

## LAS COMPUERTAS AUTOMATICAS DEL ALIVIADERO DE LA PRESA DE MONTORO

Por JOSE MARIN TOYOS,  
Ingeniero de Caminos.

*Se describe en el presente artículo la importante instalación que se reseña en el epígrafe, que es la primera de ese tipo que se construye en España, y cuyo resultado ha sido altamente satisfactorio.*

Entre las importantes instalaciones realizadas por la Empresa Nacional Calvo Sotelo en el complejo industrial de Puertollano, figura el abastecimiento de agua, cuyo proyecto y realización fué magistralmente desarrollado por el ilustre Ingeniero de Caminos D. José M.<sup>a</sup> Alvarez Cienfuegos. Tiene por base la formación de un embalse de 18,8 millones de metros cúbicos, ampliable a 29,1 millones por medio de las compuertas del aliviadero, el que se consigue con una presa de tipo de vertedero de planta recta y de gravedad, con altura, desde los cimientos a la coronación, de 36,70 metros, quedando el aliviadero a 25 metros de altura sobre el lecho del río.

El sistema de compuertas instaladas en el aliviadero es totalmente automático, sin motores ni mecanismos de ninguna clase, y por haberse construido por primera vez en España y por las ventajas que ofrece, merece una divulgación, que es lo que constituye el objeto del presente artículo.

### El proyecto.

No pretendemos hacer una exposición completa del proyecto de este tipo de compuertas, porque su complejidad y extensión así lo impiden, limitándonos a describir los aspectos más interesantes del mismo, y siempre con ideas generales por la imposibilidad de entrar en detalles.

El aliviadero consta de cuatro compuertas de 10,25 metros de luz y 4,22 metros de altura; para ellas se ha adoptado un sistema de sector sumergido con eje de giro aguas arriba. Este sistema no descubre nada nuevo, porque ya era conocido en 1896, por haber sido empleado por H. M. Chittenden en el río Osage (EE. UU.), pero sí es totalmente original la realización, por haberse logrado en condiciones tales de simplificación y economía de materiales que, además de constituir una concepción diferente del siste-

ma primitivo, establece una ventajosa competencia con cualquiera de los tipos actualmente utilizados como cierres de superficie y dentro de las más amplias dimensiones, que pueden llegar de 8 a 50 metros en la luz y de 2 a 4,5 metros en la altura.

Puede dar una idea de lo anterior, la comparación entre las compuertas de la Presa del Montoro y las de análogas dimensiones y características construidas en la presa núm. 4 del río Pit, de la Pacific Gas & Electric Company, de la que resulta una reducción efectiva en peso del 50 por 100 en favor de las primeras. Aparte de otras positivas ventajas, que se irán señalando, esta sola de economía de materiales siderúrgicos debe ser fundamental para ser tenida en cuenta al proyectar nuevas instalaciones.

La idea que ha presidido el estudio del proyecto ha sido simplificar y aligerar la construcción, desechando en absoluto las primitivas concepciones de grandes blindajes de acero o de fundición con pesado roblonado, para sustituirla por una estructura totalmente soldada eléctricamente y conformada por palastros y perfiles laminados. Pero la carencia total de bibliografía adecuada y las dificultades que entraña el cálculo del cuerpo flotante, dió lugar a laboriosos estudios y a la realización de numerosos ensayos sobre modelo reducido para comprobar la rigidez, presiones, contrapresiones, aplastamientos, vibraciones y equilibrio; todas las hipótesis basadas en estos ensayos se han visto satisfactoriamente comprobadas en la realidad, después de haber dado paso las compuertas a varias importantes avenidas, y siempre con un comportamiento seguro, preciso y tal como estaba previsto.

