

Sifones regulados para vertido anticipado en avenidas

TAMARA RAMOS DEL ROSARIO (*), M^a DOLORES CORDERO PAGE (**),
VÍCTOR ELVIRO GRACÍA (***) y CRISTÓBAL MATEOS IGUÁCEL (****)

RESUMEN En anteriores trabajos se ha mostrado la posibilidad de regular la descarga de sifones y las ventajas que supone para la evacuación de avenidas en presas existentes que necesiten ampliar su capacidad de evacuación. Esta posibilidad se puede ampliar para que los sifones puedan trabajar antes de que el nivel de embalse alcance el umbral de vertido e incluso lograr reducir el nivel de embalse antes de que llegue la avenida mejorando la laminación.

Esto conlleva sacar del embalse más agua de la que entra comportando ciertos riesgos (esta actuación suele estar limitada en disposiciones legales de muchos países). Por ello se abordan tres cuestiones: Cómo lograr que el sifón actúe con niveles de embalse inferiores a la cota del umbral. Cómo aminorar el riesgo ante un manejo erróneo. Cómo conseguir que esta opción nunca perjudique la gestión normal del embalse.

Se exponen dos consideraciones: Se trata de un sifón con doble cámara; bajo cuyo deflector se inyecta, por una ranura adecuada, un chorro de agua del embalse mediante una bomba que provoca el cebado del sifón al retirar gradualmente el aire de su interior. Una vez cebado el sifón puede cesar la acción de la bomba.

Para aminorar riesgos es conveniente situar una batería de sifones, con una sola bomba para su cebado. Cada sifón constará de dos vasos reguladores uno para funcionamiento ordinario y otro para el extraordinario, y todas estas acciones estarán sometidas a una autoridad que valore la evolución del riesgo.

REGULATED SIPHONS FOR ADVANCE DISCHARGE IN FLOODS

ABSTRACT *Previous studies have shown the possibility to regulate siphons discharge and the benefits for flood evacuation of existing dams which need to expand their discharge capacity. This potential can be expanded to give to siphons the ability to start working before the reservoir level reaches the discharge threshold. And so reduce the reservoir level before flood arrives improving the action exerted by the reservoir in the flood lamination.*

This possibility means more water has to be removed from the reservoir than water entering in it. This action involves certain risks and tends to be prohibited by laws of many countries. We address three issues here: How to get the siphon action even with reservoir levels below the siphon threshold. How to reduce the risk of incorrect operation. How to get this option to never harm the normal reservoir management.

Two considerations are presented: The siphon has dual chamber. Under its deflector it is injected a running water of the reservoir by an appropriate slot that it is mobilized by a pump. This running water causes priming siphon due to the fact that the air inside has been phased out gradually and, after priming, the pump action can be stopped.

A battery of siphons should be placed to reduce risks, with one pump for priming. Each siphon is made of two regulators vessels, one for ordinary operating vessels and one for the extraordinary. All of these actions will be subject to physical veto of an authority that values the evolving risk.

Palabras clave: Aliviaderos, Sifones, Regulados por aire.

Keywords: Weirs, Siphon Spillway, Air-regulated siphon.

(*) Ing. C. C. y P. Investigador del Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos CEDEX. E-mail: tamara.ramos@cedex.es

(**) Ing. C. C. y P. Coordinador de Programa Técnico Científico del Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos CEDEX. E-mail: dolores.cordero@cedex.es

(***) Ing. C. C. y P. Consejero Técnico del Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos CEDEX. E-mail: victor.elviro@cedex.es

(****) Dr. Ing. C. C. y P. Profesor emérito de la Universidad Politécnica de Madrid. E-mail: vereniko@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

En anteriores trabajos [1] a [8] se ha visto la posibilidad de regular y modular la descarga de los sifones y las ventajas que ello puede suponer para la evacuación de avenidas señaladamente en el caso de presas ya construidas que necesiten ampliar su capacidad de evacuación. Aquí se muestra como esta posibilidad se puede ampliar para dar a los órganos de desagüe (si son sifones) la capacidad de empezar a trabajar antes de que el nivel de embalse alcance el umbral de vertido e incluso lograr así reducir el nivel de embalse antes de que llegue la avenida mejorándose de esta forma la acción que ejerce el embalse en la laminación de la avenida.

