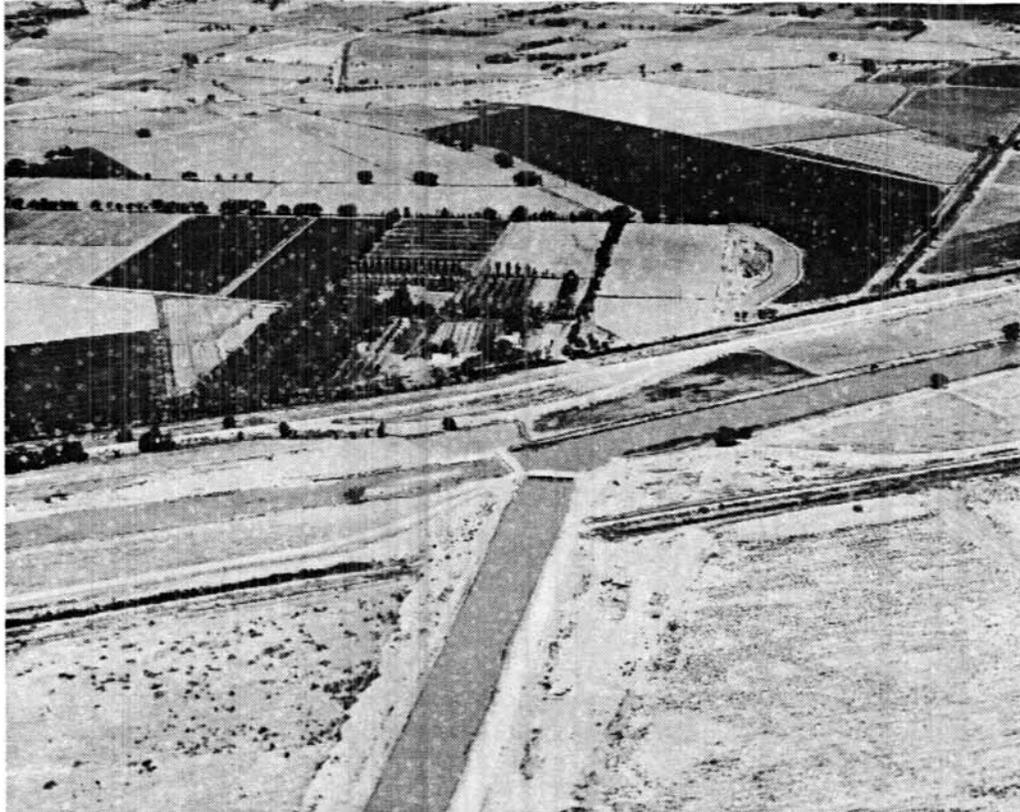


EXPLORACION Y MANTENIMIENTO HIDRAULICO

BOLETIN NO. 153

Septiembre de 1990



EN ESTE NUMERO:

Registradores de datos electrónicos fallan en pozo
de medida de acero

Innovación en una instalación de riego

Obstrucción de orificios de ventilación aguas
abajo de las compuertas de guarda en obras de desagüe

Nuevo método de protección de riberas

Revestimiento de nuevo diseño controla la erosión de márgenes

Reparación de pendientes de relleno utilizando sistemas
de bioingeniería de suelos

Falla de la obra de purga en la presa de derivación Riverside

Reacondicionamiento de la solera de aguas abajo de la
presa de derivación San Acacia

UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR
Bureau of Reclamation

El Boletín de Explotación y Mantenimiento Hidráulico es una publicación presentada a los operadores de sistemas de abastecimiento de agua. Su objetivo principal es de servir de órgano para el intercambio de información para provecho del personal del Bureau of Reclamation y de los grupos de usuarios de agua en lo referente a la explotación y mantenimiento de las instalaciones hidráulicas.

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 contenida en este Boletín.