Fué importante preocupación en el estudio del proyecto el comportamiento que tendría la lámina de agua al verter y la necesidad de que inmediatamente se despegase del sector para evitar las repercusiones que sobre su estructura se pudieran produ-

cir en forma de depresiones variables y periódicas que posiblemente llegasen a destruirla. La cuestión se resolvió con los ensayos en el modelo reducido,

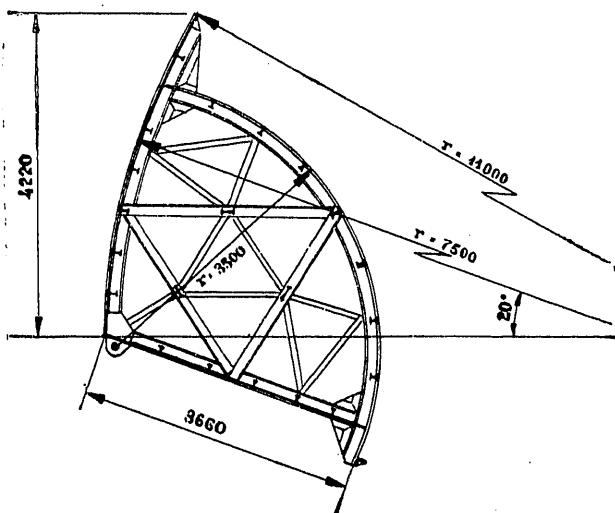


Fig. 1.ª — Estructura del sector

y a la vista de los resultados se proyectaron las disposiciones definitivas que han respondido fielmente a lo previsto.

La disposición de la estructura de las compuertas se indica en la figura 1.ª, que es una sección transversal del cuerpo hueco; lleva, además, un arriostramiento en sentido normal al dibujo. Los polígonos de cargas se comprobaron para cada posición y carga, al igual que las cuernas curvas, en todas las formas posibles.

La figura 2.ª representa la sección de ensayo en modelo reducido; en ella se observan diez puntos

situados en la cara de aguas arriba, y ocho, sobre la envolvente cilíndrica, que indican otras tantas posiciones de ensayo. En los diez puntos primeramente indicados, se colocaron pequeños tubos para medir las presiones que sobre ellos se producían en cada una de las ocho posiciones que se adoptan para la compuerta y que están definidas en la superficie ci-

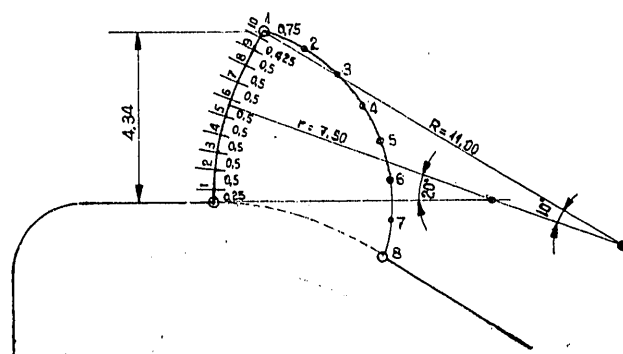


Fig. 2.ª — Sección transversal del modelo reducido.

lindrica; todo ello para alturas de embalse de 1, 2, 3, 4 y 4,30 metros.

Los resultados de uno de los ensayos para la posición 4 de la compuerta y para uno de los niveles de embalse citados se indican en la figura 3.ª, a); con los datos obtenidos se compone el funicular y se determina su resultante,  $R$ , como indica la figura 3.ª, b), y al trasladarla a la anterior, la fija en posición y magnitud, definiendo el brazo de palanca,  $L$ , del par dextrósum.

Este par, así determinado, tiene que ser inferior al de flotación, lo que en cada caso se comprueba en