Ciertamente esta posibilidad, para maximizar su eficacia, presupone que se saque del embalse más agua de la que entra en el mismo. Esta acción, así expresada sin más precisiones, comporta ciertos riesgos y suele por ello estar bien prohibida o bien regulada de forma estricta por las disposiciones legales de muchos países. Por tal razón se abordan aquí tres cuestiones:

- A) Como lograr que el sifón actúe incluso con niveles de embalse inferiores al de la cota del umbral del propio sifón.
- B) Como conseguir que esta opción nunca perjudique la gestión normal del embalse.
- C) Como aminorar o eliminar el riesgo de que un manejo erróneo resulte en daños que no sean asumibles.

2. SIFONES CON LA POSIBILIDAD DE VERTER ANTES DE ALCANZAR EL EMBALSE LA COTA DEL UMBRAL DEL SIFÓN

Las ideas que se exponen a continuación podrían desarrollarse (con las oportunas adaptaciones) para cualquier sifón

que sea regulable por medio del control de la admisión de aire en su interior, pero para exponerlas se ha preferido utilizar un sifón como el de las Figuras 1 y 2 cuyo control sea del tipo que se ha denominado control de segundo orden. Pues en principio admite una mayor flexibilidad y sencillez de concepción en sus leyes de evacuación, ver referencias [5] a [7].

En su manejo ordinario el sifón de la Figura 2 para una posición prefijada de sus herramientas de regulación lo que hace es vincular a cada cota de embalse un caudal a evacuar. En efecto, una vez fijados en los valores que se estime adecuados las posiciones de las válvulas V_1 y V_2 y seleccionada la boca de descarga a, b, c o d, se puede concluir que el comportamiento del sifón será el siguiente: Inicialmente cuando el nivel del embalse supere en el entorno de un decímetro el umbral del sifón el agua que sale de éste arrastra algo de aire, el cual no es repuesto por estar sellada la boca de C3 al igualarse el nivel en el vaso al nivel de embalse. Se genera así un descenso de la presión por debajo de la atmosférica en las cámaras de aire del sifón. Este descenso continuará en tanto permanezca el bloqueo de C3 pero a su vez originará un paulatino incremento del caudal de agua que sale por C2 hasta que éste a su vez supere el que proveniente del embalse entrando en el vaso por C1. Situación, que cuando avance lo suficiente, liberará parcialmente la boca de C3 permitiendo la entrada de aire al sifón y consiguientemente reduciendo la depresión en éste lo que invierte temporalmente el proceso hasta llegar en poco tiempo a un equilibrio.

El equilibrio se alcanzará cuando la liberación de la boca sea la estrictamente necesaria para que el aire por ella aportado por C3 iguale al que el agua arrastra desde el interior del sifón al exterior. Un equilibrio de este tipo se alcanza para cada posible nivel en el embalse. Según se explica con más detalle en las referencias [6], [7] y [8] la ley de desagüe para



FIGURA 1. Sifón con regulación de segundo orden.

