

EXPLOTACION Y MANTENIMIENTO

HIDRAULICO

BOLETIN No. 144

Junio de 1988

En esta edicion:

Iniciativas del Bureau of Reclamation : Programa de Investigación de Válvulas de Aguja y Programa de Reemplazo de Válvulas de Aguja - Prólogo

El Bureau Reemplaza las Válvulas de Aguja, aumentando la Seguridad y Generando Ahorros

Investigación de las Válvulas de Aguja en las Instalaciones de Desagüe
Control de la Erosión de Suelos alrededor de los Aprovechamientos del Bureau, utilizando Especies Vegetales Selectas

Carpas Herbívoras - Una Técnica de Investigación que Produce Resultados

Como explotar una Presa en forma segura

Enfoque en la Presa de Upper Stillwater

Estudio de un Caso - la Presa de Webster - Deterioro de la Solera de Hormigón en la Caída del Aliviadero

**UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR
BUREAU OF RECLAMATION**

El Boletín de Explotación y Mantenimiento Hidráulico es una publicación técnica preparada por el Bureau of Reclamation para el uso de su personal y de grupos de usuarios de agua en el mantenimiento de instalaciones y plantas hidráulicas. El objetivo principal de este boletín es ofrecer pautas a las organizaciones que operan plantas hidráulicas mediante la diseminación hidráulica de las normas, criterios y directivas referentes a las prácticas de operación y mantenimiento aceptables para presas o estructuras de almacenamiento y derivación de agua, facilidades de transporte y otras instalaciones accesorias del Bureau of Reclamation.

A pesar de que se hacen todos los esfuerzos posibles para asegurar la exactitud y veracidad de la información presentada, el Bureau of Reclamation no garantiza ni se hace responsable por el uso, o mal uso, de la información que aparece en este Boletín.

* * * * *

Water Operation and Maintenance Branch
Division of Water and Land Technical Services
Engineering and Research Center, Code D-430
P.O. Box 25007
Denver, Colorado 80225, U.S.A.
Teléfono : (303) 236-8081 (FTS 776-8081)

Foto en la portada :
Se enfoca en esta edición
la Presa de Upper Stillwater,
Unidad de Bonneville,
Proyecto del Utah Central.

Toda información contenida en este boletín referente a productos comerciales no se puede usar con propósitos promocionales o publicitarios, y no se debe considerar como el respaldo del Bureau of Reclamation de ningún producto o compañía.

CONTENIDO

BOLETIN DE EXPLOTACION Y MANTENIMIENTO HIDRAULICO

No. 144

Junio de 1988

	<u>Página</u>
Iniciativas del Bureau of Reclamation : Programa de Investigación de las Válvulas de Aguja y Programa de Reemplazo de las Válvulas de Aguja - Prefacio	
El Bureau Reemplaza Válvulas de Aguja, Aumentando la Seguridad y Generando Ahorros	1
Investigación de las Válvulas de Aguja en las Instalaciones de Desagüe	11
Control de la Erosión de Suelos alrededor de los Aprovechamientos del Bureau utilizando Especies Vegetales Selectas	26
Carpas Herbívoras - Una Técnica de Investigación que Produce Resultados	37
Como explotar una Presa en forma segura	41
Enfoque en la Presa de Upper Stillwater	49
Estudio de un Caso - La Presa de Webster - Deterioro de la Solera de Hormigón de la Caida del Aliviadero	52

PROGRAMAS DEL BUREAU OF RECLAMATION
PARA LA INVESTIGACION DE LAS VALVULAS DE AGUJA
Y EL REEMPLAZO DE LAS VALVULAS DE AGUJA

PREFACIO

Los Programas de Investigación de las Válvulas de Aguja y de Reemplazo de las Válvulas de Aguja del Bureau of Reclamation se discuten en los dos artículos presentados a continuación.

El primero, titulado "El Bureau of Reclamation Reemplaza las Válvulas de Aguja, Aumentando la Seguridad y Generando Ahorros", ofrece un vistazo general de ambos programas, presentando los problemas y los pasos a seguir para intentar solucionarlos.

El segundo, titulado "Investigación de Válvulas de Aguja en las Instalaciones de Desagüe" discute los resultados de una investigación que incluyó 47 válvulas de aguja en 20 presas. Contiene una discusión técnica de las condiciones de las válvulas de aguja existentes, las razones de su falta de confiabilidad y las modificaciones necesarias para reducir los riesgos hasta que puedan ser reemplazadas.

EL BUREAU OF RECLAMATION REEMPLAZA LAS VALVULAS DE
AGUJA, AUMENTANDO LA SEGURIDAD Y GENERANDO AHORROS

por

Carol DeAngelis (1)

En calidad de Directora del Programa de las Válvulas de Aguja "yo estimo que nos hemos enfrentado a una situación potencialmente peligrosa, la hemos tratado inmediatamente para disminuir los riesgos, y hemos dado con una solución a largo plazo de poco costo

Los Programas de Investigación y Reemplazo de las Válvulas de aguja del Bureau of Reclamation han mejorado la seguridad para sus operadores y aumentado la seguridad funcional de las instalaciones de desagüe con un apreciable ahorro de costos.

En los distritos bajo su jurisdicción, el Bureau ha estado reemplazando todas la válvulas de aguja hidráulicas activadas por agua. Este reemplazo de válvulas anticuadas viene siendo el resultado de una extensa investigación sobre la operación de las válvulas de aguja. El Programa de Reemplazo de las Válvulas de Aguja fue iniciado con el fin de reemplazar estas válvulas dentro de un plazo de cinco años.

En enero de 1984, una válvula de aguja se reventó (fotos 1 y 2) en la presa de Bartlett en el estado de Arizona en el momento en que el operador trataba de reducir el caudal que pasaba por la válvula. Este accidente causó la muerte del operador.

La División de Servicios Técnicos de Aguas y Tierras se apresuró en dar notificación de este accidente a los operadores de semejantes válvulas en todas las instalaciones del Bureau y advertirles que siguieran cuidadosamente las instrucciones de operación. Asimismo, se les pidió una descripción del estado actual de cada válvula de aguja y también detalles sobre cualesquier problemas de operación que hubiesen encontrado fuera de lo normal. Las respuestas demostraron la necesidad de realizar extensas investigaciones sobre el material y las operaciones. Así se inició el Programa de Investigaciones de las Válvulas de Aguja del Bureau of Reclamation.

Estas investigaciones revelaron que el manejo y el mantenimiento de las válvulas eran complejos y costosos, y que dichas válvulas presentaban riesgos para el operador. Fue necesario realizar modificaciones a las válvulas de aguja existentes para reducir estos riesgos hasta que se pudiera efectuar su reemplazo

(1) Ingeniera Civil en el Centro de Ingenieria e Investigaciones del Bureau of Reclamation en Denver, Colorado, EE.UU.

Se dio otro empuje al Programa de Investigaciones de las Válvulas de Aguja el 5 de diciembre de 1984, cuando el movimiento errático de una válvula de aguja causó la rotura de una conducción forzada en una planta no Federal. Este accidente ocasionó la muerte de cuatro empleados en dicha instalación.

Este accidente y el que se mencionó más arriba, fueron causados por aire atrapado en las cámaras de operación de las válvulas debido a errores cometidos por los operadores. Por consiguiente, el objetivo del Programa de Investigaciones de Válvulas de Aguja era el de reducir las situaciones de confusión y de posible mala operación que pudieran contribuir a poner en peligro al operador.

Se realizaron cursillos sobre el manejo de las válvulas de aguja para instruir a los operadores sobre las características de las válvulas, la posibilidad de riesgos a consecuencia de un manejo inadecuado, los signos de problemas de manejo y las modificaciones propuestas para reducir los riesgos para los operadores. Estas modificaciones incluirían la instalación de sistemas de ventosas automáticas para asegurar que las cámaras de accionamiento de las válvulas se mantuvieran siempre llenas de agua, con la eliminación de ciertos materiales existentes, los que, mal manejados, podrían ocasionar evacuaciones de agua de las cámaras de accionamiento.

El análisis de varios diseños de las válvulas de aguja demostró que sus conceptos iniciales eran válidos; sin embargo, estas válvulas son consideradas ahora como obsoletas en cuanto a requerimientos de mantenimiento y posibilidad de accidentes debido a errores del operador. Vern Yokom, encargado de la iniciativa de la Investigación de las Válvulas de Aguja, hizo el siguiente comentario: "Los distintos diseños de válvulas de aguja eran originales y sirvieron para el fin al que estaban destinados por un período de 40 a 70 años. Cumplieron con el intento original de proveer para las instalaciones de desagüe una válvula de grandes dimensiones que funcionara sin utilizar energía eléctrica." Se utilizaban estas válvulas de accionamiento hidráulico en lugares remotos endonde la transmisión de electricidad no era considerada factible en aquellos tiempos.

En el transcurso de 40 a 70 años, el Bureau diseño 68 válvulas de aguja que fueron instaladas en 24 presas. Las investigaciones locales sobre el funcionamiento de estas válvulas demostraron que un 49 por ciento de las mismas ya no funcionaban y un 20 por ciento funcionaban con limitaciones. Un 31 por ciento de las válvulas habían sido desmontadas y reemplazadas antes de la investigación. Pruebas realizadas in situ por el grupo de investigadores demostraron que las válvulas eran inseguras debido a su difícil funcionamiento, al largo tiempo de inutilización a causa de las extensas reparaciones requeridas para su mantenimiento, y a la falta de comprensión de su

complejo funcionamiento interno. Frente a estas dificultades, se les había ocurrido a ciertos operadores cambiar el procedimiento de operación o modificar el equipo para forzar el funcionamiento de válvulas problemáticas. En la mayoría de las instalaciones, los manuales de instrucciones no mencionaban estos cambios en los procedimientos de operación, ni tampoco las modificaciones realizadas sobre las válvulas, una falta que, en muchos casos, aumentaba la posibilidad de errores por parte del operador. La inseguridad de estas válvulas también presenta graves problemas en caso de tener que efectuarse un desagüe de emergencia en un embalse.

Los costos para restaurar las válvulas según sus especificaciones de proyecto y para llevar a cabo un programa de mantenimiento preventivo aceptable serían extremadamente altos. Algunas de las instalaciones de válvulas de aguja no se prestarían al desmonte o reacondicionamiento para fines de mantenimiento y, en casi todos los casos, el acceso a las válvulas representaría gastos suplementarios. Los costos prohibitivos de programas de mantenimiento a largo plazo, indispensables para poder seguir utilizando esos equipos anticuados, ha justificado su reemplazo con equipos modernos.

El 17 de mayo de 1985, el Comisario del Bureau of Reclamation determinó que las válvulas de aguja hidráulicas, debido a su complejo funcionamiento y mantenimiento, y posibles riesgos para los operadores, tenían que ser reemplazadas para fines del año fiscal de 1991. Las modificaciones a las válvulas de aguja existentes, antes mencionadas, no representan más que medidas de emergencia hasta que se puedan reemplazar las válvulas. Se vienen preparando informes sobre la investigación de las válvulas de aguja para cada instalación junto con un análisis individual de cada válvula, dibujos indicando las nuevas modificaciones y cualesquier cambios del sistema de mando, instrucciones revisadas y una fecha recomendada para la realización de las modificaciones. Al completarse las modificaciones, las válvulas son sometidas a nuevas pruebas y evaluaciones de su condición y funcionamiento. Se permitirá el uso de estas válvulas modificadas hasta que sea posible reemplazarlas.

Bajo el Programa de Reemplazo de Válvulas de Aguja, se ha decidido reemplazar las válvulas de aguja con compuertas de chorro para reducir el número de modificaciones a realizar sobre las obras estructurales. Las características del caudal que sale por estas compuertas y el que pasa por las válvulas de aguja son similares. Debido a esta similitud, los disipadores de energía o los canales de descarga requieren muy poca, o ninguna, modificación. Los coeficientes de descarga de las compuertas de chorro son más eficientes que los de las válvulas de aguja. Por lo tanto, una válvula de aguja reemplazada por una compuerta de chorro del mismo tamaño descargaría más agua. Esta flexibilidad ha permitido agrupar una multitud de válvulas de distintos tamaños en solamente cinco tamaños de compuertas de chorro. Este agrupamiento permite

hacer pedidos en grandes cantidades de un solo tamaño de compuerta con una economía considerable de costos (aproximadamente un 30 por ciento) en comparación con la compra de compuertas por separado para cada presa. En la mayoría de los casos, la instalación de compuertas de chorro requiere muy poca, o ninguna, modificación estructural de las caseta de las válvulas.

El mantenimiento de las válvulas de aguja (utilizando un programa específico durante 50 años) se estima costaría cerca de un 40 a 60 por ciento por encima de los costos totales de sacar y reemplazar las válvulas y de mantener las compuertas de chorro durante 50 años.

Los costos de mantenimiento de las compuertas de chorro son mínimos, tal y como lo ha demostrado la experiencia en un aprovechamiento del Bureau. basado en más de 40 años de servicio.

Se prepararon por separado las especificaciones de fabricación e instalación para efectuar los reemplazos, facilitándose así una instalación oportuna y económica. En el primer contrato para la adquisición de ocho compuertas de chorro de 152 centímetros de diámetro, se ahorró un estimado de 30 por ciento por compuerta en comparación con la compra individual de compuertas para cada una de las cuatro presas. Se anticipa que el segundo contrato para la adquisición de once compuertas de chorro de 122 centímetros reflejará ahorros parecidos. Al mismo tiempo que se fabrican las compuertas, se preparan por separado las especificaciones para la instalación de las compuertas en cada planta.

Se han reemplazado las válvulas de aguja en la presa de Pathfinder en el estado de Wyoming (fotos 3 a 7, inclusive) y en la presa de Echo en Utah (fotos 8 a 12, inclusive). Se anticipa que todas las válvulas de aguja activadas por agua del Bureau serán reemplazadas finalmente para el año fiscal de 1991.

Estos programas han generado interés por parte de entidades no Federales en varios estados y países que utilizan válvulas de aguja activadas por agua. El Bureau ha advertido a estas organizaciones tocante a los problemas encontrados. Las válvulas de aguja en cada uno de los aprovechamientos del Bureau eran diferentes y se investigaron individualmente. Por lo tanto, sería erróneo suponer, sin más investigación, que las válvulas de aguja en las instalaciones del sector privado son similares a las del Bureau. Sin embargo, los procedimientos generales de funcionamiento, considerados críticos para una operación segura de las válvulas, han sido comunicados a estas organizaciones para ayudarles en sus propias investigaciones. El Bureau se complace en compartir su experiencia y conocimientos en esta área.

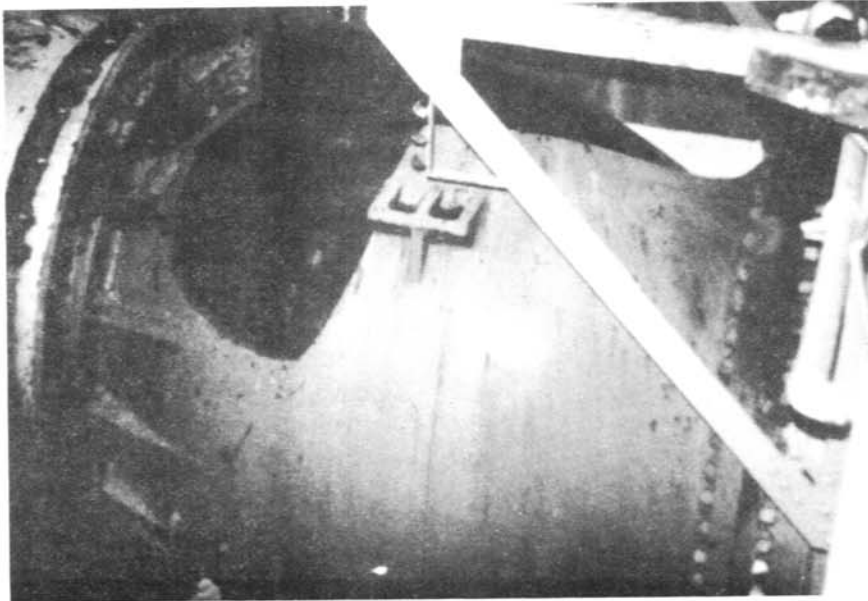


Foto 1.--
Presa de Bartlett
Arizona

Válvula de aguja de
168 cm, después de
reventarse. Se
arrojaron grandes
secciones del cuerpo
de la válvula

10/1/84

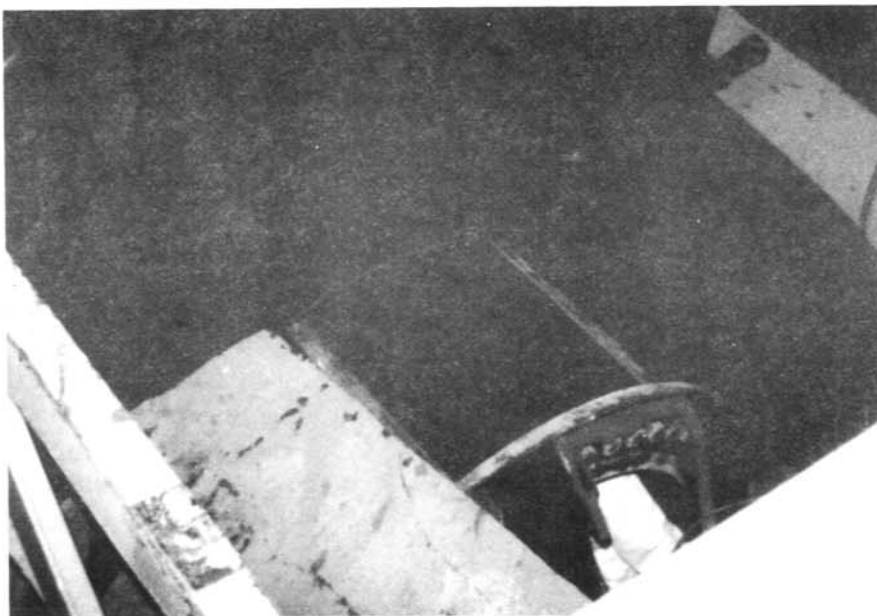


Foto 2.-
Presa de Bartlett
Arizona

Vista por encima de
la reventada válvula
de 168 cm. El
forro de la válvula
consiste de medio-
acero de 5 cm de
espesor. El puesto del
operador estaba
directamente por
encima del roto de
la apertura.