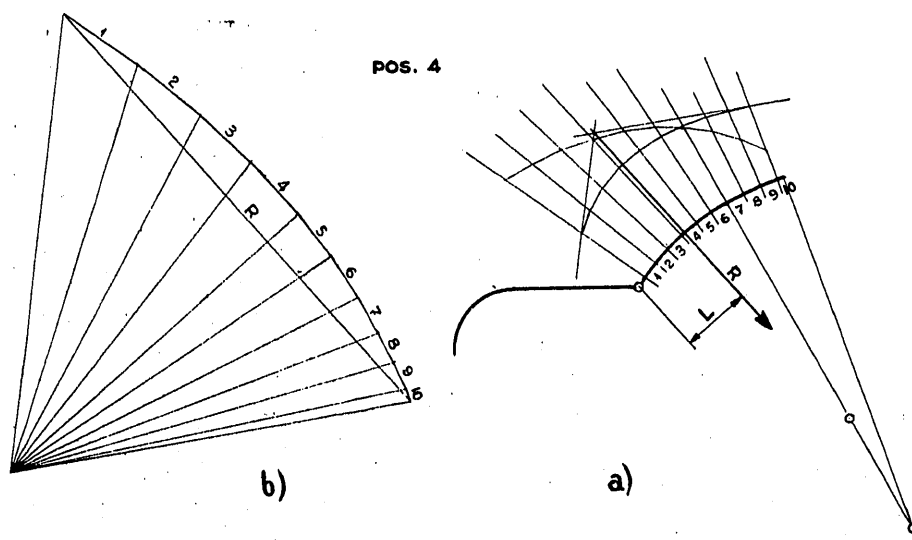


Fig. 3.ª — Determinación del par dextrósum.

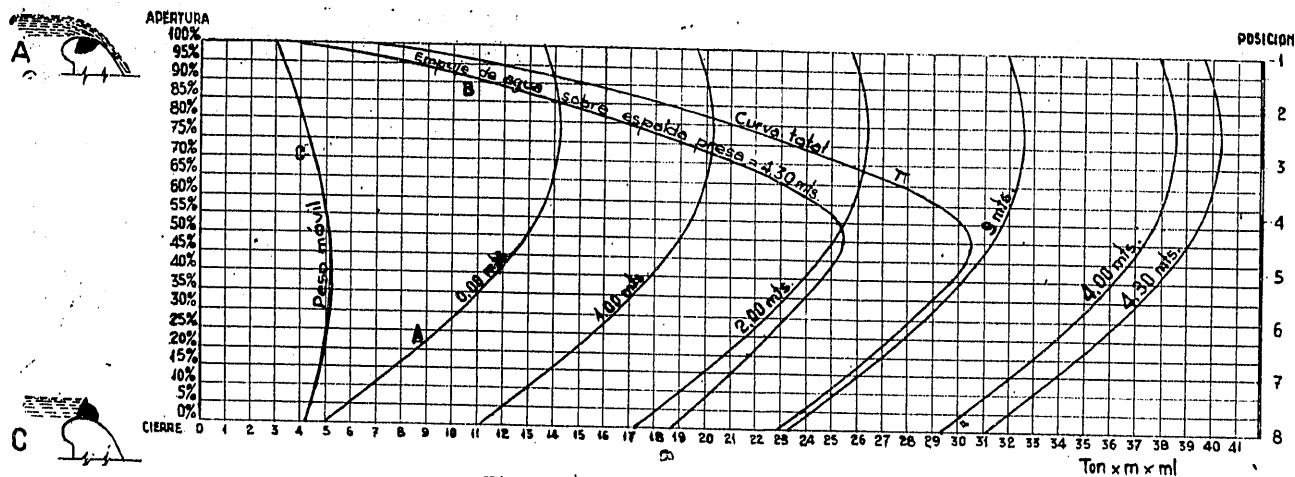


Fig. 4.ª — Estudio de flotabilidad.

el gráfico de flotabilidad que se representa en la figura 4.ª, que es el resumen de todos los obtenidos para las distintas situaciones del nivel de embalse. La familia de curvas *A* indican el par sinistrórsum sobre el eje de giro para cada uno de los cinco niveles de agua que se ensayan y para las distintas posiciones dadas a la compuerta. La curva *B* representa el empuje del agua sobre la compuerta para el máximo nivel de 4.30 metros determinada, como se indica en el párrafo anterior, sin que interese la representación del resto de las que componen la familia, que, por otra parte, quedan fuera del dibujo, a la izquierda. La curva *C* representa el par correspondiente al peso móvil, o sea, el peso de la compuerta. La composición por suma de las curvas *B* y *C* da lugar a la curva total *T*, y la distancia en horizontal desde ésta a las curvas *A*, determina la flotabilidad de la compuerta en cada caso.

En lo anterior se observa que no se ha tenido en cuenta los efectos del rozamiento, pero es debido a considerarlos despreciables, pues, en el peor de los casos, cuando la flotabilidad es mínima, o sea, cuando las curvas *T* y *A* están más próximas, el valor de tales rozamientos es inferior a un minuto de sensibilidad en el giro, lo que aleja toda posibilidad de que la compuerta funcione a saltos, como se ha podido comprobar en la realidad, pues llama la atención la suavidad que presentan en su movimiento de giro.