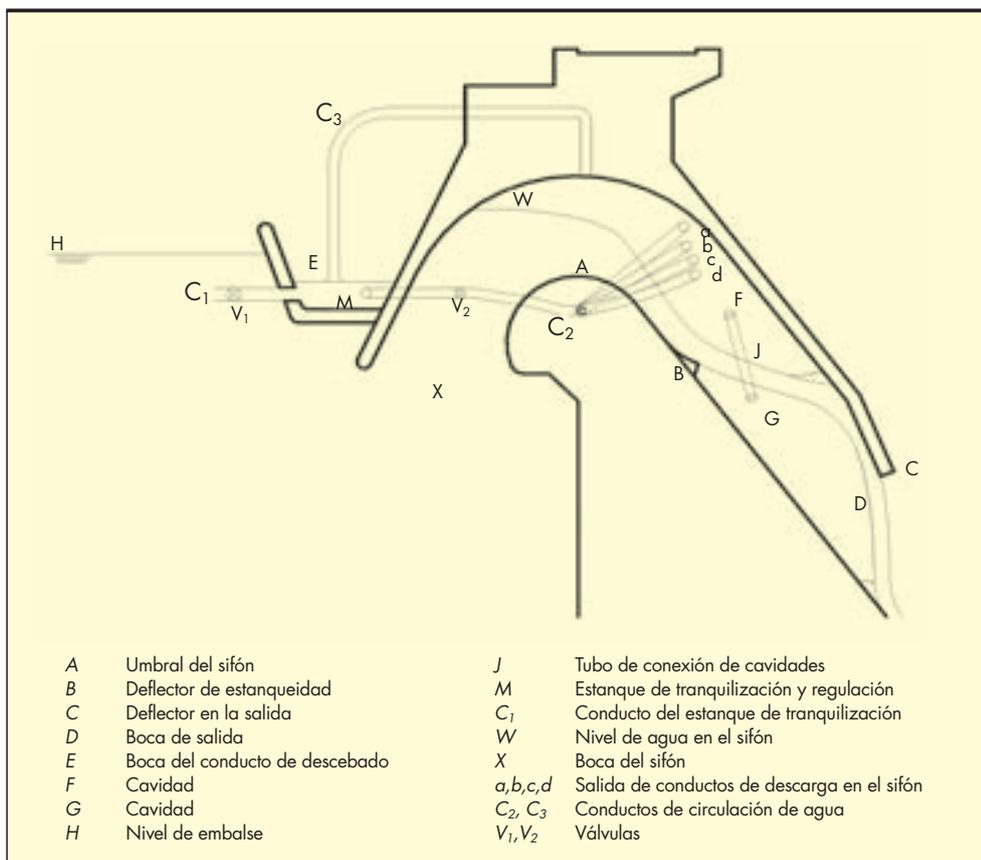


FIGURA 2. Esquema de sifón con regulación de Segundo orden.

cada hipótesis de control se puede así obtener de las consideraciones que siguen. Supuesto un nivel de embalse y sabiendo que en el equilibrio correspondiente el nivel del vaso será unos centímetros inferior a la cota de la boca de C₃ se puede evaluar el caudal de C₁ con una razonable aproximación. Como el equilibrio también requiere que este caudal deba de igualarse con el de C₂ la depresión de las cámaras de aire del interior del sifón tiene que ser la estrictamente necesaria para ello y por tanto también es calculable. Como se ha supuesto fijada la cota de embalse y se ha calculado (a partir de ella según se ha visto) la depresión en el sifón, el cálculo del caudal saliente es directo. Variando las condiciones de control se obtienen familias de curvas de gasto como las recogidas en la Figura 3.

Para adaptar dicho sifón al nuevo cometido de poder extraer agua incluso cuando el embalse se encuentra por debajo del umbral del sifón son precisas algunas modificaciones como las recogidas en la Figura 4. Tal y como se representa en dicha figura el sifón a emplear es un sifón con doble cámara al que bajo su deflector se le puede inyectar por una ranura adecuada un chorro de agua proveniente del embalse que para ello se moviliza bien por gravedad abriendo una válvula o bien preferiblemente con una bomba, aquí se adoptará esta segunda hipótesis.

Este chorro inferior debe de tener por caudal y velocidad la intensidad suficiente para producir un arrastre de aire en el interior del sifón que, cuando estén bloqueadas las posibles entradas de aire al interior del sifón, generará una depresión que a su vez provocará que en la boca de entrada al sifón ascienda paulatinamente el nivel del agua hasta que en cierto momento vierta por encima del umbral y se inicie el cebado

directo del sifón. Una vez cebado el sifón con un caudal suficiente para conseguir que el vertido sobre el umbral provoque por si solo una depresión adecuada, puede (y en cierto sentido debe) cesar la acción de la bomba. Además por supuesto de la citada bomba de impulsión, es preciso, desdoblarse el conducto C₃ para dotarlo de dos bocas una de ellas, B_s, es prácticamente idéntica a la de la Figura 2 pero ahora disponiendo de una válvula, V_e, que pueda condenar el flujo por esa boca y en tal caso dejar como operativa solo la nueva boca, B_i, que como indica la Figura 4 esta situada sustancialmente más abajo.

