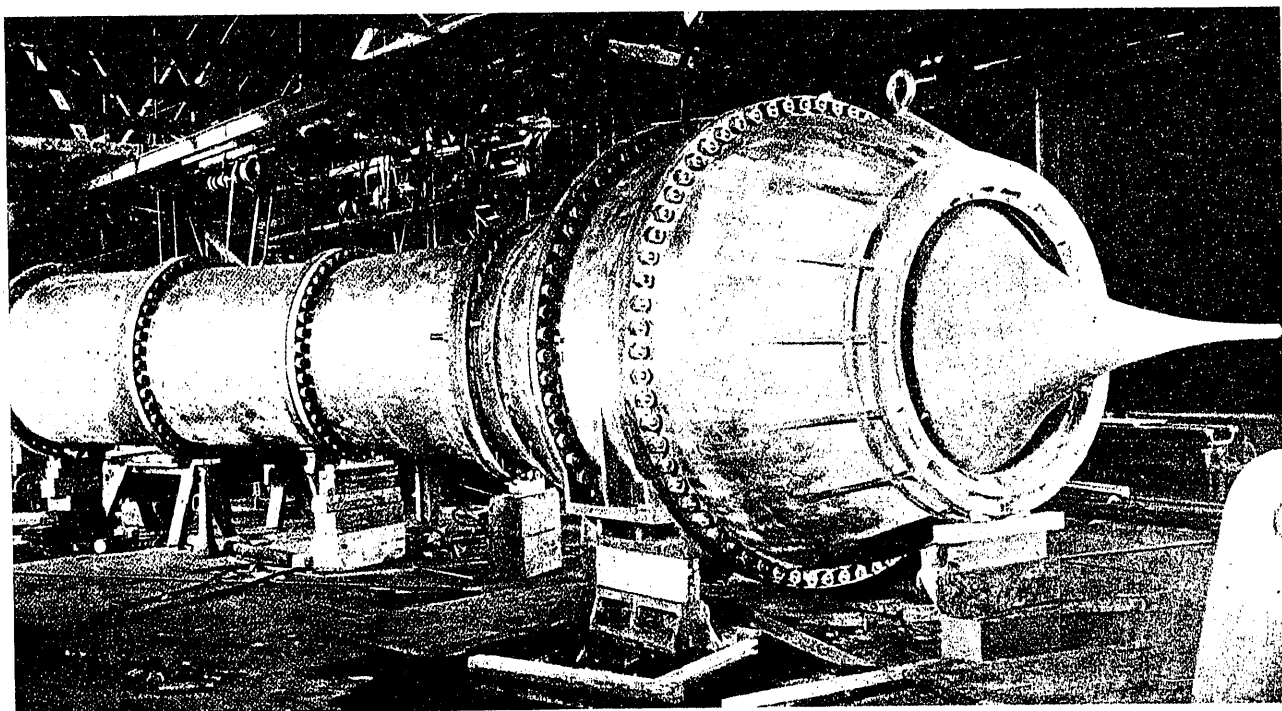


Fig. 6.ª

presión del agua del embalse o de la tubería no contribuye al cierre de la válvula, y éste se determina en virtud de fuerza exterior, que en el caso representado en la figura 6.^a se consigue por un cilindro hidráulico.

Fig. 7.^a

Este tipo de válvula es el que se empleó al final de las dos tuberías instaladas en la galería Sur de la presa de Roosevelt.

La figura 7.^a representa una vista en el taller de una de las tres válvulas de aguja de 1,35 m de diámetro colocadas al final de cada una de las tres tuberías de desagüe del túnel Norte de la presa de Roo-

sevelt; tuberías que tienen en su origen otras tantas válvulas equilibradas.

En otro artículo trataremos de los tipos actuales de estas tres clases de válvulas y de su disposición en las tomas de aguas de los pantanos y en las tuberías de presión; y daremos una nota bibliográfica.

José Luis GOMEZ NAVARRO
Ingeniero Profesor de la Escuela de C., C. y P.

Nuevo sistema de conservación de la vía

Estimo puede ser interesante para los lectores de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS el conocimiento de un nuevo sistema de conservación de vía que ha comenzado a ensayarse en la Compañía de los ferrocarriles de M. Z. A. y que seguramente, dado lo científico y racional de sus principios, ha de dar excelentes resultados.

El ensayo se realiza en la línea de Madrid a Alicante, de aquella Compañía, en su trayecto Madrid a Alcázar de San Juan, en el cual la vía, establecida con carriles de 45 kg por metro lineal, puede decirse tiene carácter definitivo y no ha de experimentar modificación ni refuerzo alguno, por lo menos en un plazo muy largo.

Esta circunstancia de no tener que reforzar ni renovar la vía, es precisa en el sistema de conservación que se ensaya, puesto que una de sus circunstancias características es la de que han de conservarse sin alteración alguna, como a continuación se expresa, los lechos de asiento de las traviesas sobre el balastro, que pueden considerarse por la acción del tiempo como cimientos fijos y consolidados para éstas.

El poco tiempo transcurrido desde que este sistema se ha implantado, no permite todavía formar

opinión concreta y terminante acerca de sus resultados, no solamente desde el punto de vista técnico, es decir, de la conservación y seguridad de la vía, sino también desde el muy importante punto de vista de la economía que pueda reportar ahorrando considerable mano de obra y conservando los materiales constitutivos de la vía.

Mejor que una ligera descripción de procedimiento, creo ha de dar idea a los lectores de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS la publicación completa de las instrucciones publicadas para uso del personal, y, por esta razón, se copian a continuación:

Instrucción para la conservación de la vía por el método de la «Revisión integral»

Conservación de la vía.

Constituye la vía, tomada en su conjunto, una estructura mixta de elementos metálicos, vegetales y pétreos, cuyo mantenimiento en perfecto estado de equilibrio estático y elástico exige una exquisita vigilancia por el personal dedicado a este servicio; vigilancia que, por otra parte, presenta serias dificultades, por encontrarse muchos de los elementos constitutivos de la vía poco o nada accesibles a la inspección directa.