Se ha adoptado como sistema de regulación uno de los clásicos, pero dotado de compensador de posición, para evitar el movimiento pendular del sector en las proximidades del equilibrio, para evitar que la compuerta esté sometida a una interminable oscilación que acabaría pronto con las impermeabilizaciones y con los elementos de giro. Este sistema de regulación es, además, desembragable, lo que permite maniobrar las compuertas a voluntad, sin más que

producir cargas o descargas en la cámara de presión al abrir o cerrar pequeñas compuertas auxiliares, gobernadas desde sitio cómodo y fácilmente accesible, por medio de volantes accionados a mano.

### Funcionamiento.

En la figura 5.ª se representa una sección transversal de la pila, sobre la que se ha proyectado con líneas de puntos la compuerta y su cámara de alojamiento, que nos servirá para explicar su funcionamiento.

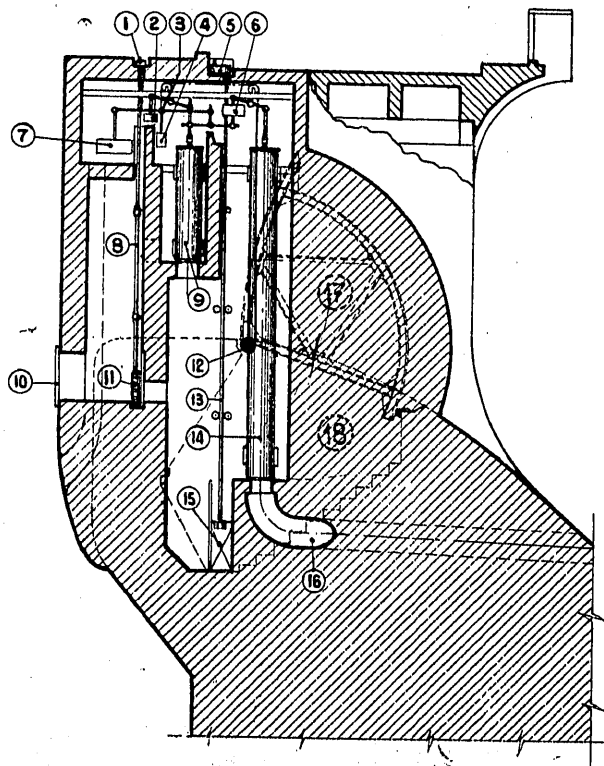


Fig. 5.ª — Sección transversal de la pila.

Por medio de la entrada con rejilla 10, el nivel del embalse se comunica a la antecámara en que están las compuertas 8 y 11, las que, en régimen de funcionamiento normal y para una situación de equilibrio, están, la segunda, cerrada, y la primera, abierta; por ésta se traslada el nivel del embalse a la cámara en que se aloja la válvula 9, que también se encuentra cerrada. Por el orificio representado por debajo del 10 y a través de un tubo, se comunica también el nivel del embalse a la cámara del flotador 7, y la razón de hacerlo así es para evitar que en ella existan oscilaciones y el agua se encuentre tranquila para que dicho flotador no esté sometido a continuos movimientos.

En esta situación de equilibrio, supongamos que el nivel del embalse aumenta; el flotador 7 se elevará y producirá un descenso en el contrapeso 6, actuado por el balancín que gira alrededor de 3, que está en tensión con el contrapeso 4; el movimiento de descenso del contrapeso 6 actuando sobre el balancín que lo une a la válvula cilíndrica 14, hace que ésta se abra, poniendo en comunicación la cámara de flotación 18 con el exterior, por medio de la tubería 16, que tiene una compuerta, 15, que en régimen de funcionamiento normal está permanentemente abierta; con esto disminuye la presión sobre la cara inferior de la compuerta y ésta gira alrededor de su eje, 12, y descende, aumentando así la capacidad de descarga de agua; pero el movimiento de la compuerta se transmite por una polea concéntrica con el eje de giro y dos poleas de desvío que están representadas en el dibujo, al contrapeso 4, elevando el punto de giro 3, que produce una elevación del contrapeso 6 y el cierre de la válvula cilíndrica 14, terminando así el ciclo de movimiento, el que vuelve a iniciarse si con el primero no se ha logrado las condiciones de equilibrio en el sistema. Vemos, pues, que a una elevación del nivel del embalse corresponde una apertura de la compuerta que aumenta la descarga de agua lo suficiente para restablecer el equilibrio, y