10/1/84



Foto 3.-
Presa de Pathfinder
Wyoming

Vista por encima de
una válvula de aguja
de 147 cm. La parte
frontal del cuerpo de
la válvula se viene
sacando con gatos
mecánicos e hidráulicos

4/12/84

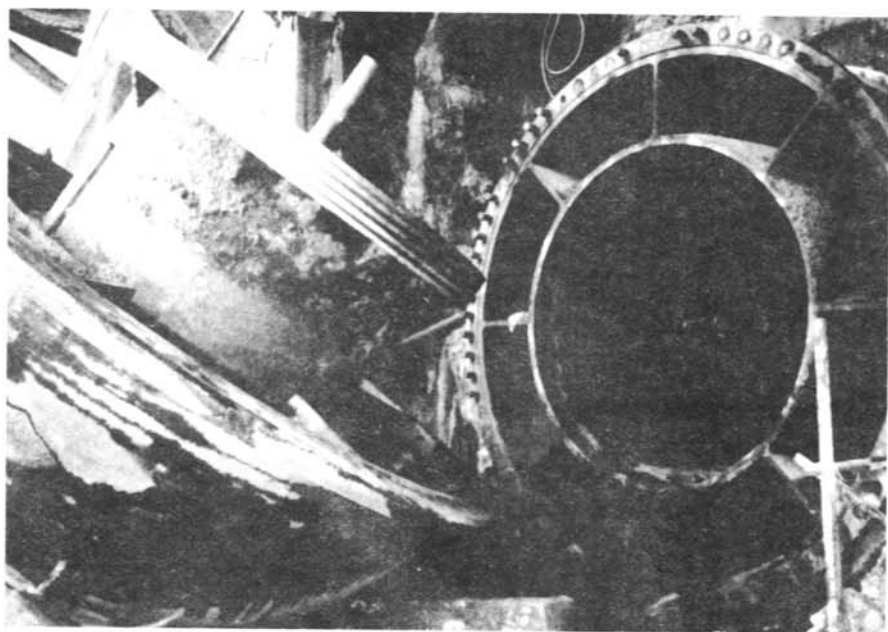


Foto 4.-
Presa de Pathfinder
Wyoming

Válvula de aguja de
147 cm.
El resto de la válvula,
después de removerse
la aguja y la parte
frontal del cuerpo
de la válvula. Nótese
la condición de las
superficies interiores
de la válvula.

4/12/84

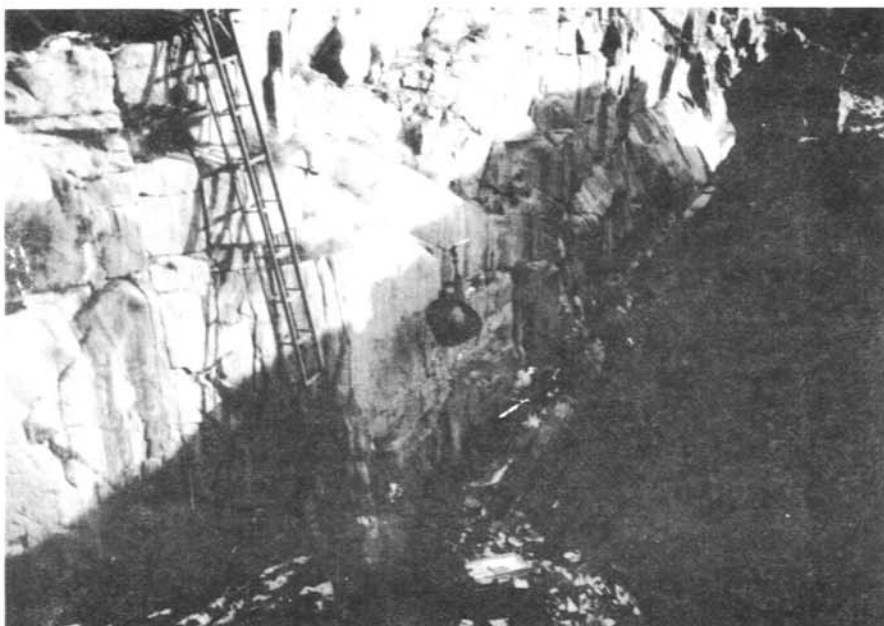


Foto 5.-
Presa de Pathfinder
Wyoming

Se remueve la parte frontal del cuerpo de la válvula y la aguja, indicados en la foto 4. Esta pieza pesa unas 17 toneladas.

4/12/86

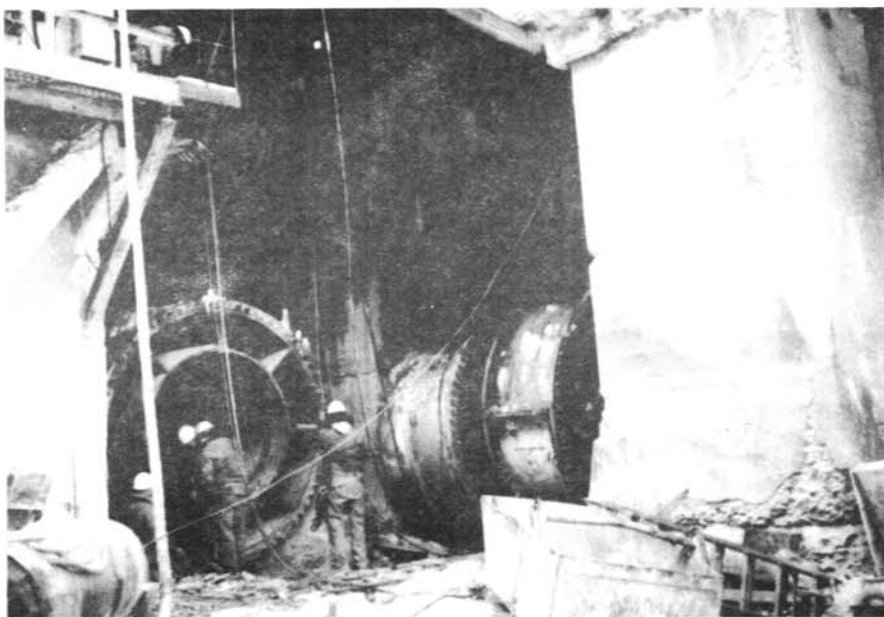


Foto 6.-
Presa de Pathfinder
Wyoming

Removida en progreso de la válvula de aguja de 147 cm. Se tuvo que despegar la parte central del cuerpo de la válvula (al fondo) para poder sacarla.

6/1/87



Foto 7.-
Presa de Pathfinder
Wyoming

Se remueve la parte central del cuerpo de la válvula. Esta pieza pesaba casi 12 toneladas. El peso total de una de las válvulas ascendía a más de 44 toneladas.

10/1/87

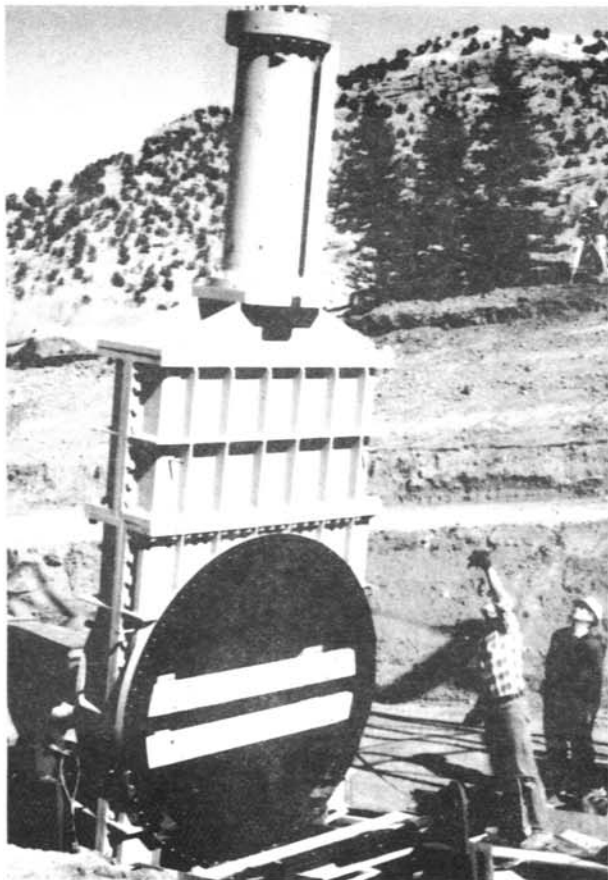


Foto 8.-
Presa de Echo
Utah

Paramento aguas abajo de una compuerta de chorro de 152 cm, al sacarla de su caja de embarque.

29/10/86

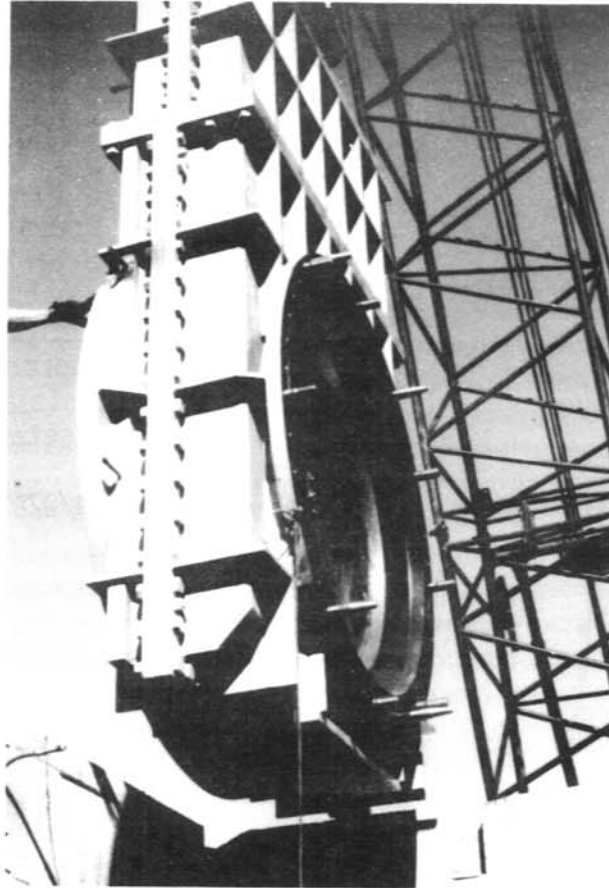


Foto 9.-
Presa de Echo
Utah

Fachada de aguas
arriba de una
compuerta de
chorro, al bajarla
en la caseta de
la válvula.

29/10/86

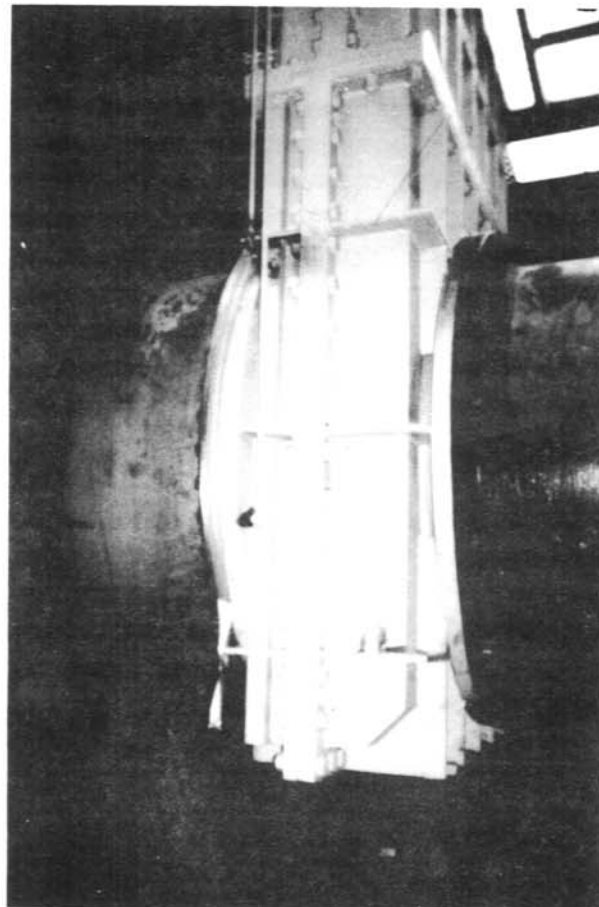


Foto 10.-
Presa de Echo
Utah

Compuerta de chorro
de 152 cm, instalada.
Esta compuerta
reemplazó una válvula
de aguja de 152 cm.
Nótense las extensiones
de tubería que llevan
la descarga de la
compuerta a través
de la pared.

24/2/87

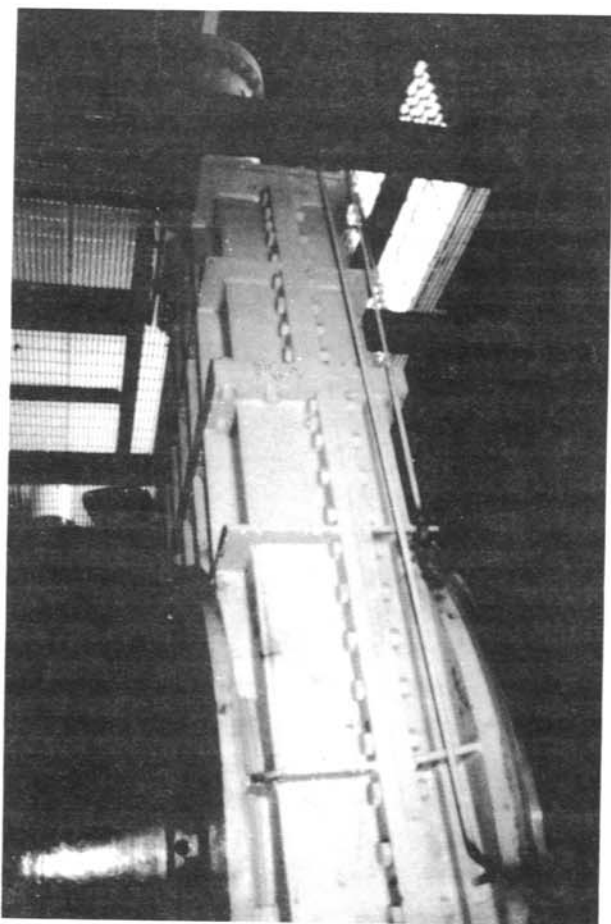


Foto 11 -
Presa de Echo
Utah

Compuerta de
chorro de 152 cm
instalada en la
caseta existente.

24/2/87

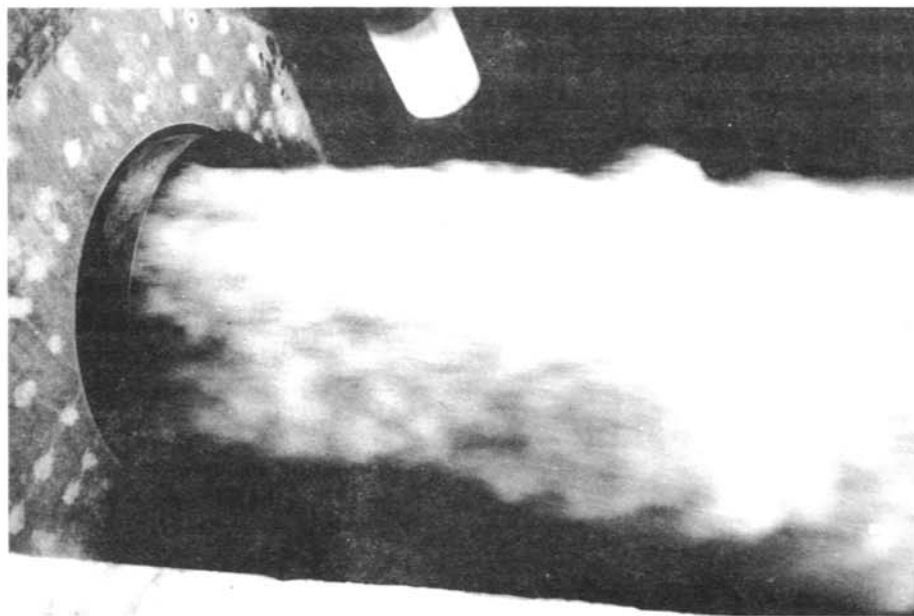


Foto 12.-
Presa de Echo
Utah

Funciona totalmente
abierto una compuerta
de chorro de 152 cm

24/2/87

INVESTIGACION DE LAS VALVULAS DE AGUJA EN INSTALACIONES DE DESAGÜE

por

Vern Yocom

La evolución de las técnicas modernas, las modificaciones indebidas y la antigüedad hacen que las válvulas de aguja del Bureau of Reclamation, instaladas desde hace más de 40 a 70 años, sean peligrosas para sus operadores. Por consiguiente, el Comisario del Bureau of Reclamation ha mandado su reemplazo para el año de 1991.