La boca profunda no necesita en rigor otra válvula, según se verá, pero si se desea por otras consideraciones puede ponerse para un mayor control. En condiciones ordinarias, es decir cuando no se prevé la necesidad de extraer agua por debajo del umbral del sifón o incluso se considera inconveniente dicha extracción, la válvula V_e debe de estar abierta. Así si se pusiera en marcha la bomba con el embalse por debajo del umbral, como C₃ tendría una boca destapada el aire entraría libremente al interior del sifón, y éste sacaría el modesto caudal que puede aportar la bomba por si sola, pero no se provocaría el cebado ni el consiguiente incremento de caudal líquido. Por su parte y en esta misma hipótesis de válvula V_e abierta si sube el nivel la boca B_i estará anegada y no participará en el control de la admisión de aire mientras que la boca B_s estará plenamente operativa y tendrá los mismos efectos y ejercerá el mismo control que se ha señalado arriba al comentar el sifón de la Figura 2.

Por último si estando el embalse algo más bajo que el umbral del sifón se deseara que saliese una cantidad importante por el sifón sería preciso realizar dos actuaciones: 1ª) Cerrar la válvula V_e y 2ª) Poner en marcha la bomba hasta que se

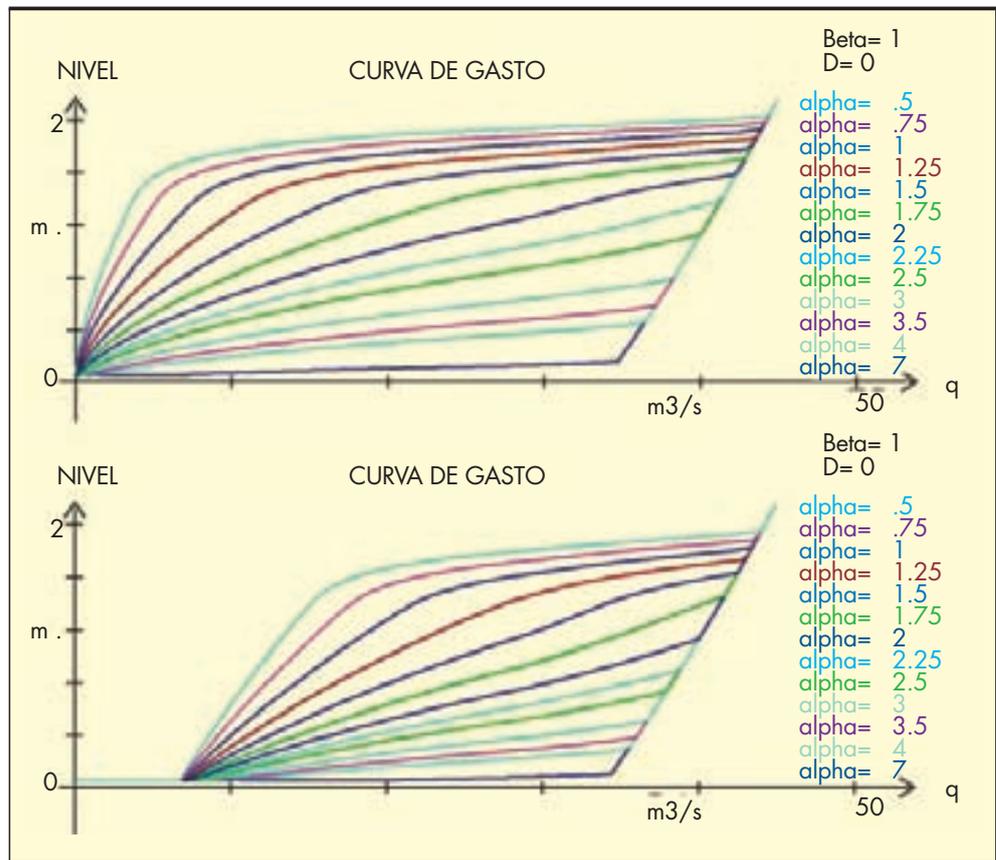


FIGURA 3. Curvas de gasto en un sifón regulable.