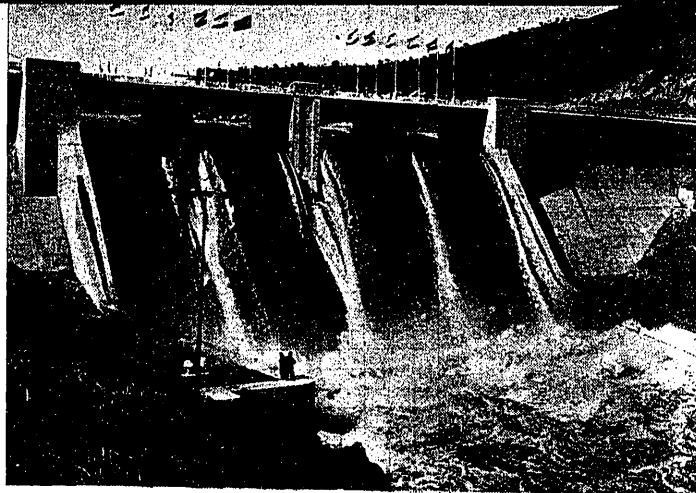


Fig. 7.<sup>a</sup> — Las cuatro compuertas vertiendo el día de la inauguración de la presa.

con una cuidadosa regulación se logra tanta sensibilidad como sea precisa; en el caso de la Presa del Montoro, se ha establecido para una variación de 2 cm. en el nivel del embalse.

Supongamos el caso contrario: el nivel del embalse desciende. Esta circunstancia hace descender también el flotador 7, y esto trae como consecuencia que, a través del punto de giro 3, y estando inmóvil el contrapeso 6, se abra la válvula cilíndrica 9, lo que permite una entrada de agua en la cámara de la válvula 14 y un aumento de presión en la cámara 18 que aumenta el par sinistrorsum sobre el sector 17, elevando la compuerta, con lo que se disminuye la capacidad de la descarga; en este caso, el movimiento de giro alrededor de 12 se transmite al contrapeso 4, haciendo descender el punto de giro 3, que da lugar a otro descenso en el contrapeso 6 y a la apertura de la válvula 14, que produce una descarga de la cámara de presión que restablece el equilibrio en uno o varios ciclos, como el indicado.

Las compuertas 11-15 y su simétrica en la cámara 18 son las que se utilizan para efectuar maniobras a voluntad, para lo cual se gobierna con los volantes 1-5, y su simétrico, situados en la coronación de la presa, en lugar de fácil acceso. En efecto: abriendo las compuertas 11 y 15 se aumenta la presión en la cámara 18 y la compuerta se cierra. Si en estas condiciones se cierra la 11 y se abre la compuerta simétrica a la 15 en la cámara 18, se produce el desagüe de la cámara 18 y la apertura de la compuerta.

La rapidez de maniobra de las compuertas puede calificarse de extraordinaria, pues basta decir que para producir una descarga total de superficie por la apertura de las cua-