El presente artículo contiene detalles completos sobre el programa de investigaciones sobre las válvulas de aguja en respaldo de la decisión del Comisario de reemplazarlas. Las condiciones observadas en los emplazamientos de las válvulas de aguja han revelado numerosas situaciones que se prestan para errores por parte del operador y para consecuentes fallos de las válvulas de aguja.

Los Boletines Nos. 116 y 139 asimismo contienen información tocante a estas válvulas.

Introducción

El 7 de enero de 1984, un válvula de aguja de 168 cm de diámetro, instalada en las obras de desagüe de una presa del Bureau of Reclamation, se reventó en el momento en que los operadores cambiaban el caudal de descarga. El fallo de la válvula resultó en la muerte del encargado de la presa. Se atribuyó el fallo a una válvula de desagüe que había quedado abierta entre la tubería de cuello de ganso y el mando paradox, permitiendo que se vaciaran las cámaras de accionamiento del interior de la válvula de aguja. La presencia de aire en las cámaras de accionamiento fue lo que causó la rotura de la envoltura de la válvula de aguja por violenta agitación de la aguja.

El 5 de diciembre de 1984, cuatro empleados en una presa de dominio privado perdieron la vida cuando una conducción forzada se rompió. La rotura de esta conducción fue causada por presiones transitorias provocadas por un movimiento errático de la válvula de aguja, cuyo movimiento se debía a la presencia de aire en las cámaras de accionamiento que no disponían de un buen sistema de ventosas.

(1) Ingeniero Mecánico en el Centro de Ingeniería e Investigaciones del Bureau of Reclamation en Denver.

Por ser que el Bureau of Reclamation cuenta con 23 presas equipadas con válvulas de aguja para sus correspondientes instalaciones de desagüe, se inició una inmediata investigación bajo la dirección de Joseph L. Miller, Jefe de la División de Servicios Técnicos de Tierras y Aguas en Denver, Colorado. Un equipo investigador de técnicos especializados en diseños mecánicos e hidráulicos fue formado para investigar cada instalación con respecto a sus antecedentes de funcionamiento, mantenimiento, modificaciones, mal funcionamiento, y cualquier otra anomalía que existiera. Un examen de los documentos de proyecto reveló que el Bureau había instalado 68 válvulas de aguja, variando en tamaño de 25 a 218 centímetros de diámetro, en 23 presas. Entre éstas, 21 válvulas habían sido eliminadas o reemplazadas en el transcurso de los años, en conjunto con otras modificaciones. Las 47 válvulas de aguja restantes fueron examinadas y, en donde era posible, el equipo investigador realizó pruebas de funcionamiento en 1985 y 1986. Las inspecciones in situ revelaron 14 válvulas útiles y 33 que no servían por distintas razones, las que se discutirán más adelante en este artículo. No obstante las 14 válvulas consideradas como "operables", se observaron en todas las instalaciones deficiencias que requerían modificaciones.

Antes de realizarse esta investigación, el funcionamiento de las válvulas de aguja se graduaba en una gama descendente, yendo de bueno a poco seguro. En general, entre mayor el grado, mejor habría sido el mantenimiento de la válvula. Pero esto no es siempre cierto puesto que la calidad del agua y otros factores pueden influir de manera significativa sobre el grado de mantenimiento requerido para estas válvulas de accionamiento hidráulico. Los resultados de las investigaciones refuerzan esta declaración, dando más evidencia sobre el peligro para el personal operador debido a errores de manejo.

El Comisario del Bureau of Reclamation, basándose en los resultados de la investigación de las válvulas de aguja, ha ordenado el reemplazo de todas las válvulas de aguja para fines del año fiscal de 1991. Se han realizado en cada instalación del Bureau modificaciones de emergencia en las válvulas de aguja, junto con la presentación de cursos de formación para el personal operador y la distribución de instrucciones de operación más pertinentes, con el fin de reducir el riesgo para los operadores hasta que se puedan realizar los reemplazos.

Antecedentes

La evolución de las válvulas de aguja del Bureau of Reclamation empezó con la invención de la válvula de aguja Ensign en 1908 por O.H. Ensign, entonces Ingeniero en Jefe del Bureau. La figura 1

la tubería de descarga. Las distintas partes de la válvula comprenden un cilindro estacionario llamado el cuerpo, un émbolo cilíndrico hueco con una punta de aguja y un anillo sellador en su extremidad aguas abajo, un anillo de soporte acostillado que mantiene la válvula en posición frente a la tubería de descarga y forma el asiento, y una extensión de desagüe revestida conectada a la tubería. Como a la mitad del diámetro exterior del émbolo, existe un arreglo de pistón-anillo, llamado anillo de presión, adaptado al cilindro estacionario. Suele montarse la válvula Ensign en el paramento aguas arriba de la presa, por debajo del nivel del agua, para que funcione completamente sumergida. El agua corre entre las costillas de soporte, y la forma de la punta de la aguja asegura su derivación hacia el conducto de descarga. El caudal se regula al variar la posición del émbolo. El anillo de presión se adapta al cilindro con suficiente espacio para equilibrar la presión en el interior y exterior del cilindro al cerrarse una válvula en la tubería de control. Con la presión así equilibrada, el émbolo se moverá a la posición cerrada porque el área atrás del émbolo, expuesta a la presión, es de mayor tamaño que el área efectiva de la punta de la aguja. Al abrirse la válvula en la tubería de control, se reduce la presión en el cilindro. La presión desequilibrada hace entonces que se retire la aguja, abriéndose la válvula y permitiendo la descarga del agua. Las válvulas de tipo Ensign no daban completa satisfacción, debido en parte a la erosión por cavitación, que dañaba la punta de la aguja y la extensión revestida, y en parte por tenerse que bajar el

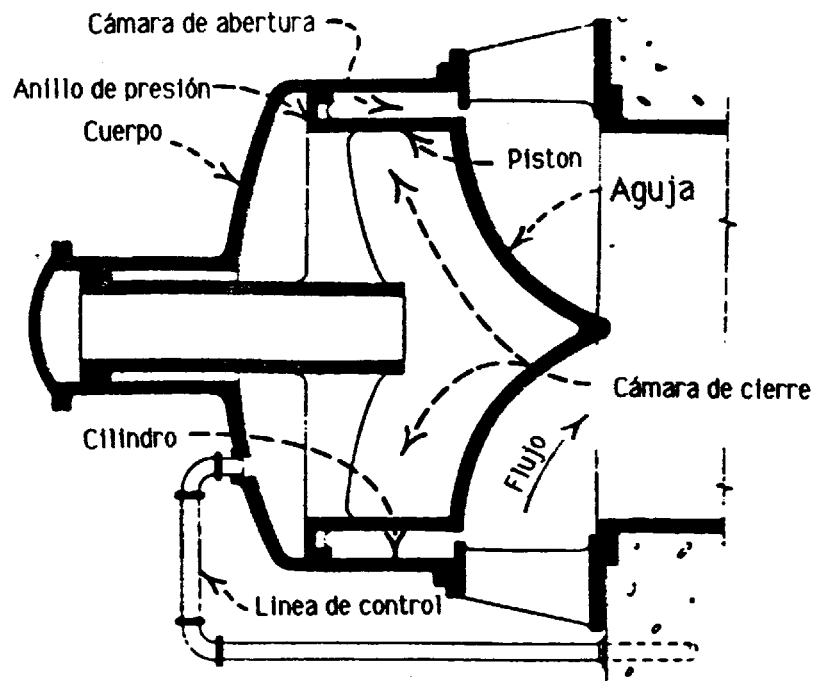


Figura 1.- Válvula Ensign (equilibrada)

nivel de agua del embalse para alcanzar la válvula para efectuar trabajos de mantenimiento o reparaciones.

La válvula de aguja para uso en las instalaciones de desagüe de los embalses fue elaborada en los años de 1915-20, en un intento para sobreponerse a las dificultades que presentaban las válvulas Ensign. Se diseñaron válvulas de aguja que funcionaran en la extremidad aguas abajo de la tubería, donde era posible la descarga al aire libre, eliminándose así la posibilidad de cavitación en el interior de la tubería y de otros perjuicios a la presa. Una evolución considerable venía ocurriendo en el diseño de las válvulas de aguja, puesto que con cada diseño nuevo se intentaba mejorar las características hidráulicas de la válvula, ya sea para reducir su tamaño o su costo. A pesar de las múltiples modificaciones de proyecto, una válvula de aguja suele ser esencialmente un cuerpo globular, que soporta y encierra un cilindro estacionario, y se adapta a una aguja movable que efectúa el cierre. Un pasaje anular de agua rodea la aguja y el cilindro. El movimiento de la aguja, que regula el caudal, ocurre con el cambio de la presión del agua en el interior del cilindro hueco, al igual que con la válvula Ensign. El diseño de la válvula de aguja es tal que sirve para guiar el caudal uniformemente a través de la misma. La figura 2 representa el diseño original de una válvula de aguja, o sea una válvula de aguja equilibrada.

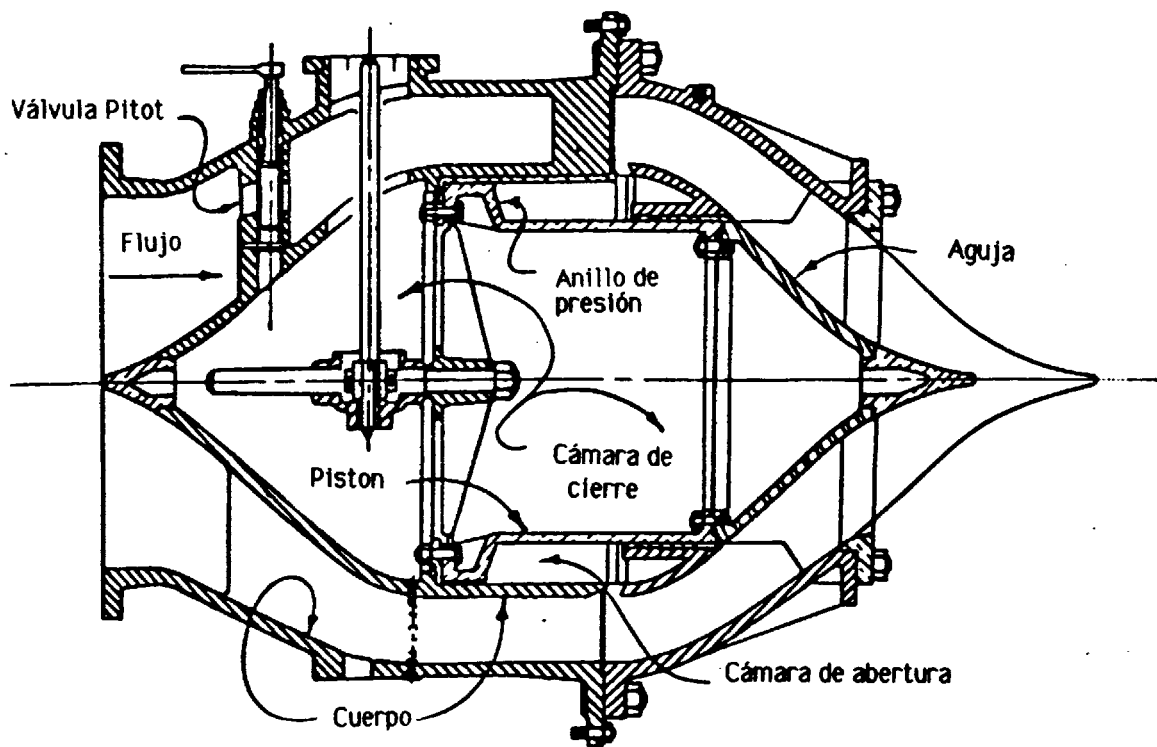


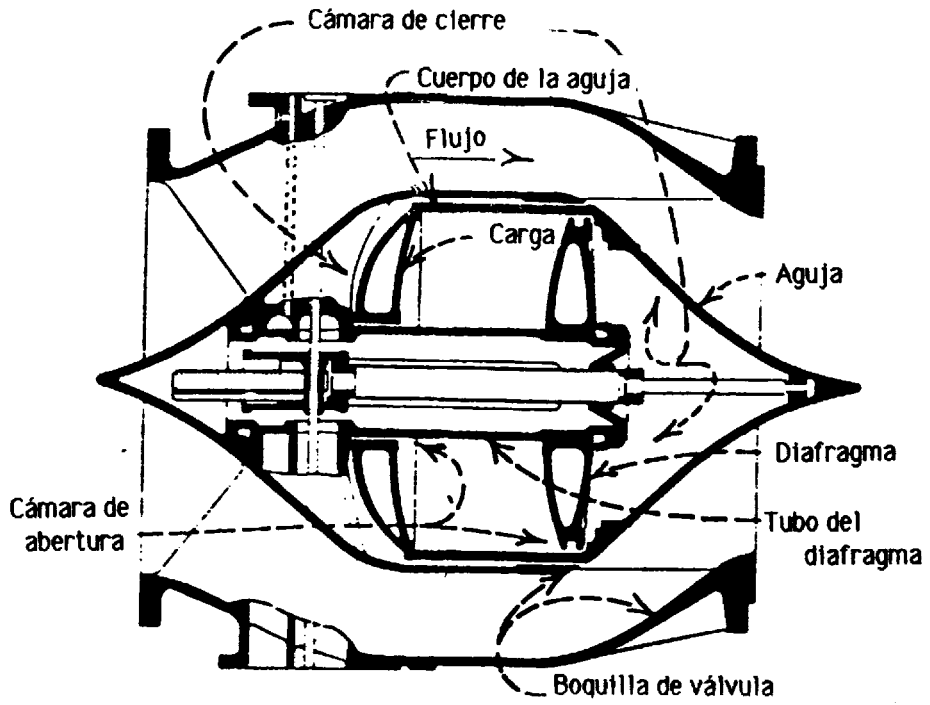
Figura 2.- Válvula de aguja equilibrada

La válvula funciona por medio de la regulación de la presión en el cuerpo interior. El interior del cuerpo de la válvula y el interior del conjunto de la aguja-pistón forman una gran cámara de agua (cámara de cierre). El agua penetra en la cámara de cierre por medio de un escurrimiento de proyecto que se produce alrededor del anillo de presión y a través de la válvula Pitot situada en un tubo partidador del cuerpo de la válvula. El equilibrio de la aguja se controla al reducir el flujo que sale de la cámara de cierre. El dispositivo de regulación o unidad de control suele montarse encima del cuerpo de la válvula de aguja y consiste en dos mangas concéntricas. Se hace girar una de las mangas al mover la rueda de mano del control y los movimientos de la aguja giran la otra manga. Se regula el caudal por medio de aberturas de solape dispuestas en estas mangas.

Las figuras 3 y 4 representan diseños de válvulas de aguja del primer tipo de válvula equilibrada mencionado más arriba. El concepto fundamental de la diferencia de presión para mover la aguja permanece válido; sin embargo, el mayor cambio consiste en suministrar a las cámaras de accionamiento un abastecimiento de agua bajo presión que provenga de una fuente exterior. El diseño del "Diferencial Interno" indicado en la figura 3 muestra que el movimiento de la aguja ocurre en el interior, o sea, localizado en el cuerpo de la válvula y la boquilla. El diseño del "Diferencial Interior" de la figura 4 muestra el movimiento de la aguja como ocurriendo por encima y en el interior de la extensión del cuerpo.