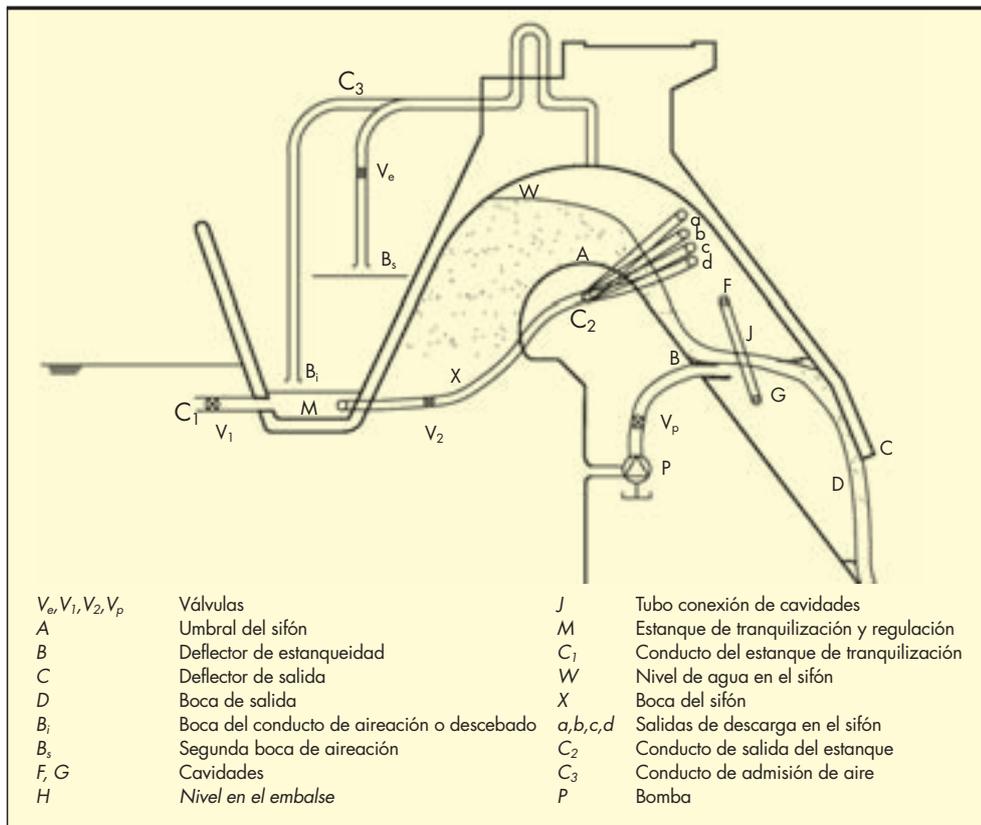


FIGURA 4. Esquema de un sifón regulable en funcionamiento.