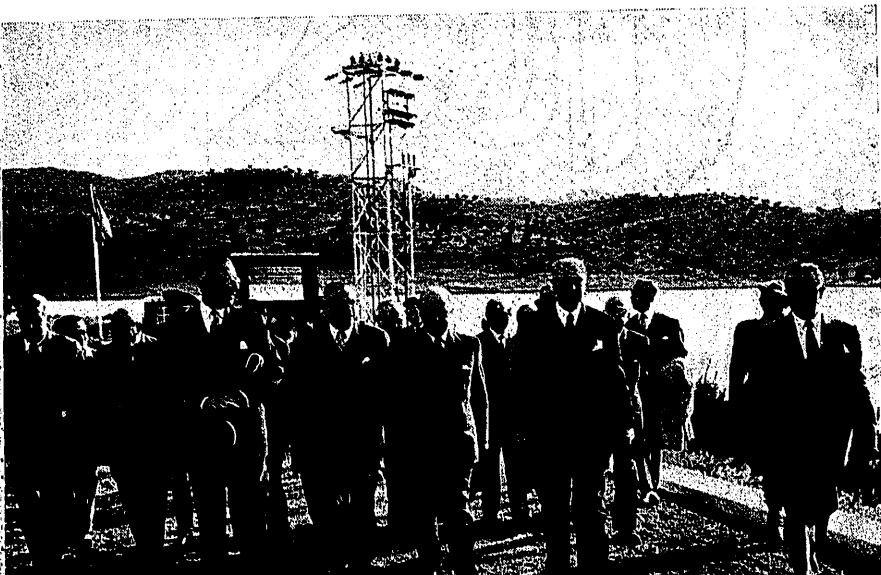


Fig. 6.<sup>a</sup> — S. E. el Jefe del Estado en la inauguración del abastecimiento de agua de Puertollano

tro compuertas se invierten cinco minutos, y en igual tiempo se consigue el cierre, el que, además, proporciona una estanqueidad total.

### Construcción y montaje.

La construcción en taller de este tipo de compuertas exige un especial cuidado, tanto en lo que se refiere al trazado y ensamblaje de las diferentes piezas de la estructura, como a la comprobación de alineaciones y a las operaciones de soldadura eléctrica, que en el caso que describimos fueron comprobadas por la aplicación de rayos X.

Es preciso efectuar en taller el montaje total de cada compuerta para su completa comprobación, después de haber estudiado el despiece de las mismas a los efectos de transporte, que necesariamente había de hacerse, en nuestro caso, por carretera, teniendo a la vista la capacidad de los camiones y el gálibo admisible de las carreteras a recorrer.

El montaje se organizó con un programa tal que permitiese terminarlo al mismo tiempo que la obra de fábrica, lo que no es frecuente; pero en este caso, si bien se produjeron algunas interferencias entre los dos trabajos, es forzoso reconocer que con él se anticipó la puesta en servicio de la presa, y todavía cabe señalar las ventajas de efectuar el montaje sin el puente sobre la coronación y la que representó la utilización del cable aéreo que servía para la obra de fábrica.

Todo el montaje se desarrolló con arreglo al plan previsto y con una rigurosa comprobación de cada uno de los elementos, sin que en él ocurriese novedad alguna digna de mención.

### Consideraciones sobre el nuevo tipo de compuerta.

El proyecto, la construcción y el tiempo que llevan en funcionamiento, permiten sacar conclusiones sobre las ventajas e inconvenientes que este nuevo tipo de compuerta presenta sobre los demás cierres de superficie, lo que es, sin duda, lo más interesante que se puede ofrecer a los lectores.

Las principales ventajas que el sistema presenta son, a nuestro juicio, las siguientes:

a) La preparación de la obra de fábrica para recibir esta clase de compuertas es, a la vez, sencilla y barata, con economía en el volumen de hormigón por la existencia de la cámara de flotación, que también da lugar a pilas prácticamente huecas.