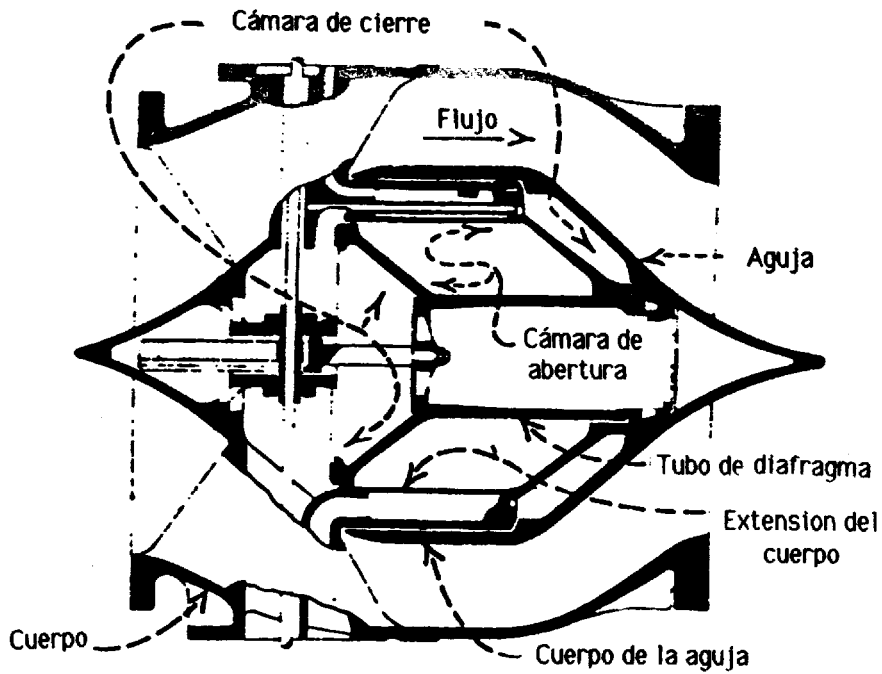
Investigación

Después del fallo de una válvula de aguja el 7 de enero de 1984, y de otro fallo de una válvula similar que ocurrió posteriormente en una planta de dominio privado, casos mencionados más arriba, el Bureau of Reclamation inició el Programa de Investigación de las Válvulas de Aguja. Todos los operadores de presas equipadas con válvulas de aguja recibieron notificación del incidente y se les advirtió cumplir con las instrucciones de operación correspondientes a cada válvula de aguja. Se les pidió información sobre cada instalación en cuanto al estado actual de las válvulas (ya sea, operables, inoperables, suprimidas, o reemplazadas), así como cualquier problema de funcionamiento fuera de lo normal; las hojas de servicio sobre los trabajos de mantenimiento anteriores; y las instrucciones de operación existentes. En base a un análisis preliminar de la información recibida, quedó evidente que se disponía de muy pocos conocimientos sobre los aspectos intrincados del diseño de las válvulas de aguja y sobre las ramificaciones de las modificaciones a realizar sobre los sistemas de accionamiento.



Válvula de aguja diferencial interna.

Figura 3.- Válvula de aguja diferencial interna.



Válvula de aguja diferencial interior.

Figura 4.- Válvula de aguja diferencial interior.

Se inició otra investigación de mayor envergadura, la cual incluía inspecciones en los sitios y pruebas del funcionamiento de cada válvula de aguja que los miembros del grupo investigador habían de realizar. Se decidió también que dicho grupo ofrecería una formación bien detallada al personal operador para reducir las posibilidades de errores humanos. Debido a que se trataba de válvulas de aguja que llevaban ya de 40 a 70 años de servicio, se carecía de datos técnicos sobre el diseño de las mismas. Para lograr los objetivos antes mencionados, la primera iniciativa del grupo fue la de examinar las características de diseño de las válvulas de aguja.

Sencillamente, la configuración normal de todas las válvulas de aguja dispone el eje de la válvula en una trayectoria directa con el eje de la tubería de salida. Las partes activas se encuentran en el centro de la válvula situada a lo largo del eje y están conectadas al cuerpo exterior por costillas. El cuerpo debe ser suficientemente amplio para formar un pasaje de agua entre las partes internas y el cuerpo, y luego reducirse gradualmente hacia el asiento en la extremidad aguas abajo. El elemento de control móvil se denomina una aguja, por ser que la extremidad aguas abajo se afina en una punta (figuras 1, 2, 3, y 4). La aguja queda pegada contra el asiento del cuerpo para cortar el caudal y se mueve en sentido aguas arriba para dar paso al flujo. El agua, contenida en las cámaras en el interior de la válvula y que actúa sobre los émbolos o pistones, regula el movimiento de la aguja. Existe una válvula o unidad de control para regular los flujos de entrada y salida de las cámaras.

Una rueda de mano y los movimientos de la aguja sirven para activar la unidad de control. Dándose vuelta a la rueda de mano, la unidad de control se activa para mover la aguja en el sentido deseado. El movimiento de la aguja hace volver la unidad de control a una posición neutra, o bien a una posición de equilibrio hidráulico en el interior de las cámaras de accionamiento de la válvula de aguja. Si la aguja se desvía de la posición establecida, el control actúa para restablecer el equilibrio de la aguja. La disposición de las cámaras varía para cada tipo de válvula y existen hasta más variaciones entre las unidades de control, pero este principio general de funcionamiento corresponde a todas las válvulas de aguja.

Por lo discutido más arriba, es evidente que las válvulas de aguja son válvulas hidráulicas activadas por agua y que el movimiento de la aguja depende de la creación de una adecuada presión diferencial en el interior de las cámaras de accionamiento. Un estudio de la disposición de las cámaras en toda clase de válvulas de aguja activadas por agua ha revelado que los proyectistas habían dispuesto una fuerza mayor para cerrar la aguja que para abrirla. Algo que

no figuraba en las consideraciones de proyecto, pero que agrega a la fuerza del cierre, viene siendo la presión subatmosférica creada por la descarga del agua y que actúa sobre la aguja. Esto ocasiona frecuentes dificultades con las válvulas, más bien en el ciclo de apertura que en el ciclo de cierre. En todas estas válvulas, la aguja está sostenida en una posición intermedia solamente por el equilibrio de las fuerzas hidráulicas y la carga de fricción sobre la misma. No se mantiene la posición en forma positiva, como sería el caso con una válvula mecánica, sino que la posición está influenciada por cualquier condición que perturbe el equilibrio de las fuerzas hidráulicas.

Un funcionamiento seguro de las válvulas de aguja depende de varias condiciones (véase la figura 5).

1. El mantenimiento de las tolerancias de proyecto entre la válvula de aguja y las superficies deslizantes. La acumulación de incrustaciones sobre las superficies de bronce aumenta la presión diferencial requerida para el movimiento de la aguja a tal grado que la válvula ya no funciona. Asimismo, si el despeje es demasiado grande, las fugas de las cámaras de accionamiento podrían exceder la capacidad del depósito de agua, lo que vuelve las válvulas inutilizables.
2. La condición de la unidad de mando (paradox) es igualmente crítica para un funcionamiento correcto. Las superficies deslizantes del forro de control y del pistón deben mantenerse en las tolerancias especificadas. El deterioro permite que un exceso de fugas de agua penetre, o salga, o pase entre las cámaras de las válvulas. Cuando esto sucede, las fugas no pasan por el pistón y se van directamente al dren, sin penetrar en las cámaras de accionamiento de las válvulas. El volumen de agua disponible para el funcionamiento de las válvulas queda reducido por el volumen de las fugas. Asimismo, en ciertos casos, las fugas que penetran en una cámara pueden causar un exceso de agua, reduciendo la presión diferencial lo suficiente para ocasionar un funcionamiento inadecuado.
3. La acumulación de materias orgánicas entre las superficies del forro de control y del pistón del mando paradox de las válvulas internas e interiores (figuras 3 y 4), y las dos mangas concéntricas de la unidad de control (regulación) para las válvulas equilibradas (figura 2), puede volverlas inutilizables. La experiencia ha demostrado que, por lo mínimo, estos controles deben desmontarse y limpiarse una vez al año.
4. Las cámaras de accionamiento deben mantenerse siempre llenas de agua cuando funciona la válvula de aguja. Las cámaras parcialmente vaciadas permiten la presencia de aire, lo que

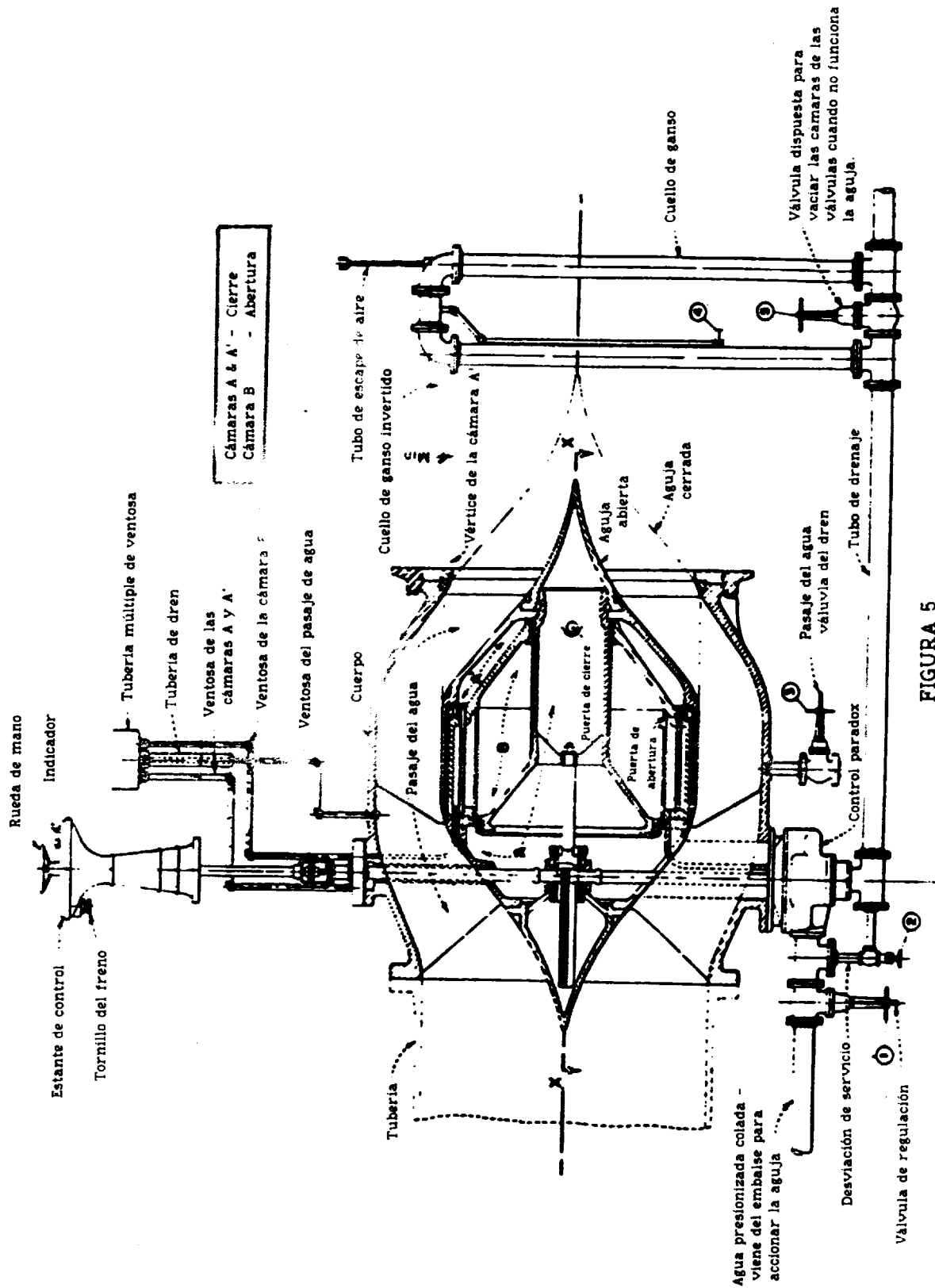


FIGURA 5

ALZADO LONGITUDINAL DEL PERFIL DE UNA VALVULA DE AGUJA
Y DISPOSICION ESQUEMATICA DE LOS EQUIPOS DE FUNCIONAMIENTO

parcialmente vaciadas permiten la presencia de aire, lo que produce un gas compresible que podría ocasionar un movimiento rápido e incontrolable de la aguja. Dos particularidades fueron incorporadas en cada sistema de válvulas de aguja con la intención de asegurar que las cámaras permanecieran llenas de agua -- una ventosa automática de tubos múltiples y un arreglo de tubería "cuello de ganso" por encima de la descarga de la cámara de accionamiento. Las ventosas automáticas consisten en una válvula de tipo seta para cada cámara de accionamiento. Se ha comprobado que estos dispositivos no son seguros y, en la mayoría de los casos, han sido reemplazados por válvulas manuales. El uso de las válvulas de venteo accionadas a mano puede ocasionar una acumulación de aire en las cámaras durante la marcha normal.

La parte superior de la tubería cuello de ganso se sitúa más arriba de la cota de las cámaras internas de accionamiento para asegurar que éstas permanezcan llenas de agua. El cuello de ganso está provisto de un respiradero que admite aire en el tubo de drenaje para impedir una acción de sifonaje en el interior del cuello de ganso. De no impedirse este sifonaje, se podría vaciar el agua de la cámara de operación de la válvula de aguja, resultando en movimientos rápidos e incontrolables de la aguja durante posteriores ajustes en la descarga de la válvula de aguja.

5. La tubería que alimenta las cámaras de accionamiento de las válvulas de aguja diferenciales, con diseño interno o interior, debe permanecer libre de obstrucciones para poder suministrar suficiente agua a las cámaras para mantener su nivel lleno. Las conexiones de derivación adaptadas a la tubería de alimentación para cualquier otro propósito no deberían de permitirse

6. El acoplamiento entre la varilla de la manija de rueda y el eje impulsor del mando paradox dispone de un alfiler de protección cortante para impedir la aplicación de una fuerza excesiva a la unidad de control.

7. Hacían falta instrucciones de operación específicas para cada instalación de válvulas de aguja. Cada diseño de válvula de aguja llevaba instrucciones normalizadas para uso general.

8. El tamaño de la caseta de las válvulas, así como la falta de equipos de manejo en algunas de las instalaciones de válvulas de aguja, limitaba enormemente el grado de mantenimiento que se podía realizar. En varios lugares, el cuerpo de la válvula de aguja estaba encastrado en el muro de hormigón aguas abajo.

A principios del siglo, los ingenieros proyectistas de válvulas de aguja en aquel tiempo se empeñaban en producir diseños innovativos, con el fin de regular las descargas de los embalses en regiones remotas. Las válvulas de aguja han demostrado muy bien su durabilidad y economía, en términos de 40 a 70 años de servicio. Es de lamentarse que la comprensión técnica de los principios de diseño utilizados para estas válvulas se ha perdido, resultando en malas prácticas de mantenimiento, modificaciones detrimentales y, por consiguiente, malas operaciones que ponen en peligro al personal operador. De dejar estas válvulas de aguja en servicio, hubiera exigido la realización de reacondicionamientos muy importantes, incluyendo nuevos materiales y diseños modificados. Se estima que el costo de una tal iniciativa, agregado a los costos del mantenimiento rutinario anual y la formación anual del personal operador, sería prohibitivo. Se ha comprobado que el reemplazo con compuertas de regulación modernas (compuertas de chorro, recomendadas por el Bureau), con sus escasos requerimientos de mantenimiento, viene siendo la solución más económica.

Condiciones existentes

Durante el periodo de investigaciones de 1985-86, el estado de las 47 válvulas de aguja que permanecían en servicio en 20 presas fue examinado y, en donde era posible, se efectuaron pruebas de su funcionamiento. Únicamente 14 de las 47 válvulas estaban en condición "operable", un término que aquí no cabe interpretar como significando "aceptable", puesto que se observaron deficiencias en cada caso estudiado, las que podrían influir sobre el funcionamiento seguro de las válvulas correspondientes. Las 33 válvulas inoperables restantes presentaban una variedad de síntomas - costillas de suspensión y barras de accionamiento rotas, superficies deslizantes pegadas juntas por la corrosión, alfileres rotos, mandos paradox immobilizados, orejetas de tornillos cortadas en el mando paradox, y otros problemas internos no identificados. Se debe señalar que nuestros esfuerzos investigativos enfocaban principalmente los aspectos externos de las válvulas de aguja, cuya mala operación había contribuido directamente a los dos accidentes descritos más arriba en este informe. Estos aspectos externos pueden describirse como (1) el sistema de escape de aire para cada cámara de accionamiento de la válvula, (2) el sistema de alimentación de agua a estas cámaras, y (3) el sistema de desagüe para las mismas. A continuación presentamos una discusión general sobre lo revelado por las inspecciones realizadas in situ:

1. Cada sistema de ventosas existente comprendía válvulas automáticas del tipo seta, diseñadas para aspirar totalmente el aire de las cámaras de accionamiento, y luego flotar en el agua hasta acomodarse en el asiento. En todas las instalaciones, la tubería múltiple de las válvulas era defectuosa debido a la corrosión. Las superficies deslizantes corroídas entre las mangas y las válvulas de seta impedían movimientos libres con el resultado que se atrapaba aire en las cámaras de accionamiento de las válvulas de aguja. En algunas instalaciones, estas válvulas automáticas de tipo seta habían sido reemplazadas con válvulas manuales. Las válvulas manuales servían para sacar el aire durante la llenada inicial, con tal que el operador se acordara de hacerlas funcionar, pero no continuaba la expulsión de aire durante la operación normal. Además del deterioro de estas ventosas automáticas, las tuberías de las ventosas, en muchos casos, eran las mismas que habían sido instaladas hace ya de 40 a 70 años. Algunas de las tuberías tenían secciones totalmente obstruidas con limo, o tapadas por la corrosión. Otras tuberías tenían fugas en la coyunturas y en los acoplamientos. Los pasajes de las ventosas internas en dirección de las válvulas de aguja en varias instalaciones estaban parcial o totalmente obstruidos. Estas condiciones impedían la requerida expulsión de aire para asegurar que las cámaras de accionamiento de la válvula de aguja estuvieran siempre llenas de agua.

2. El abastecimiento de agua para el mando paradox de las válvulas de aguja diferenciales internas or interiores proviene normalmente de una sola línea de alimentación, empezando en un punto aguas arriba de la compuerta de emergencia de las obras de desagüe. La longitud de esta línea de alimentación varía usualmente de unos 30 a 100 metros y lleva las debidas dimensiones para traer suficiente agua a las cámaras de accionamiento de todas las válvulas de aguja. En un principio, la línea de alimentación estaba provista de una coladera para retener los escombros y proteger el mando paradox, pero en la mayoría de los casos, estas coladeras resultaron ser más problemáticas que útiles puesto que se tapaban rápidamente y se aplastaban los alambre de la coladera, cuyos alambres penetraban en el mando paradox, colocándose adentro del pistón de control y del forro.