* * * * *

Ferne Studer, Redactora Administrativa
Bill Bouley, Redactor Técnico
Marie L. Murphy, Traductora
Facilities Engineering Branch
Engineering Division
Denver Office, Code D-5210
PO Box 25007, Denver, CO 80225 EE.UU.
Teléfono: (303) 236-8087 (FTS 776-8087)

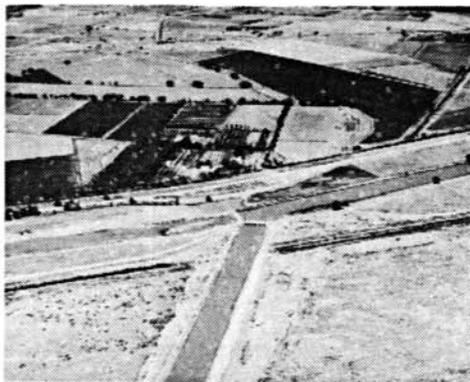


Foto en la portada:

La Presa de Derivación
Riverside, Proyecto del
Río Grande, Estado de
Nuevo México. 24/6/69

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. 153

Septiembre de 1989

	Página
Registradores de datos electrónicos fallan en pozo de medida de acero.	1
Innovación en una instalación de riego.	2
Obstrucción de orificios de ventilación aguas abajo de las compuertas de guarda en las obras de desagüe.	5
Nuevo método de protección de riberas.	10
Revestimiento de nuevo diseño controla la erosión de las márgenes	12
Reparación de pendientes de relleno utilizando sistemas de bioingeniería de suelos.	22
Falla de obra de purga en la presa de derivación Riverside.	34
Reacondicionamiento de la solera de aguas abajo de la presa de derivación San Acacia.	47

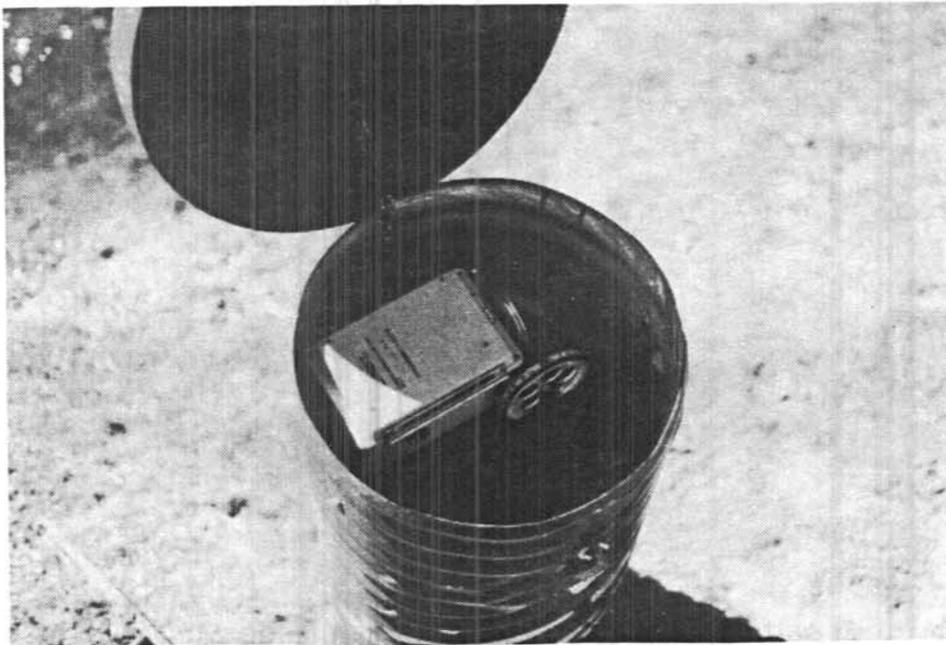
REGISTRADORES DE DATOS ELECTRONICOS FALLAN EN POZOS DE MEDIDA DE ACERO

En el verano de 1989, la división de riego Alberta Agriculture notó repetidas fallas de sus registradores de datos instalados en tuberías de metal corrugado y pozos de medida de acero. Los instrumentos de reemplazo funcionaban por dos semanas y luego fallaban también.

Brian Cook, tecnólogo en electrónica, cree que el problema ocurre cuando la tubería metálica o cualquier otro metal en contacto con el suelo húmedo se convierte en un acumulador primitivo o célula galvánica que produce de 0,7 a 1,1 voltios. Este voltaje, junto con la alta humedad presente en los pozos de medida o de inspección, es suficiente para destruir casi todos los instrumentos y computadoras basados en micro chips. Donde sea posible, sugiere que los equipos electrónicos sean instalados en pozos de medida de PVC, vidrio hilado, hormigón, u otros materiales no conductivos.