b) El perfil del vertedero queda completamente

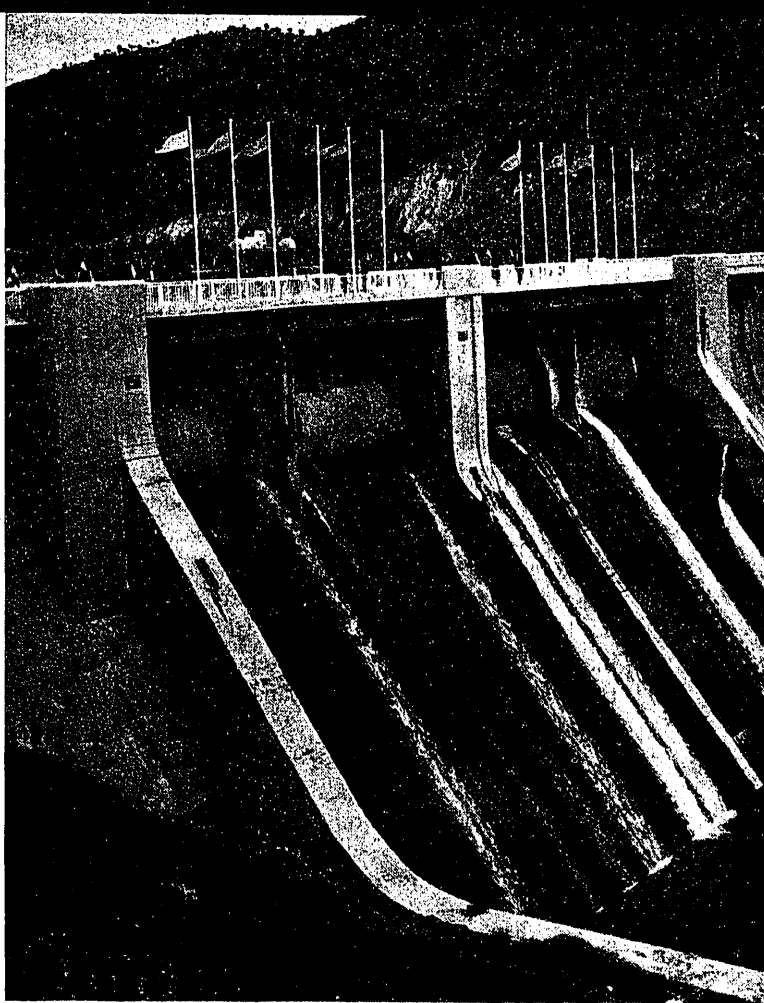


Fig. 8.ª — Las compuertas, cerradas.

libre y los paramentos laterales son totalmente lisos, con lo que el coeficiente de descarga es óptimo.

c) El puente-carretera sobre la coronación puede aprovechar toda la anchura de ésta.

d) No necesitan instalaciones eléctricas ni mecánicas de ninguna clase.

e) Proporcionan economía de materiales siderúrgicos.

f) La explotación no exige más que la presencia de un operario para los cuidados de conservación y para las maniobras a voluntad que se quieran efectuar.

Los únicos inconvenientes que se pueden atribuir al sistema son que requiere una ejecución muy esmerada en taller, un transporte cuidadoso y un escrupuloso montaje en obra, los que, bien meditados, son también inherentes a los demás sistemas, sin que presenten, como contrapartida, las ventajas enunciadas.

En resumen: creemos que el balance entre ventajas e inconvenientes es favorable para las primeras, y sobre todo, para la entidad explotadora de la presa, pues recibe íntegramente las ventajas, sin que

le afecten los inconvenientes, que cargan todos sobre la entidad constructora de las compuertas.

### **Puesta en servicio e inauguración oficial.**

La puesta en servicio de la Presa del Montoro tuvo lugar el 20 de junio de 1951, con asistencia, entre otras personalidades, de los Ministros de Industria y Comercio y de Obras Públicas. Durante la ceremonia se maniobraron a voluntad las compuertas, produciéndose varias veces la apertura y cierre de las mismas, y en todas se pudo comprobar la suavidad de sus movimientos, la rapidez de la maniobra y el perfecto cierre que proporcionan, con una estanqueidad total e inmediata.

El día 20 de mayo de 1952 tuvo lugar la solemne inauguración oficial, con asistencia del Jefe del Estado (fig. 6.<sup>a</sup>), al que acompañaba la mayor parte de

su Gobierno. Los resultados obtenidos fueron igualmente satisfactorios, pero la favorable circunstancia de encontrarse lleno el embalse hizo más espectacular la maniobra de las compuertas, como puede apreciarse en la figura 7.<sup>a</sup>, en la que se ven las cuatro compuertas descargando; también puede verse en la figura 8.<sup>a</sup> cómo se produjo el cierre a los pocos momentos de actuarlas en este sentido y la eficacia del mismo.

### **Final.**

Es de justicia citar que este nuevo tipo de compuerta de aliviadero, que tantas ventajas presenta para esta clase de instalaciones, ha sido concebido, estudiado, proyectado y construido por la Empresa Boetticher y Navarro, S. A., y que, en la instalación reseñada, se construye por primera vez en España, con los satisfactorios resultados que se han puesto de manifiesto.