La inspección de las superficies internas de la tubería de alimentación de agua en muchas instalaciones reveló obstrucciones de corrosión (bacterias de fierro) que reducían la corriente en un 50 por ciento. Además, se examinaron las conexiones de derivación que servían para suministrar agua para otros fines de servicio, sumideros de evacuación, turbogeneradores, y las demandas del

riego. Todas estas derivaciones reducían el volumen de agua disponible para el funcionamiento de las válvulas de aguja.

3. La tubería de desagüe para las cámaras de accionamiento de las válvulas de aguja contiene un arreglo de tuberías cuello de ganso (figura 5), con su tubo invertido sobrepasando ligeramente el extremo superior de las cámaras de la válvula de aguja. Esta disposición asegura que las cámaras de la válvula permanezcan llenas de agua bajo cualquier condición de operación. Un repaso de los archivos así como las inspecciones in situ confirmaron que se evitaba pasar por la tubería cuello de ganso si se dejaba abierta la válvula No. 5 (figura 5) durante una operación normal. Este procedimiento, además de aumentar la presión diferencial a través de las cámaras de la válvula que activa la aguja, permite el desagüe de la cámara de accionamiento en el sentido de la descarga, lo que asimismo permite que entre aire en la cámara. Luego, al ajustarse el caudal, el aire puede comprimirse, ocasionando una rápida e incontrolable agitación de la aguja.

La tubería cuello de ganso también dispone de una conexión de venteo en el punto más alto del conducto. Esta ventosa es esencial para admitir aire para cortar la acción de sifón en el interior de la tubería. De no interrumpirse este sifonaje, las cámaras de accionamiento de la válvula de aguja se vaciarían, ocasionando la misma agitación incontrolable de la aguja. La investigación reveló la existencia de varias tuberías de ventilación totalmente obstruidas por moje y corrosión. Además, el tamaño de la mayor parte de la ventosas no era suficiente para suministrar la cantidad de aire necesaria para impedir el sifonaje.

Las tres partidas discutidas más arriba representan los factores que más contribuyen a la mala operación. Sin embargo, la falta de instrucciones de operación correctas y detalladas y la falta de formación adecuada para el personal de operación y mantenimiento deben considerarse como los principales factores que causan los problemas asociados con el manejo inadecuado de estas válvulas de diseño muy complejo. Se habían normalizado las instrucciones de operación para estos tres tipos básicos de válvulas de aguja, por lo que no correspondían a la verdadera instalación de las válvulas de aguja para cada sitio individual. Las intrucciones eran, además, muy generalizadas y no comprendían los numerosos cambios realizados en los sistemas durante los 40 a 70 años de servicio. La falta de instrucciones detalladas y la limitada formación de los operadores son factores importantes que contribuían a manejos imperfectos y a prácticas inadecuadas de mantenimiento.

A consecuencia de estas investigaciones, el Comisario del Bureau of Reclamation determinó que todas las válvulas de aguja activadas por agua deben de reemplazarse para fines del año fiscal de 1991. Como medida de intermedio, se recomendaron modificaciones específicas para las válvulas de aguja existentes con el fin de reducir los riesgos para sus operadores. Se prepararon informes sobre la investigación de las válvulas de aguja para cada instalación, incluyendo gráficos de las requeridas modificaciones. Una vez realizadas las modificaciones, cada válvula de aguja fue sometida a nuevas pruebas para comprobar su funcionamiento satisfactorio.

Las modificaciones comprendían lo siguiente:

1. Las anticuadas tuberías múltiples del sistema de ventosas, o de las válvulas manuales, fueron reemplazadas. El nuevo sistema de venteo automático consiste en una válvula automática de escape de aire, un caudalímetro de vidrio, una válvula de retención y una válvula de purga conectada a la tubería de venteo saliendo de cada cámara de accionamiento. Toda la tubería de venteo también fue reemplazada con tubería nueva.
2. La válvula No. 5 del tubo de paso cuello de ganso (figura 5) fue sacada y reemplazada con tapones de cierre.
3. Las tuberías de alimentación y desagüe fueron desmontadas e inspeccionadas en busca de obstrucciones. Toda la tubería fue limpiada o reemplazada.
4. Se eliminaron y se taparon todas las derivaciones superfluas conectadas a la línea que alimenta el mando paradox. Algunos sistemas de alimentación de agua incluían la adición de una bomba elevadora para aumentar la presión de abasto de la válvula. Estas bombas también fueron eliminadas.
5. Se habían agregado tuberías y válvulas de desagüe en el transcurso de los años para facilitar el desagüe de las válvulas en períodos de paro. Estos dispositivos fueron sacados y tapados para evitar que se dejaran abiertos por descuido.
6. Un manual de operación fue preparado específicamente para cada instalación de válvulas de aguja. El manual incluye un diseño esquemático completo de todo el sistema de las obras de desagüe, con una lista de verificación paso a paso para reducir los riesgos de un manejo incorrecto por parte del operador. Este manual indica como llenar las cámaras de accionamiento de las válvulas de aguja y la tubería de salida, y como hacer funcionar

la válvula de aguja, con el debido escape de aire. Se colocaron etiquetas en cada válvula del sistema, para inmediata identificación de acuerdo con la esquema.

7. Se organizaron cursillos de formación para todo el personal de operación y mantenimiento de las válvulas de aguja. Se discutieron los síntomas de una operación no satisfactoria, los requerimientos de mantenimiento y los conceptos de diseño de las válvulas de aguja.

En resumen, las investigaciones del Bureau of Reclamation revelaron que el 49 por ciento de las válvulas de aguja no funcionaban y el 20 por ciento funcionaban con limitaciones. Treinta y un por ciento habían sido suprimidas o reemplazadas antes de la investigación. Las pruebas realizadas in situ indicaban que la falta de seguridad de las válvulas se debía a dificultades de operación, largos períodos de inactividad a consecuencia del extenso mantenimiento necesario para hacerlas funcionar y una falta de comprensión de su muy compleja marcha interna. Frente a estas dificultades, los operadores se habían decidido a cambiar los procedimientos de operación o a modificar la maquinaria para forzar la marcha de cualquier válvula problemática. En muchas situaciones, estos cambios aumentaban las probabilidades de error del operador. El objetivo de las modificaciones en los sistemas de válvulas de aguja recomendadas más arriba es de reducir la posibilidad de errores humanos. Debe reconocerse que estas modificaciones no transformarán una válvula de aguja en malas condiciones en una válvula operable. Podría ser necesaria una restauración completa, incluyendo el restablecimiento de las tolerancias específicas para todas las superficies deslizantes de la válvula de aguja y de los mandos paradox. Es la intención del Bureau of Reclamation lograr una operación satisfactoria de las válvulas de aguja y, al mismo tiempo, reducir la ocasiones que ponen en peligro al personal operador hasta que sean reemplazadas todas las válvulas de aguja para fines del año fiscal de 1991.

CONTROL DE LA EROSION DE SUELOS ALREDEDOR DE
LOS APROVECHAMIENTOS DEL BUREAU
UTILIZANDO ESPECIES VEGETALES SELECTAS

por

John E. Boutwell (1)

Introducción

Las obras de construcción o de reparación en cualquier instalación del Bureau of Reclamation suelen destruir la cubierta vegetal existente. Esta cubierta vegetal también puede sufrir daños a consecuencia de las actividades normales de explotación, tales como las fluctuaciones de agua en los embalses del Bureau y un pastoreo excesivo en las tierras arrendadas. La replantación de la vegetación indígena o el establecimiento de especies vegetales nuevas representa una de las mejores maneras de proteger estas zonas contra distintas clases de erosión del suelo [1](2). Las cubiertas vegetales en tales lugares ayudan a estabilizar el suelo, crear cortavientos, controlar el crecimiento de malas hierbas y mejorar el pasto para el ganado y la fauna silvestre. Asimismo sirven para realzar el potencial deportivo y mejorar la estética de los aprovechamientos del Bureau.

Por ser que todas las plantas tienen limitaciones biológicas, se debería de realizar una evaluación de los factores geográficos de cada área antes de volver a plantar una zona afectada. Entre los factores a considerar figuran los siguientes: altitud, duración del período de crecimiento, precipitación, temperatura y humedad [2]. Después de haber determinado los factores geográficos, se deben de considerar las exigencias específicas, o sea: ¿Estarán sujetas estas plantas a sumersiones o a extrema desecación? ¿Servirá el área para apacentar ganado o bien habrá mucho tráfico por actividades deportivas?

Las respuestas a estas preguntas de carácter geográfico y específico permitirán determinar la selección de plantas indígenas o de nuevas especies a introducir experimentalmente con el fin de controlar la erosión en cada situación. Se vienen realizando tales experimentos en la Sección de Ciencias Ambientales del Centro de Ingeniería e Investigaciones en Denver, Colorado, E.E.U.U.

(1) Botánico en la División de Investigaciones y Servicios de Laboratorio Centro de Ingeniería e Investigaciones, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado

(2) Los números en corchete indican las referencias al final de este artículo.

La zona problemática estudiada se sitúa alrededor del embalse de Buffalo Bill, cerca de Cody, en el estado de Wyoming. El nivel del embalse baja periódicamente conforme a las demandas de agua. Estos descensos de nivel dejan descubiertas muchas hectáreas en las orillas del embalse, carecientes de vegetación y por lo tanto susceptibles a toda forma de erosión.

Métodos y Materiales (Estudio de Laboratorio)

Cuatro especies de plantas fueron escogidas para este primer estudio, tomando en cuenta su aptitud natural para establecerse en áreas ribereñas. Todas son especies comunes y la mayoría son indígenas del oeste de los Estados Unidos. Estas son: el Eleocharis acicularis (localmente llamado "Slender Spikerush") que crece de natura en un canal cerca de Valentine, en el centro norteño del estado de Nebraska; el Juncus gerardii (zacate negro), que crece en herbajes monoculturales a lo largo del lago Boyd, cerca de Loveland, Colorado; un sauce, Salix sp., que crece en las orillas del embalse de Buffalo Bill, cerca de Cody, Wyoming; y la cuarta especie (aunque no indígena de los EE.UU.) Alopecurus arundinaceus, ("carricera enredadera de Garrison") existe en este país desde 1902, bien establecida en los estados de Dakota del Norte y Dakota del Sur, Montana y Wyoming.

Se determinó por previas plantaciones de vegetales que las ramitas individuales del Eleocharis acicularis se prestan mejor para un rápido crecimiento y una rápida dispersión que los grupos de matas; por lo tanto, se utilizaron ramitas en la cultivación de esta especie y del zacate negro para los estudios en invernadero. Utilizando esta técnica, el Eleocharis acicularis plantado a razón de 5 ramitas por 0.1 metro cuadrado cubrió totalmente el área plantada en 60-90 días (figura 1). La carricera fue sembrada y los sauces fueron obtenidos de estacas recogidas alrededor del embalse de Buffalo Bill.

Después del establecimiento de las cepas, se llevaron a cabo estudios en invernadero sobre estas cuatro especies. En un experimento, se inundaron las plantas con agua, y en otro fueron desecadas con el fin de determinar sus tolerancias a condiciones de extrema humedad. Durante estos primeros estudios, se establecieron técnicas para futuros experimentos.

Estudio de sumersión

Se plantaron seis jarras de cada una de las cuatro especies de plantas 2 o 3 semanas antes del tratamiento. Las jarras de prueba fueron marcadas a intervalos de 5 cm por encima del nivel del suelo, lo que

permitía una exacta subida o bajada del agua dos veces a la semana. Se estableció un programa de inundación/recesión del agua, imitando el ascenso y descenso natural de los niveles de agua en un sistema de embalse. Con este régimen, la altura máxima de agua se produjo en la mitad del estudio; por lo tanto, la altura máxima de inundación en la prueba de 5 semanas ocurrió a las 2-1/2 semanas del estudio. Al completarse el intervalo de inundación/recesión, no quedaba agua en las jarras. La figura 2 explica esta gradual inundación y recesión de aguas. Acabado el periodo de pruebas, se regaron las plantas de la prueba y las de control una vez a la semana.

Se observaban todas las plantas una vez a la semana, con una evaluación de los daños sufridos debido a la sumersión o a la desecación. Se utilizaba para esta evaluación una escala numérica, graduada de 0 a 10, con el 0 indicando ningún daño aparente y el 10 indicando una planta muerta.

Estudio de Desecación

Las plantas experimentales fueron cultivadas 2 o 3 semanas antes del tratamiento, al igual que para el estudio de sumersión, y luego deshidratadas por un periodo de 1 a 6 semanas. La jarra de la prueba de deshidratación de 1 semana representaba el control, puesto que se regaba cada semana como en la prueba de sumersión. Al fin de cada periodo de deshidratación, las plantas de la prueba fueron regadas semanalmente para el resto del estudio, junto con el control.

Resultados y Discusión (Estudio en Laboratorio)

Estudio de Sumersión

Se sabe que el *Eleocharis acicularis* puede vivir sumergido indefinidamente en agua. Por lo tanto, tal como se esperaba, esta especie toleró la sumersión mejor que las otras especies, demostrando solamente un ligero trauma después de 4 a 5 semanas de sumersión (figura 3). Los sauces sumergidos produjeron raíces adventicias en el agua, y el zacate negro, suficientemente alto para permanecer parcialmente expuesto durante la inundación, produjo semillas que maduraron después de haber terminado el estudio (fig. 4). Aunque la carricera sufrió más perjuicio por la sumersión que las otras especies, la mayor parte de las muestras se restablecieron muy bien dentro de 1 a 2 semanas después de la sumersión.

Estudio de Desección

El *Eleocharis acicularis* asimismo dió mejores resultados que las otras plantas en el experimento. El zacate negro y la carricera no toleraron la desección con la misma facilidad que el *Eleocharis acicularis*, pero siempre mejor que el sauce, el que más sufrió por la desección.

Métodos y Materiales (Estudio sobre el Terreno)

Una vez completados estos estudios preliminares en invernadero, se seleccionaron emplazamientos y, a fines de mayo de 1986, se plantaron parcelas experimentales en las llanuras lodosas alrededor del embalse de Buffalo Bill. Cada parcela medía aproximadamente 1,5 m x 1,5 m, plantada con 8 a 12 matas de *Eleocharis acicularis*. Se utilizaron matas en este caso en lugar de las ramitas individuales para evitar que la acción del agua se las llevara. Cuatro ramitas de sauce y un ramillete de zacate negro fueron plantados a lo largo del perímetro del área del *Eleocharis acicularis* (figura 5).

No se utilizó la carricera en este primer estudio de campo debido a la posibilidad de crear un problema de hierbas perniciosas si fuera a establecerse en áreas no deseadas. Se ha determinado desde entonces que esta especie de zacate no presenta problemas en este sentido y, por lo tanto, fue plantada en ese lugar posteriormente. Cada una de las parcelas estaba separada por una elevación de aproximadamente 0,30 m, con una diferencia horizontal de 100 metros o más. Estas parcelas permanecieron sumergidas por un periodo de 2 a 3 meses dependiendo en su elevación a lo largo de la orilla del embalse.

Resultados y Discusión (Estudio de campo)

Se examinaron las parcelas de campo en septiembre de 1986, tres meses después del plantío y después de 2 a 3 meses de sumersión. El *Eleocharis acicularis* había resistido en muchas de las parcelas, pero no se había esparcido ni crecido. El zacate negro y el sauce sobrevivieron únicamente en la parcela más elevada, con el menor tiempo de sumersión, o sea, aproximadamente 2 meses en unos 6 metros de agua. Después de 1 año de exposición, se notó que la mayor parte del *Eleocharis acicularis* no había resistido a la desección durante la mengua invernal del embalse. Se decidió entonces establecer nuevas parcelas, pero plantándolas a fines del verano (después de la retrocesión del nivel de las aguas) y no en la primavera.

A fines de septiembre de 1987 (15 meses después del plantío) solamente un sauce y un ramillete de zacate negro quedan de todas las plantas de las primeras parcelas. En las parcelas nuevas (de 1 mes), la carricera y el zacate negro presentaban un buen desarrollo, aunque no se habían esparcido ni formado semillas. El *Eleocharis acicularis* iba sobreviviendo en las nuevas parcelas, pero solamente con mucha humedad.

Conclusiones

Aunque el *Eleocharis acicularis* toleró muy bien tanto la sumersión como la desecación en el laboratorio, parece, según los estudios de campo, que no puede soportar más que una desecación limitada. Esto se debe posiblemente a sus raíces relativamente poco profundas. El único sauce que sobrevivió en el primer estudio de campo quedó muy atrofiado y probablemente no resistirá a otra sumersión. El zacate negro parece haberse adaptado bien a los ambientes de sumersión y de desecación. Aunque se habían plantado tres ramilletes en las primeras parcelas, solamente uno sigue vivo y ha empezado a esparcirse. Todavía no se ha sometido la carricera a la prueba de sumersión y queda por saber si sería capaz de resistir al riguroso ambiente artificial creado por el sistema de regulación de las aguas del embalse de Buffalo Bill (figura 6).