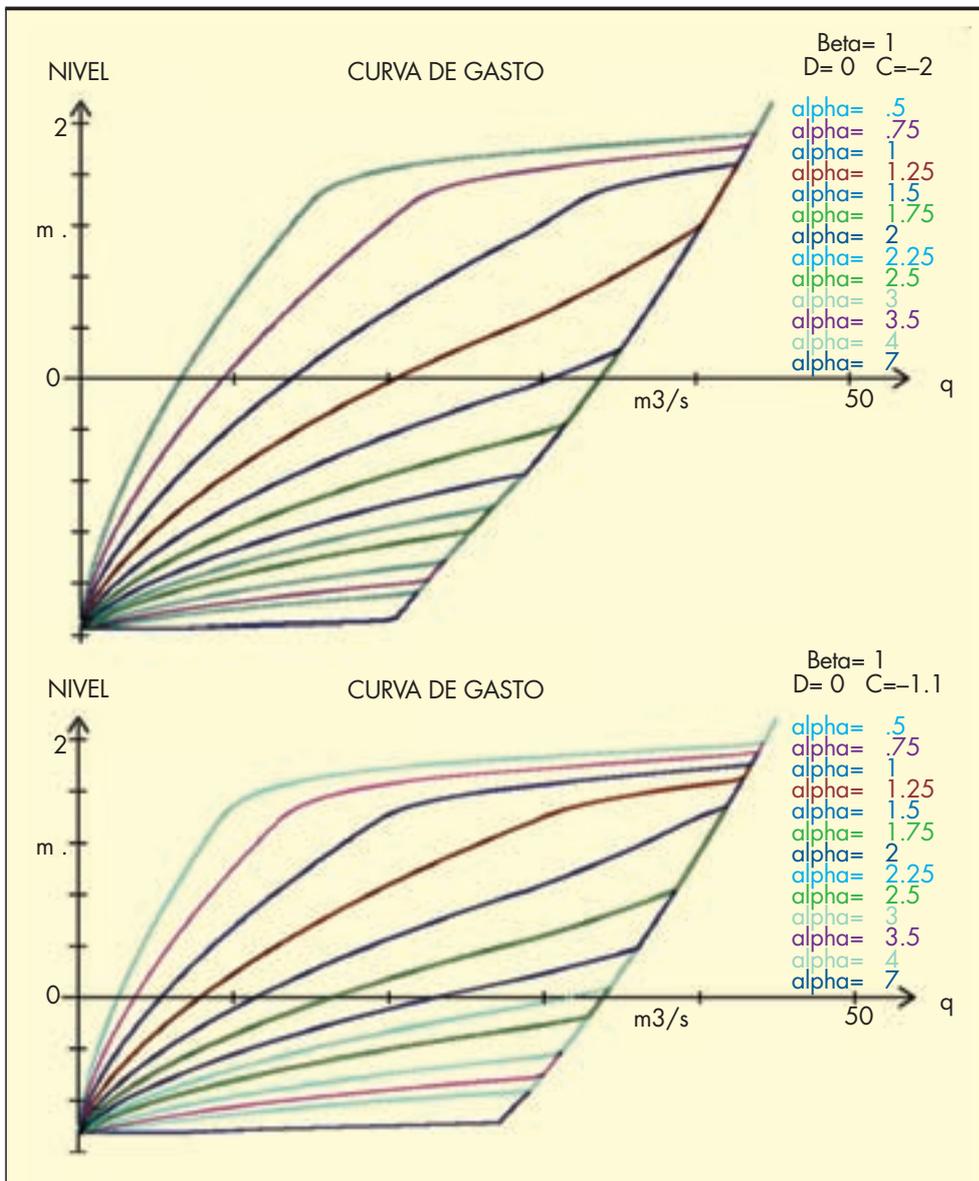


FIGURA 5. Curvas de gasto con cebado asegurado.

cebe el sifón. En esta situación el control funciona también por medio de las válvulas de V_1 y V_2 y la selección entre las bocas de salida a, b, c ó d, seleccionándose en forma similar entre distintas leyes de desagüe. La diferencia está en que ahora en el vaso la boca para entrada de aire que opera es la B_i y ésta está tan profunda y las bocas de salida a, b, c y d, tan altas respecto de ella que para poder extraer agua del vaso hace falta una depresión tan elevada que se consigue el efecto buscado, esto es que el agua del embalse ascienda por la entrada del sifón y vierta por encima de su umbral lo suficiente como para que el cebado del sifón (parcial o total según se haya regulado y haya evolucionado el nivel del embalse) se pueda mantener cuando se pare la bomba.

Una vez parada la bomba la familia de leyes de desagüe puede ser como la recogida en la Figura 5 y su detección teórica puede hacerse con las mismas consideraciones expuestas arriba sobre lo que sucede cuando se alcanza el equilibrio en el vaso con la boca B_s . Para mayores detalles puede consultarse [8] en la Bibliografía.

3. NEUTRALIDAD EN LA GESTIÓN NORMAL DEL EMBALSE

La gestión normal del embalse se plantea cuando éste se encuentra en su nivel normal de explotación o precisamente cuando por conveniencias de la gestión se ha desplazado ocasionalmente el nivel de embalse hacia más arriba o más abajo. Se pretende explicar aquí como puede reforzarse la seguridad de que el sifón no vierta (si no se desea así) cuando el embalse se sitúe por debajo del umbral del sifón.

Lo primero que conviene hacer notar es que si la válvula V_o está abierta la boca B_i es como si no existiese pues por ella no podrá entrar aire. En efecto, el mecanismo de regulación ya se ha explicado que lleva a que el nivel en el vaso o bien debe de estar ligeramente por debajo de la boca B_s para permitir la entrada de aire que se ajuste a la demanda (cebado parcial) o bien debe de estar por encima de B_s (cebado completo) y en cualquiera de los dos casos el nivel en el vaso está muy por encima de B_i , es decir esta boca está anegada y

por tanto ni permite ni puede permitir entrar aire y por ello no participa en la regulación.

Por lo que hace a la bomba, obviamente si se decide no manejarla nunca, es casi como si no existiera.

Basta pues con que un sifón del tipo de la Figura 4 tenga permanentemente abierta la válvula V_e y se vete el manejo de la bomba de cebado para que la gestión del embalse no difiera en nada de lo que se haría en una instalación con sifones como el de la Figura 2. Con la ventaja de que por supuesto las cosas que sí existen se pueden manejar si es conveniente aunque sea con las precauciones y limitaciones que luego se comentarán.