La selección de plantas que pudieran servir para el control biológico de los suelos erodados continúa en los invernaderos del Bureau y en su Centro de Ingeniería e Investigaciones y, en el caso del embalse de Buffalo Bill, sólo con observar el sitio experimental se podrá saber cual o cuales de las plantas seleccionadas serían capaces de sobrevivir y ayudar en la lucha contra la erosión de los suelos.

Referencias

1. Sisson, J.B. - Revegetation of Canyon Ferry Reservoir (Replantación vegetal del embalse Ferry Canyon). Terminal Report 1970, Graduate Student Report, Plant and Soil Science Department, Montana State University, Bozeman, Montana 59715, U.S.A.
2. Methods of Quickly Vegetating Soils of Low Productivity, Construction Activities (Métodos de plantío rápido en suelos de baja productividad, Actividades de Construcción), U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Planning and Standards, EPA-440/9-75-006, July 1975.

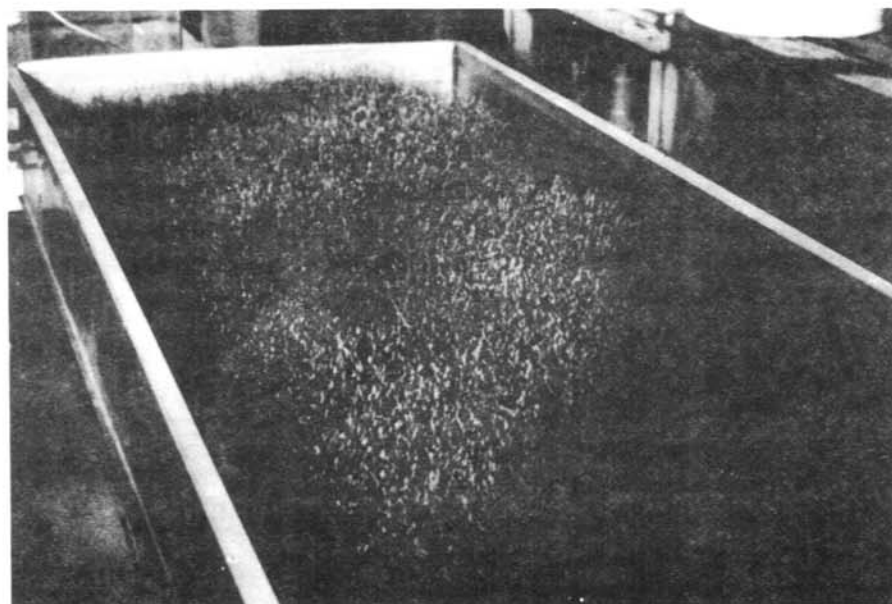
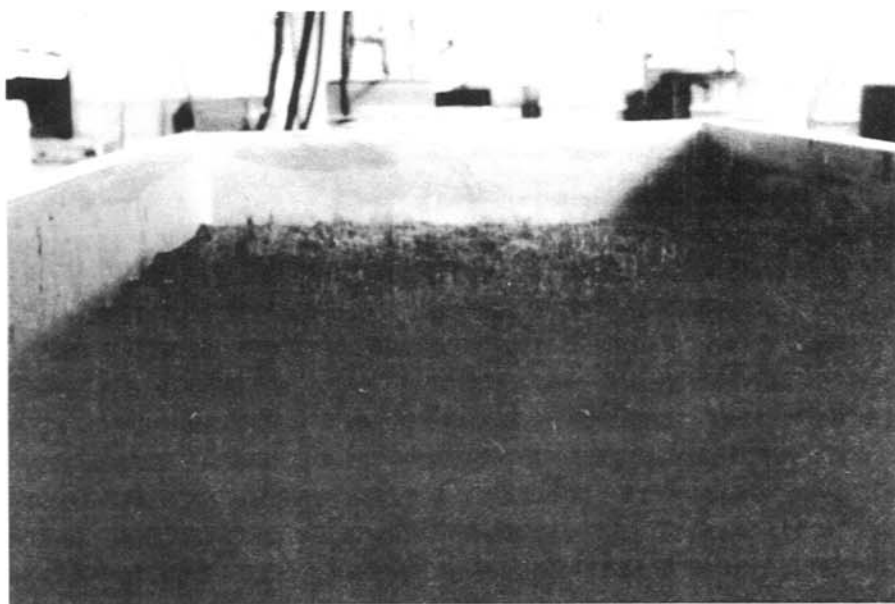


Figura 1 El *Eleocharis acicularis* puede esparcirse rápidamente a partir de ramitas individuales, ilustrado aquí.
Arriba: un mes después del plantío.
Abajo: tres meses después del plantío.

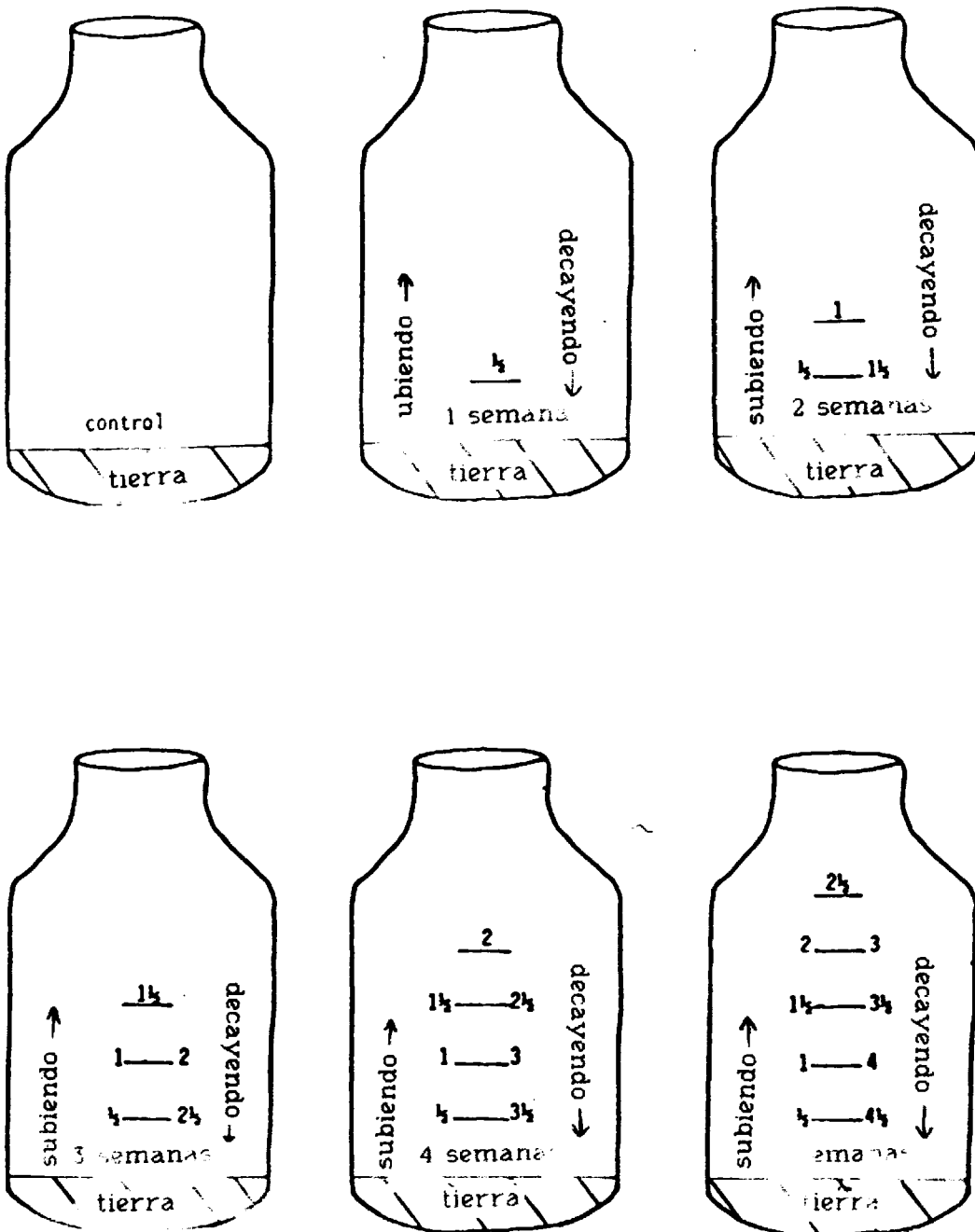


Figura 2. - Programa de sumersión mostrando los niveles de agua a intervalos de media semana para periodos de sumersión variando de 0 semanas a 5 semanas.



Figura 7. Estudio del *Eleocharis acicularis*. Jarras de ensayo 4 semanas, 5 semanas, y el control. Obsérvese la falta de espigas florecientes en las muestras de 4 y 5 semanas en comparación con el control.

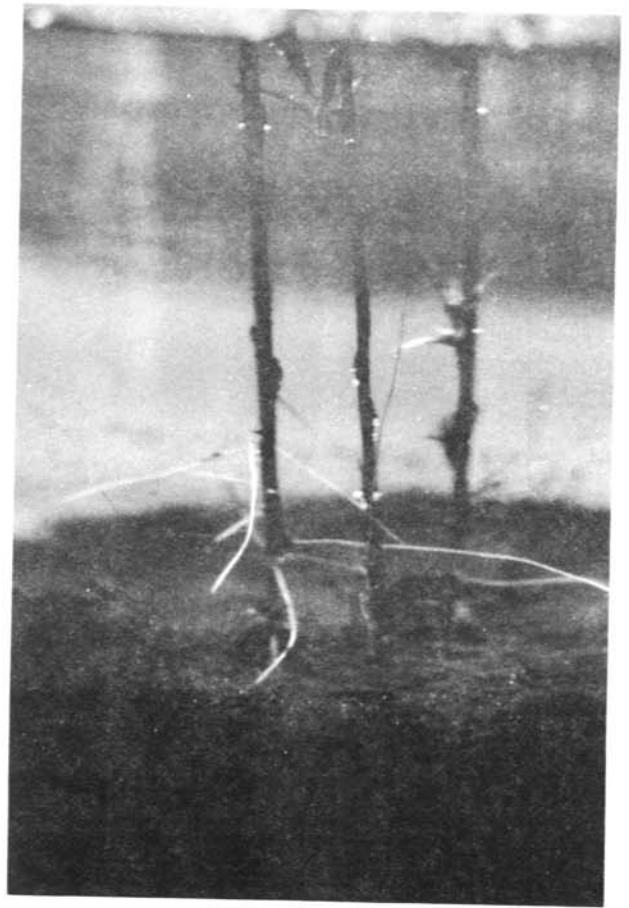
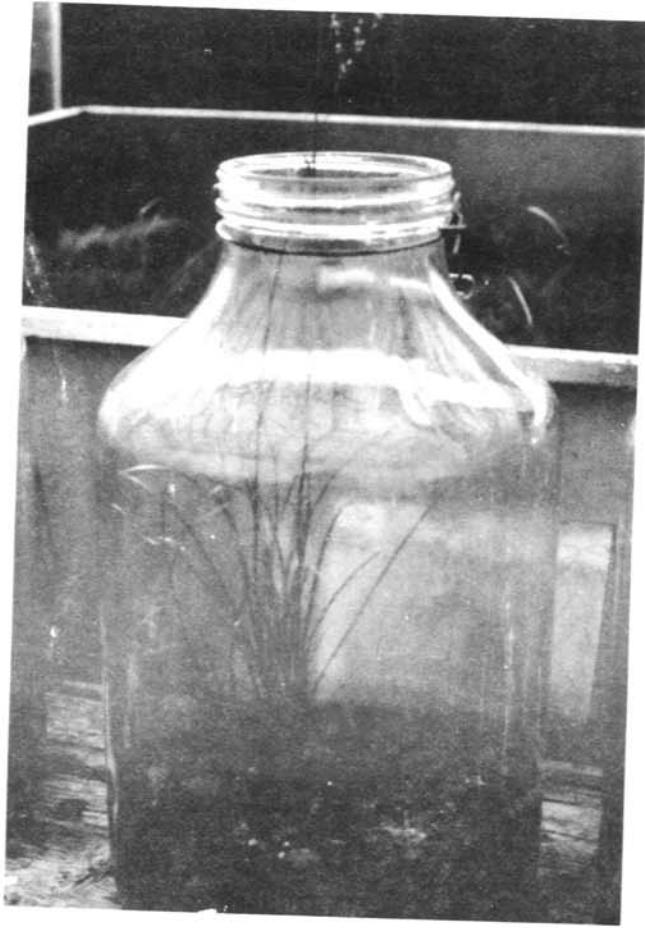


Figura 4 - La formación de semillas en el *Juncus gerardii* y el desarrollo de raíces adventicias en las partes sumergidas de la espiga del sauce.

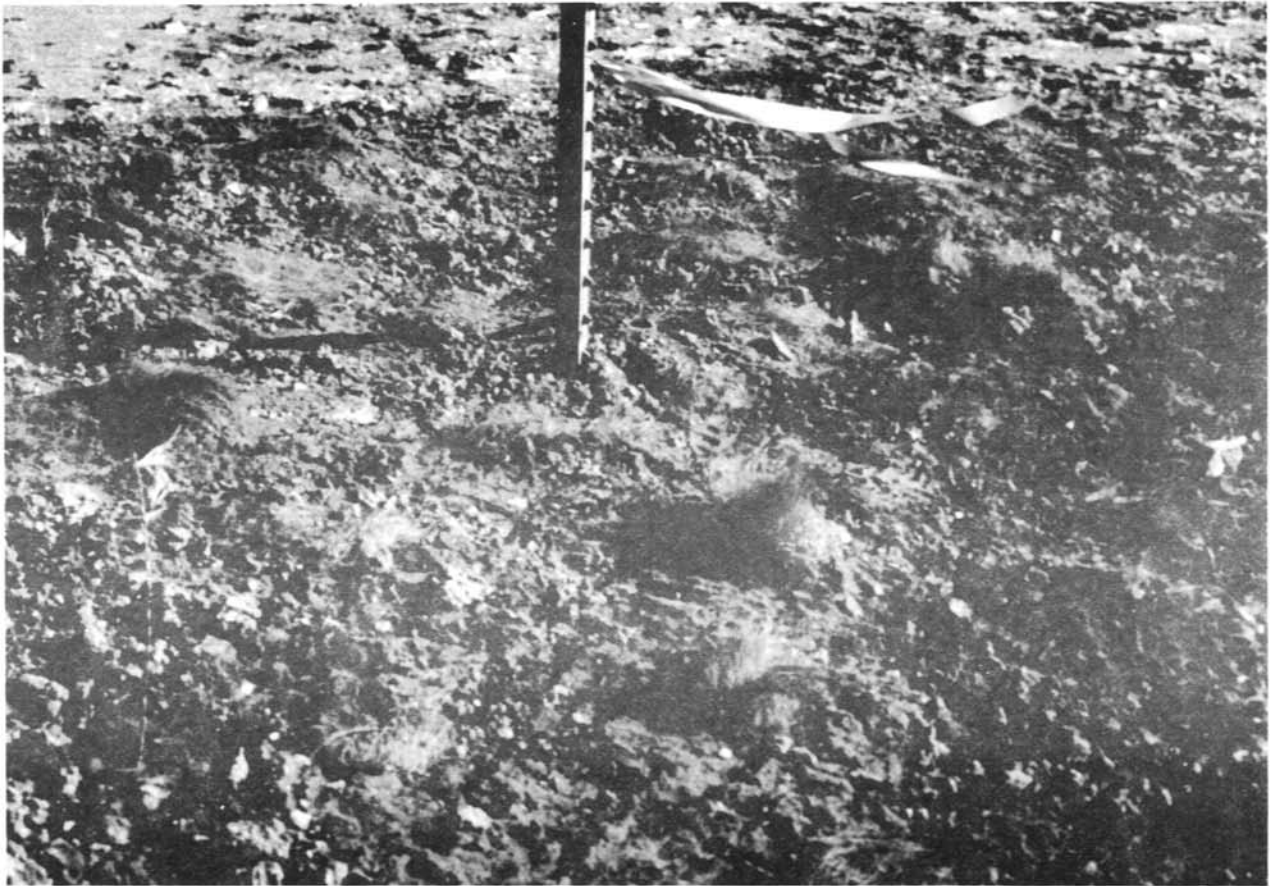


Figura 5. - Aparencia de una de las primeras parcelas, inmediatamente después del plantío. (izquierda: sauce; centro: *Eleocharis acicularis*; derecha: *Juncus gerardii*).



Figura 6 - La revegetación de una llanura lodosa tal como ésta del embalse de Buffalo Bill ayudaría a reducir los problemas del polvo y a controlar la erosión del suelo.

CARPAS HERBIVORAS

UNA TECNICA DE INVESTIGACION QUE PRODUCE RESULTADOS

por

Joan Thullen (1)

Las investigaciones científicas son motivo de gran satisfacción cuando se llega a desarrollar una técnica exitosa. Los expertos en botánica acuática de la Sección de Ciencias Ambientales forman parte de un equipo que perfeccionó una técnica útil en la lucha contra las hierbas acuáticas en los canales de riego, con un ahorro que se estima actualmente en 1.000.000 de dólares por año a beneficio del Distrito Imperial de Riego y del Distrito de Aguas del Valle de Coachella en California.

El problema venía siendo la perniciosa hierba acuática, [Hydrilla verticillata (L.f.) Royle]. Fue encontrada por primera vez en el Distrito Imperial de Riego en 1977. En un período de 3 años, había obstruido la mitad de los canales y laterales del sistema. Se formó un grupo de expertos entre Agencias para recomendar métodos ambientalmente seguros para luchar contra esta hierba, y el personal de la Oficina Regional del Bajo Colorado del Bureau of Reclamation pidió la participación de los botánicos del Centro de Ingeniería e Investigaciones en Denver, Colorado.

El costo inicial estimado para controlar la infestación era de 10,1 millones de dólares. Siete años después de haber empezado los estudios, se llegó a controlar la hydrilla a un costo que ascendía solamente a 3,5 millones de dólares. El problema había sido resuelto con la utilización de una carpa herbívora triploide (Ctenopharyngodon idella Val.), un pez con un apetito voraz para las hierbas acuáticas. La carpa herbívora triploide tiene tres grupos de cromosomas en lugar de los dos normales, lo que la rinde estéril.

En el verano de 1985, 7.800 carpas herbívoras triploides (de 20 a 25 centímetros de largo) fueron introducidas en una sección del canal del Distrito Imperial de Riego en California. A las 8 semanas, toda la hydrilla había sido eliminada en esa parte del canal, por lo que se introdujeron entonces 50.000 peces por todo el sistema del Distrito. Para septiembre de 1986, el 99 por ciento de la hydrilla había sido consumida. Contando solamente el año de 1986, las carpas herbívoras representaban un ahorro de costos de aproximadamente 4.000.000 de dólares para el Distrito.

(1) Botanista en el Centro de Ingeniería e Investigaciones del Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.

En conjunto con los estudios que se iban realizando en el sur de California, los mismos botánicos del Centro de Ingeniería e Investigaciones han completado 3 años de investigaciones sobre la eficacia de la carpa herbívora para controlar las hierbas acuáticas en las aguas más frías de los canales del estado de Colorado. Una empresa privada, Consolidated Lower Boulder Reservoir and Ditch Company, notando el éxito de esta técnica en eliminar las malas hierbas en una sección de sus canales, pidió permiso para utilizar las carpas del Bureau en las siguientes estaciones del año, por ser que las investigaciones estaban terminadas. El gerente de la empresa afirma que el uso de las carpas les ha ahorrado un 72 por ciento de sus costos directos para el control de las malas hierbas en el primer año del estudio.

Deseosa de saber si una pequeña empresa de riego podría ella sola administrar un programa de uso de peces herbívoros, el Bureau permitió a dicha empresa utilizar 265 carpas experimentales en sus canales de riego situados al oeste de Erie, Colorado, durante la temporada de crecimiento de 1987 (de abril a octubre, inclusive). Aunque los botánicos ayudaron a captar e introducir los peces en el canal, el personal de la empresa privada se encargó de la mayor parte del trabajo, además de preparar el canal y observar los peces durante toda la temporada. Para el otoño, ya se hacían proyectos para cambiar la configuración del canal para acomodar estructuras que detuvieran los peces durante las evacuaciones de limpieza en la primavera y también para facilitar su captura.

Las carpas herbívoras son peces muy resistentes. En este caso, han tolerado más de 20 traslados hasta la actualidad. En Colorado, prosperan en temperaturas de agua variando de 0° a 25°C (pero son hasta más eficaces en eliminar las hierbas en temperaturas de agua llegando a 32°C). Durante la temporada de invierno/primavera de 1986, los peces de tamaño medio perdieron el 20 por ciento de su peso, para volver a echar hasta más carnes durante el próximo verano. Cuarenta de los peces también pudieron sobrevivir la implantación quirúrgica de un transmisor de radio en el abdomen.

El uso de la carpa herbívora en la lucha contra las hierbas acuáticas en los Estados Unidos ha demostrado su eficacia y su seguridad para el ambiente a un costo menor que el de los herbicidas tradicionales. Sin embargo, no son una panacea. Hay que saber cómo manejarlas para que sean eficaces. Suelen alejarse del lugar en que se han introducido, a no ser que se les impida el paso por medio de alambrados, presas, u otras barreras. También es necesario trasladarlas cuando se limpia, o se vacía, o se trata con productos químicos, el canal, estanque o embalse que las contiene. También debe vigilarse la altura del agua para que no llegue a congelarse

completamente. Las carpas pueden vivir en agua por debajo de una capa de hielo con tal de que dispongan de suficiente oxígeno.

Todavía hace falta realizar más estudios sobre las carpas herbívoras. Se necesita precisar la adecuada densidad de peces, particularmente en canales de riego con agua bastante fría; deberán diseñarse barreras eficaces y al mismo tiempo económicas; el comportamiento de los peces deberá comprenderse mejor para una gestión más eficiente; y habría que evaluar otras estirpes de carpas en cuanto a su eficacia, particularmente en aguas más frías.

Contando con los debidos permisos, la mayoría de los estados permiten actualmente el uso de carpas con tal que los peces sean estériles. Se pueden obtener carpas herbívoras triploides estériles en los criaderos de peces por todo el país. Si tiene Ud. interés en utilizar estas carpas herbívoras para el control de hierbas acuáticas, su contacto en Colorado sería: Colorado Division of Wildlife, 6060 Broadway, Denver, Colorado 80216, (303) 297-1192, U.S.A.

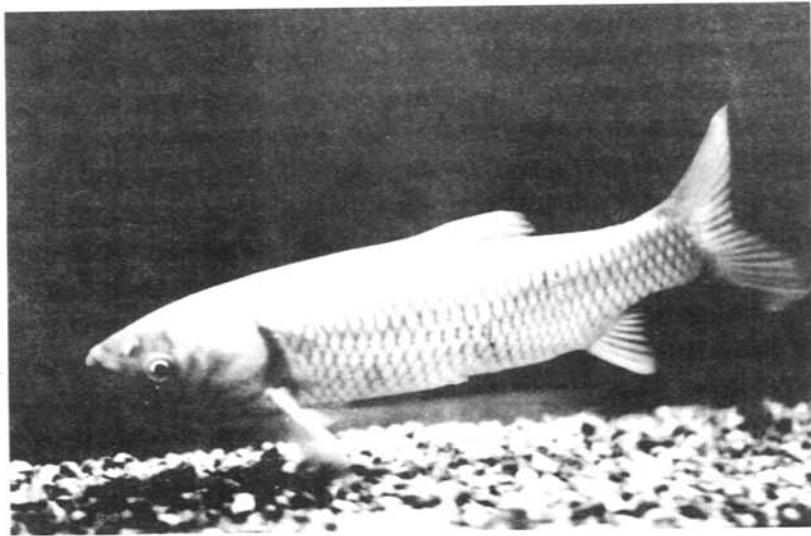


Figura 1. - La Carpa herbívora es muy comedora de vegetación acuática.

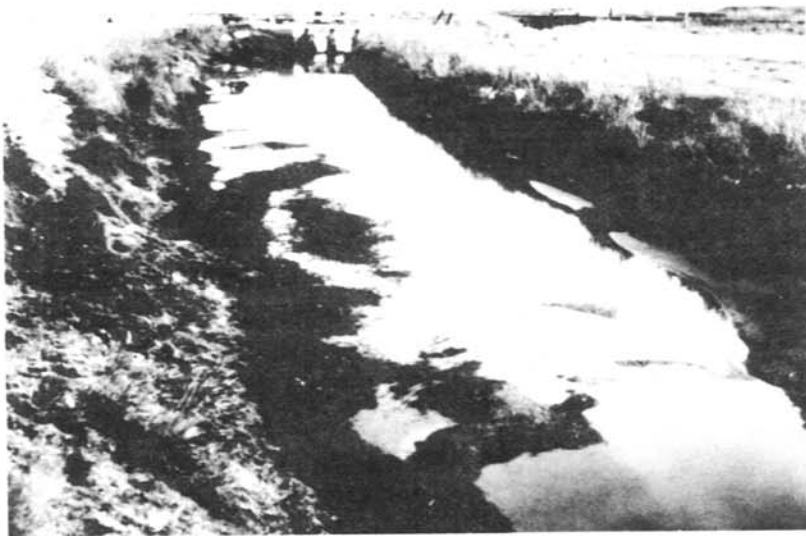


Figura 2. - Sección de un canal en Colorado en el que no se han introducido carpas.



Figura 3. - Sección de un canal que ha contenido carpas por tres meses. Obsérvese la ausencia de vegetación.

COMO EXPLOTAR UNA PRESA EN FORMA SEGURA

por

Franklin E. Dimick (1)

Los daños materiales y las pérdidas de vida ocurren más bien por error humano o mal juicio en la explotación de una presa que debido a desastres naturales tales como los terremotos. El buen manejo de una presa tiene una relación directa con el cumplimiento por parte del operador y del dueño con las normas de seguridad. El operador debe haber recibido una capacitación adecuada y debe estar siempre pendiente de cualesquier cambios que ocurran en la presa. El operador debe saber las consecuencias de cada maniobra, consciente de que no puede desviar de los límites de seguridad establecidos para él, para la presa o para los equipos y materiales. Una presa puede funcionar con seguridad dentro de los límites de su diseño, con tal que se tomen medidas para eliminar los errores humanos.

Introducción

Al pensar en la seguridad de las presas, uno suele hacerlo en términos de rupturas causadas por terremotos, desbordamientos o por diseños inadecuados. La presa ha prestado un excelente servicio público con advertencias en lo referente a estos riesgos potenciales. Sin embargo, existe un riesgo mucho más grande de daños a la presa, o causados por la misma: el error humano. Este riesgo casi nunca se considera en su debida perspectiva. El hecho de no explotar una presa en una forma segura y apropiada puede resultar en graves perjuicios materiales y pérdidas de vida. Una presa mal manejada puede romperse con efectos catastróficos.

La operación diaria de una presa presenta frecuentes oportunidades para errores humanos, por cuanto este riesgo debe reducirse o eliminarse lo más posible.

El grado de seguridad en la explotación de una presa tiene relación directa con la dedicación de los operadores y su apego a los criterios de operación de la presa, cuyo manejo es mucho más complicado que el hecho de abrir y cerrar una válvula de regulación. Al igual que la operación de cualquier equipo complejo, la falta en no

(1) Director de Proyectos en la Oficina de Lahontan Basin Projects del Bureau of Reclamation, Carson City, Nevada, EE.UU.

comprender los criterios de operación y el hecho de no estar totalmente apegado a los conceptos de una explotación segura pueden resultar en un desastre, o cuando menos, una situación muy próxima a un desastre. Las grandes presas, como las de Hoover y Grand Coulee, son generalmente administradas por una agencia gubernamental, un distrito de servicios públicos, o una organización de indole similar, que tiene bien asimilada la necesidad de emplear a operadores alertas, con buena formación técnica y dedicados a sus responsabilidades. Seleccionan a sus operadores con mucho cuidado y se esfuerzan constantemente en perfeccionar sus capacidades. Pero la mayoría de las presas en los Estados Unidos son de tamaño pequeño o mediano y, por lo general, sus operadores han sido escogidos porque viven cerca de la presa, o bien un miembro de la familia tiene a su cargo la operación de la presa, o disponen de tiempo libre para esa ocupación, o son los únicos en la Junta de utilizadores de agua dispuestos a aceptar la responsabilidad de este cargo. En muchos casos, la formación y la dedicación no figuran como consideraciones de mayor importancia. La formación de los operadores es minima o nula. Aunque estas pequeñas presas son mucho más fáciles de operar, siempre cabe la posibilidad de errores humanos debido a la falta de habilidad e instrucción.

La explotación segura de una presa, ya sea grande o pequeña, puede mejorarse con sólo comprender y seguir unas cuantas nociones básicas que todo operador y dueño de una presa debe de aprender y aplicar.

La Formación Técnica

El factor más importante en la explotación segura de una presa es el hecho de asegurar una capacitación adecuada para los operadores, cuya falta puede dar lugar a confusión. La explotación de una presa "por la buena o por la mala" puede ocasionar problemas. La capacitación puede variar, ya sea en forma práctica o con cursos en un aula. De cualquier manera que se presente la formación técnica, ésta debe ser correcta y cabal. La persona encargada de esta instrucción debe tener cuidado en no perpetuar algún error de manejo que ella misma ha venido cometiendo desde hace años. La formación debe basarse en el manual de instrucciones para la explotación de la presa, escrito por alguien que conozca bien la presa, como el proyectista, y que esté bien enterado del funcionamiento de cada elemento y consciente de la consecuencia de cada maniobra. El hecho de ser el operador de una presa no califica automáticamente a una persona para detallar por escrito los procedimientos de operación o llevar a cabo esta capacitación técnica. Un buen programa de formación debe proporcionar al operador conocimientos completos

sobre cada componente de la presa (terraplén, válvulas, tuberías, motores, canales, etc.), y tocante al propósito específico de la misma y sus limitaciones.

En 1977, el Bureau of Reclamation elaboró un programa para perfeccionar la capacitación de los operadores de presas. Este programa comprendía una sesión general de aula sobre los debidos procedimientos de operación, seguida por una sesión en el terreno con cada operador para discutir de los procedimientos de operación en una presa específica. Suele utilizarse un manual preparado por el Bureau, titulado "La Formación de los Operadores de Presas" para asegurar una presentación correcta y cabal de todos los aspectos de la explotación. El Bureau recomienda un curso de repaso cuando menos cada 3 años.

Ser un buen observador

Una segunda noción que ayuda a mejorar la seguridad en la explotación de una presa, requiere que el operador se fije mucho en sus alrededores. De poder reconocer posibles problemas es la mejor manera de evitarlos. El operador tiene la obligación de reconocer cualesquier cambios que ocurran, así como el efecto que estas evoluciones puedan tener sobre la seguridad de la presa. El operador deberá prepararse una lista mental de cosas que inspeccionar en cada visita a la presa. Esta lista deberá incluir los drenes de pie, las infiltraciones, los estribos, los espigones, el paramento aguas abajo, la coronación, los canales, los equipos mecánicos, etc., con particular atención a toda nueva área de infiltración, manchas mojadas, depresiones, desalineamientos de piezas estructurales, y cosas parecidas.

Los operadores de la presa de Bottle Hollow en el este de Utah se dieron cuenta del valor de estas observaciones cuando la obra de entrada en una conducción quedó obstruida, ocasionando graves problemas. La alimentación de este embalse, que no está situado sobre un curso de agua, se hace por medio de un canal que lleva los caudales a un conducto, el que luego los conduce al embalse. Los operadores no habían observado que la rejilla sobre la estructura de entrada al conducto se iba tapando con hierbas y otros escombros. Finalmente, el agua se acumuló a tal punto en el canal que éste se desbordó y la corriente excavó una gran trinchera a lo largo de la conducción. La tubería quedó expuesta y socavada sobre una longitud de más de cien metros, necesiándose reparaciones que excedieron 10.000 dólares. Aunque este incidente no amenazaba la integridad de la presa, sirvió para hacer recordar que los operadores de presas deben estar siempre pendientes de lo que pueda suceder.

En un esfuerzo para mejorar su programa de seguridad en las presas, el Bureau of Reclamation ha preparado una lista por escrito tocante a ciertas ocurrencias en sus presas. Una situación que el Bureau estima merece mención en la lista viene siendo la llenada inicial de un embalse nuevo. Otro situación también sería la aparición de una condición insólita, tal como una filtración anormal o una fuerte avenida. Se ha observado que estas listas sirven para prevenir la posibilidad de omitir la inspección de alguna parte importante de la instalación. Todo lo que se observa y, en particular, cualesquier condiciones anormales, deben anotarse en el registro de explotación de la presa para futura referencia. Estos apuntes bien podrían servir como fuentes de información muy útiles en la investigación de algún incidente y hasta podrían servir de defensa para el dueño y los operadores en caso de litigio.

Una vigilancia completa y las inspecciones a intervalos regulares y frecuentes son de mucha ayuda en la explotación segura de una presa.

Comprender las Consecuencias de las Maniobras

Los operadores de una presa pueden realzar de manera significativa la seguridad de una presa si conocen y comprenden las consecuencias de cada acción tomada en relación al funcionamiento de la presa. Un operador debe siempre preguntarse: "¿Cuál será la secuencia de ocurrencias y las consecuencias de la apertura de esta válvula?" Cualquier manejo incorrecto por parte del operador podría ocasionar importantes daños a la presa o a la zona aguas abajo de la presa. Estos errores pueden ser tan simples como no haber apretado el botón correcto, cosa que, a pesar de parecer tan sencilla, podría causar la ruptura de una tubería de salida, resultando en tremendos daños estructurales y posibles pérdidas de vida.

En la presa de Webster, en el centro norteamericano de Kansas, una serie de errores causaron serios daños a la instalación de salida. Durante una inspección de la instalación, la tubería de 122 centímetros había sido vaciada en su sección entre la compuerta de emergencia y la compuerta de operación.

Una vez acaba la inspección, el operador había cerrado la compuerta de regulación y se había ido sin notar que la válvula de la ventosa de 5 centímetros no estaba cerrada y que la compuerta de emergencia se había abierto un poco. Cuando volvió, encontró inundados la galería de las obras de salida y la caseta de la compuerta. Reaccionando ante esta emergencia, el operador intentó evacuar el agua con abrir la compuerta de regulación. Esto sirvió para vaciar la tubería, pero no la galería inundada por la cual corre

la tubería. La misma se volvió boyante conforme se iba vaciando y flotó hasta topar contra el cielo de la galería, con daños que se tuvieron que reparar. La falta en no haber comprendido o anticipado las consecuencias de esta acción, hizo que un desafortunado incidente se convirtiera en una situación muy grave.