4. PREVENCIÓN FRENTE A MANEJOS ERRÓNEOS

Todo órgano de gestión es por definición susceptible de un manejo erróneo o lo que es peor mal intencionado. Así por ejemplo en muchas presas pueden abrirse compuertas o desagües de fondo en momentos poco apropiados, por lo que previsiblemente el gestor habrá tomado sus medidas de vigilancia y control para disminuir el riesgo de que se produzcan errores, y para que en caso de que se produzcan los perjuicios resultantes sean mínimos.

Naturalmente aquí corresponde hablar de los sifones capaces de sacar agua por debajo del umbral del embalse y nos referiremos a las medidas a adoptar especialmente ligadas a esa circunstancia. Vaya por delante que las medidas que se van a comentar serán más o menos adecuadas según la presa y situación concreta en que se planteen, y por ello deben entenderse como indicativas y no exhaustivas.

Para aminorar o eliminar los citados riesgos se debe partir de recordar que los sifones habitualmente se disponen en baterías con varios de ellos lo que permite además una actuación diferenciada. Algunas de las medidas a considerar son:

- Que solo algunos de los sifones sean susceptibles de funcionar con niveles inferiores a la cota de su umbral.
- Que aun dentro de los que van a funcionar por debajo de su umbral algunos lo puedan hacer a cotas inferiores a los otros.

Estas dos precauciones permiten limitar el caudal máximo que se puede evacuar por debajo del umbral y también:

- Que la bomba de cebado de los sifones sea única y que tenga que cebar sucesivamente a los distintos sifones en que vaya a operar. Así no habrá posibilidad de que un único error ponga en marcha varios sifones.
- La clausura de cada una de las válvulas V_e será desde luego independiente y vendrá enclavada por dos llaves, debiendo pues equivocarse dos personas.
- Que la bomba de cebado disponga de un temporizador que le corte el suministro eléctrico al cabo de un

tiempo prudencial desde su arranque (por ejemplo 15 minutos).

- Que el manejo de las válvulas V_e solo se pueda hacer desde la presa pero que si se estima necesario se pueda disponer de un enclavamiento controlado remotamente desde aguas abajo que haga necesaria una autorización externa.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha recibido financiación por el actual Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España, en el marco del proyecto “Mejora de la capacidad de desagüe de presas existentes mediante Aliviaderos en Sifón y aliviaderos en Laberinto”, 029/RN08/04.5.

6. REFERENCIAS

- [1] MATEOS, Cristóbal. “Aliviaderos en sifón”. En 2ª Jornada Técnica sobre Aliviaderos no Convencionales, Ed. SEPREM, Madrid, junio 2005.
- [2] MATEOS, Cristóbal, ELVIRO, Víctor, CORDERO, Dolores. “Mejora de la capacidad de desagüe de presas existentes mediante aliviaderos en sifón”. VIII Jornadas Españolas de Presas CNEGP-SPANCOLD, Córdoba, noviembre 2008.
- [3] MATEOS, Cristóbal, CORDERO, Dolores. “Aliviaderos con sifones regulados”. XXIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Cartagena de Indias, Colombia, septiembre 2008.
- [4] MATEOS, Cristóbal, CORDERO, Dolores. “Regulatable siphon spillway”. 23rd International Congress on Large Dams, Brasilia, Brazil, mayo 2009.
- [5] MATEOS, Cristóbal, CORDERO, Dolores. “Prevention of cavitation in siphons”. 33rd IAHR Congress, Vancouver, Canada, agosto 2009.
- [6] MATEOS, Cristóbal, ELVIRO, Víctor, CORDERO, Dolores, RAMOS, Tamara. “The limits of regulation in siphons”. The 78th ICOLD Annual Meeting, Hanoi, Vietnam, mayo 2008.
- [7] MATEOS, Cristóbal, ELVIRO, Víctor, CORDERO, Dolores, RAMOS, Tamara. “Regulación de Segundo orden en Sifones”. XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Punta del Este, Uruguay, noviembre 2010.
- [8] MATEOS, Cristóbal, ELVIRO, Víctor, CORDERO, Dolores, RAMOS, Tamara. “Extension of siphon operation range”. 34th IAHR World Congress, Brisbane, Australia, junio 2011.