Una parte de las galerías interiores y de los pozos de los elevadores de la presa de Grand Coulee en el este del estado de Washington se inundó cuando el operador abrió una válvula de guarda en un tubo de salida para reactivar el sistema después de unas reparaciones. La puerta de acceso al espacio entre la compuerta de guarda y la compuerta de accionamiento no había sido cerrada correctamente cuando el personal de mantenimiento terminó su trabajo. El operador no verificó la puerta, y cuando empezó a presionar el espacio entre las dos compuertas, la tapadera estalló, inundándose la galería en que estaba el operador, el cual, no pudiendo detener la corriente de agua, dejó el lugar. Posteriormente, un equipo de mantenimiento penetró en la galería inundada y cerró la compuerta, parándose así el flujo de agua.

Un operador debe disponer de una formación adecuada para saber como reaccionar en situaciones de emergencia y debe pensar en lo que está haciendo, bien consciente de las consecuencias de sus acciones. Este modo de pensar animaría al operador a verificar un área en que podría haber problemas, o bien a valerse de alternativas para lograr el mismo objetivo sin comprometer la seguridad.

Pasar por alto los límites de la seguridad

Otra área en la que cabe mejorarse la seguridad de una presa consiste en asegurarse de que el operador no intente pasar por alto los dispositivos de seguridad, tales como interruptores de límite, etiquetas de advertencia, rompedores eléctricos, etc. Todos estos dispositivos han sido instalados para proteger los equipos o a las personas que los hacen funcionar. Cuando un dispositivo de seguridad manda el paro de un equipo, el primer impulso del operador podría ser de volver a activar el equipo sin averiguar la razón del paro. Esta maniobra podría ser peligrosa para la presa o para el operador y éste último debe buscar la razón del paro y corregirla antes de continuar la operación.

Muchos sistemas de accionamiento de las compuertas utilizan botones de contacto momentáneo para abrir o cerrar las compuertas. Esto significa que el botón debe permanecer apretado mientras se hace el cambio en la compuerta. Si ese cambio tarda mucho, el operador a veces suele colocar un cerillo o una navaja en el botón para que éste permanezca deprimido, lo que permite al operador atender a otras cosas mientras se mueve la compuerta. Sin embargo, el operador

debe pensar en las consecuencias de esta acción y darse cuenta de que por ella él ha perdido control de la compuerta. Pueden ocurrir serios problemas de no prohibirse esta práctica.

La necesidad de almacenar más agua o de obtener una carga adicional en el generador sirve a menudo como suficiente incentivo para que un operador exceda los límites de seguridad de una presa. Con el fin de elevar en unos cuantos metros el nivel del embalse, algunos operadores de presas hacen verter el agua por encima de las compuertas de los aliviaderos en lugar de soltarla por debajo de los mismos. Otra mala práctica es la de instalar tableros de recrecimiento en la coronación por encima del aliviadero de una presa o de colocar costales de arena sobre éste para aumentar el volumen almacenado. Estas prácticas pueden parecer atractivas, pero no deberían nunca de aplicarse sin un cuidadoso análisis técnico de las solicitaciones adicionales que habrá de soportar la estructura. El operador que impone esta sobrecarga a un embalse debe comprender que al agregar 0,7 metro de agua por encima de la parte superior de la compuerta de un aliviadero de 3 metros por 6 metros de altura equivale a una carga suplementaria de 13 toneladas apoyada contra la compuerta. Esta operación, realizada en la zona de resguardo de la presa, reduce el factor de seguridad de la presa, así como su capacidad para contener los caudales de una creciente. El operador asimismo espera que no sucederá ninguna creciente importante en el tiempo en que se mantenga ese nivel que sobrepasa el nivel máximo normal del embalse. Cuando un operador intenta extender los límites de una presa, el factor de seguridad del embalse queda reducido en la misma proporción.

Los operadores de la presa de Newton en el norte de Utah colocaron un terraplen en el umbral de un vertedero de emergencia y pusieron tableros por encima del vertedero de servicio para almacenar más agua. El Bureau of Reclamation descubrió esta situación en 1979 en el curso de una inspección rutinaria y, por órdenes del mismo, los operadores removieron el terraplen y los tableros. En febrero de 1980, fuertes caídas de lluvia sobre el suelo congelado, así como nevadas, causaron una escorrentía excepcional de agua en el embalse de Newton. Tanto los aliviaderos de servicio como los de emergencia fueron utilizados. De haberse dejado instalados el terraplen y los tableros, la crecida hubiera podido ocasionar la rotura de la presa. Habiendo aprendido una lección muy útil, los operadores nunca más cometieron ese error.

Conocimientos de las condiciones de escorrentía

Un operador que tenga conocimientos básicos sobre las características de escorrentía de la cuenca hidrográfica aguas arriba de la presa y de la capacidad admisible del canal aguas abajo de la presa, dispone de

otro medio muy útil para una explotación segura de la presa durante las avenidas y los periodos de fuerte escorrentia. El operador puede anticipar las aportaciones a los embalses y, según la necesidad, ajustar las descargas para reducir o prevenir una inundación aguas abajo. La falta en no conocer estas condiciones puede presentar un gran riesgo para la presa y para los habitantes aguas abajo de la misma.

El 15 de febrero de 1979, se anunció en una edición de la publicación Engineering News Record que centenas de personas habían perdido la vida cuando oficiales de la Empresa Estatal de Energía Eléctrica de Minas Gerais abrieron las compuertas de protección contra las crecidas en la presa de Tres Mariás, situada sobre el río San Francisco en el sudeste del Brazil. Se había tomado esta medida cuando el nivel del embalse, a consecuencia de las fuertes lluvias de la temporada, había subido a casi 1 metro de la coronación. El artículo de prensa señalaba que se abrieron las compuertas en plena noche, una 5 horas después de haber declarado los oficiales estatales al gobernador que no había necesidad de abrirlas. Los oficiales afirman haber advertido a las poblaciones aguas abajo de la presa, pero parece que hubo una falta de comunicación.

El Bureau of Reclamation elaboró un Plan de Operación Anual para cada una de sus presas. Este plan presenta al operador una línea de acción a seguir con tres situaciones diferentes de escorrentia: mínima, mediana, y máxima. El operador puede entonces utilizar las más recientes predicciones de escorrentia para interpolarlas en estas tres situaciones con el fin de perfeccionar la operación del embalse.

Si se deben realizar fuertes descargas, el Bureau of Reclamation ha preparado un Plan de Anticipación de Emergencias para cada presa, el cual dispone las medidas a tomar para prevenir o reducir los perjuicios materiales y la posibilidad de pérdidas de vida.

Equipos e Instrucciones

Finalmente, un operador debe tener a su disposición los debidos materiales y adecuadas instrucciones para asegurar una buena operación de la presa. Estos materiales deberían de comprender dispositivos tales como un cronómetro y un balde para medir el volumen de infiltraciones y de escorrentia; una cámara fotográfica para preparar un historial de fotos para fines de comparación y descubrimiento de evoluciones progresivas; gemelos para observar las condiciones de más cerca; una lámpara de mano; una cinta medidora; pequeñas herramientas de mano, y equipos de protección y seguridad personal.

ENFOCANDO LA PRESA DE UPPER STILLWATER

Unidad de Bonneville

Proyecto de Utah Central

La presa de Upper Stillwater figura como la primera instalación de almacenamiento de agua construida por El Bureau of Reclamation en la que se utilizó RCC ("roller compacted concrete", o sea hormigón compactado por rodillos). La principal diferencia entre el RCC y los hormigones convencionales consiste en la cantidad de humedad utilizada en la mezcla. La presa fue construida sobre Rock Creek, un curso de agua situado a una elevación de 2440 metros en las montañas Uinta, a unos 160 kilómetros de Salt Lake City, Utah. Cada año, la presa deriva 75.000.000 metros cúbicos de agua al Túnel de Stillwater para utilización en el Proyecto de Utah Central.

La presa de Upper Stillwater viene siendo la cabecera del acueducto de Strawberry, el cual deriva agua hacia la presa de Strawberry, pasando por una serie de túneles, conducciones y embalses.

La presa regula los caudales de Rock Creek, alimentando un embalse con una fluctuación temporal de 44 metros. El embalse debe permanecer lleno durante toda la temporada de actividades deportivas veraniegas, para luego derivarse el agua almacenada hacia el acueducto durante el otoño y en el invierno.

El objetivo de proyecto consistía en construir una presa, de calidad similar a la calidad de una presa convencional de hormigón, pero completada más rápidamente y más económicamente que con otros métodos tradicionales de construcción de presas. Los métodos de rápida construcción seleccionados para alcanzar este objetivo exigían una óptima utilización de los equipos de construcción y una reducción del trabajo manual.

Los paramentos aguas arriba y aguas abajo de la presa fueron formados por medio de un encofrado deslizante horizontal de elementos enclavados del revestimiento de 0,7 metros de alto, que se iban disponiendo antes de colocar el hormigón. Se reemplazaron las operaciones del encofrado convencional con este procedimiento, dándole a la presa un paramento durable de alta calidad. Después del encofrado de los elementos de los paramentos aguas arriba y aguas abajo, se aplicaron dos hormigonadas de 0,348 metro de espesor, compactadas entre los elementos del revestimiento. Esta secuencia se repitió hasta lograr una presa de forma monolítica.

Se utilizó hormigón convencional, llamado hormigón de nivelación, para proporcionar una buena adherencia con los cimientos. En las partes planas de los cimientos, se colocó el hormigón nivelador en bloques. En las superficies inclinadas de los cimientos, el hormigón de nivelación fue vertido en secuencia con el RCC.

Una mezcla de hormigón de masa con cenizas volantes fue utilizada para reducir el calor de la hidratación y para obtener un hormigón más maleable al retardar su fragüe. Esto permitió la eliminación de las juntas de contracción en la presa y aminoró la preparación de las juntas horizontales. La resistencia de la masa mezclada sobrepasa los requerimientos de proyecto.

Vertido en una consistencia de asentamiento nulo, el RCC utiliza suficiente agua para completar el proceso de hidratación, pero no requiere más agua para su colocación y consolidación. Por lo tanto, se pueden utilizar máquinas para mover tierra convencionales, con una reducción del costo unitario.

La presa fue completada en agosto de 1987 y dispone de una coronación de 815 metros de longitud, una cresta de 2494 metros de altura, una anchura de cresta de 9 metros, una altura estructural máxima de 90 metros, y una altura máxima de 62 metros por encima del lecho del río.



Vista aérea de la presa de Upper Stillwater. 23/11/87

ESTUDIO DE UN CASO

LA PRESA DE WEBSTER - DETERIORO DEL HORMIGON DE LA SOLERA DE CAIDA DEL ALIVIADERO

Proyecto: Programa de la Cuenca de Pick-Sloan Missouri
Estado: Kansas
Tipo: Presa de tierra con núcleo impermeable
Completada: 1956
Funciones: Riego, control de avenidas, deportes, pesca y
fauna
Longitud de la cresta: 3267 metros
Altura hidráulica: 33 metros
Capacidad útil: 315.108.000 metros cúbicos
Superficie: 3.432 hectáreas

Características de proyecto: El aliviadero está situado en el colado lateral izquierdo de la presa. Consiste en un canal de entrada, una cresta de hormigón, una obra de regulación con tres compuertas radiales de 102 x 120 centímetros, una caída, un cuenco amortiguador y un canal de desagüe.

Evidencia: Un descantillado continuo se venía produciendo en las juntas de hormigón de la solera del vertedero desde que se terminó la construcción de la presa en 1956.

Incidente: En noviembre de 1962, un informe preparado por el Bureau of Reclamation después de una inspección de la presa de Webster documentaba un desconchado en la solera del vertedero que se creía ser el resultado de la expansión de partículas deterioradas. En los años subsiguientes, el hormigón siguió deteriorándose. En un examen posterior, se hizo la recomendación de remendar el descantillado de la lozas del vertedero, utilizando hormigón epóxido con una aplicación de aceite de linaza para retardar el deterioro causado por la acción del hielo/deshielo.

Después de haberse sacado un gran volumen de hormigón deteriorado, la enorme profundidad y anchura de las zonas afectadas inquietaron al encargado del embalse. Por medio de un análisis de núcleos de hormigón, realizado en 1973 por la Rama de Hormigón y Estructuras en el Centro de Ingeniería e Investigaciones, se descubrió que el problema se debía a grietas "D" (depósito o deterioro) asociadas con la baja calidad de los agregados y con los ciclos de hielo/deshielo. Se le advirtió al encargado de cesar todas las reparaciones hasta nuevo aviso. Después de una investigación de la condición del hormigón, se concluyó que la masa de hormigón

en la presa de Webster era sólida y de calidad aceptable. Las zonas afectadas del hormigón fueron parcialmente reparadas con varios selladores y hormigones epóxicos.

En un informe de 1982, se había recomendado sacar y reemplazar aproximadamente 1 metro de hormigón a cada lado de la junta de contracción. Durante las excavaciones, se decidió sacar solamente el hormigón deteriorado de cada lado de la junta.

Causas: Las grietas "D" están asociadas con la mala calidad de los agregados que tienen fisuras y/o juntas de arcilla que pueden absorber una cantidad considerable de agua. Al congelarse el agua, ocurre una expansión en los agregados, agrietando el hormigón. Las grietas se encuentran típicamente a lo largo de las juntas por las cuales el agua penetra en el hormigón. El vertedero de la presa de Webster está particularmente afectado por esta acción puesto que cada loza del vertedero se encuentra de 0,6 a 2,54 centímetros por debajo de la loza situada más arriba de la junta de contracción. Esta solía ser la práctica en los tiempos en que se construyó la presa, pero ya no concuerda con las actuales normas para superficies por las que corren caudales de alta velocidad. Esta depresión forma un depósito de agua, la que con el tiempo llega a filtrarse a través de las juntas.

Remedio: En 1973, se seleccionaron zonas de ensayo y se utilizaron varios productos selladores para tratar las grietas "D". Las zonas de avanzado deterioro fueron descantilladas, limpiadas, y reparadas con hormigón epóxico que contenía cemento de baja alcalinidad.

Los perímetros de las zonas deterioradas fueron aserrados hasta una profundidad de 5 centímetros para que el nuevo hormigón no tuviera bordes biselados. Se sacó luego el hormigón deteriorado hasta una profundidad de 8 centímetros. Se vertió hormigón nuevo con juntas verticales aserradas de adherencia epóxica. Luego se cubrió la nueva capa de hormigón con unos tapetes viejos, manteniéndose húmeda por un periodo de 30 días.

Las zonas reemplazadas hasta la fecha se hallaban en la sección plana de la solera del vertedero y fueron fáciles de reparar. Sin embargo, la sección inclinada del salto del vertedero está también sufriendo deterioro y su reparación será mucho más difícil y dilatada.

Conclusion: Deberán realizarse reparaciones anuales hasta que todas las juntas deterioradas hayan sido reparadas. Las grietas "D" pueden evitarse al realizarse las debidas pruebas petrográficas de los agregados.



Foto No. 1.- La Presa de Webster. Ejemplo de extremo deterioro localizado. 10/72



Foto No. 2.- La Presa de Webster. Ejemplo de grietas "D" presentes en muchas lozas. 10/72



Foto No. 3.- La Presa de Webster. Los núcleos Nos. 1, 5 y 8 de fracturas cerca de la superficie fueron sacados de las lozas de la solera próximas a las zonas de visible deterioro. Los núcleos Nos. 2, 3 y 4 son del centro de las lozas de la solera y parecen ser sanos. El núcleo No. 6, obtenido en la pared de pie, y el No. 7 en la cubierta de la galería, son también sanos. 2/11/72

LA MISION DEL BUREAU OF RECLAMATION

El Bureau of Reclamation del Department del Interior de los Estados Unidos, es responsable del desarrollo y conservación de los recursos hidráulicos del país en el oeste de los EE.UU.

El propósito original del Bureau, "disponer el desarrollo de las tierras áridas y semi-áridas del Oeste", hoy en día cubre una amplia gama de funciones interrelacionadas. Estas incluyen suministrar fuentes de aguas municipales e industriales; generación de energía hidroeléctrica; agua de riego para el uso agrícola; mejoramiento de la calidad del agua; control de avenidas; navegación fluvial; regulación y control de ríos; enriquecimiento de la fauna y peces; actividades deportivas al aire libre; y la investigación en diseños hidráulicos, construcción, materiales, control de la atmósfera y energía eólica y solar.

Los programas del Bureau son frecuentemente el resultado de una estrecha cooperación con el Congreso de los Estados Unidos, otras agencias federales, los Estados, los gobiernos locales, instituciones académicas, organizaciones de usuarios de agua y otros grupos interesados.

El Bureau ofrece gratuitamente un folleto, titulado "Publicaciones en Venta", el cual describe algunas de las publicaciones técnicas actualmente disponibles, su costo, y como pedir las. Se puede obtener este folleto dirigiéndose al Bureau of Reclamation, Attn. D-822A, P.O. Box 25007, Denver Federal Center, Denver, CO 80225, U.S.A.