Sin embargo, si el equipo electrónico debe instalarse en una estructura de metal enterrada, Brian Cook recomienda el uso de un producto desecante tal como Silica-Gel en una caja de instrumentos herméticamente cerrada y eléctricamente aislada de otros metales.

Para mayor información, sírvase ponerse en contacto con Brian Cook, Electronics Technologist, Irrigation Branch, Alberta Agric., Agriculture Centre, Lethbridge, Alberta, T1J4CT, Canadá; teléfono (403) 381-5879.



Alberta Agriculture ya no utiliza tubos de metal corrugado ni pozos de medida de acero para abrigar sus registradores de datos electrónicos.

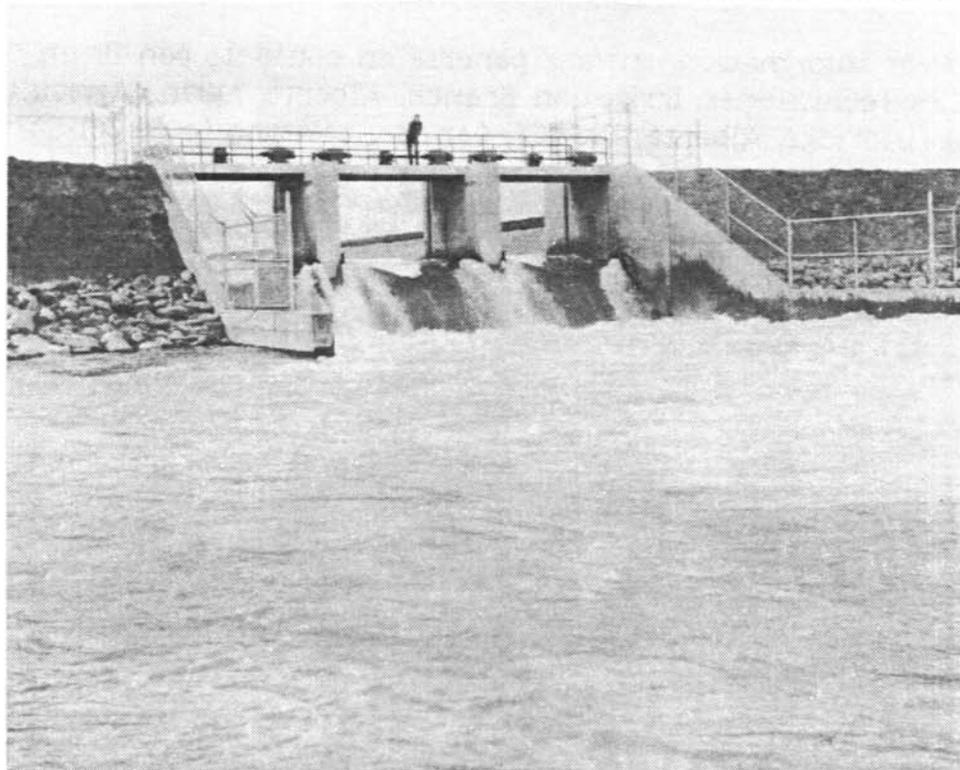
¹Reimpreso con permiso del Redactor, Water Hauler's Bulletin, Alberta Agriculture Centre, Alberta, Canadá T1J4C7, número del Invierno de 1990.

INNOVACION EN UNA INSTALACION DE RIEGO¹

Compuerta automatizada de toma superior gana "Premio de Excelencia

La empresa UMA Engineering Ltd. (UMA) está cambiando el modo de pensar de los ingenieros diseñadores sobre la manera de regular agua en canales abiertos (tradicionalmente por medio de compuertas de toma inferior) con el desarrollo de su "Compuerta automatizada de toma superior". Esta compuerta no sólo ha ganado el "Premio de Excelencia", auspiciado conjuntamente por la revista Consulting Engineer Magazine y la Association of Consulting Engineers of Canada, sino que también ha cobrado buena aceptación de parte de los encargados del suministro de agua.

Al llegar a su diseño innovativo, la UMA prescindió de la tendencia de medio siglo de diseños de obras hidráulicas. La compuerta de toma superior es muy sencilla. Se puede describir como una tabla rectangular, con bisagras en la parte inferior, que se levanta y baja por cables atados a las esquinas superiores. Tablas laterales estacionarias guían la corriente de agua por encima de la tabla de la compuerta. Se parece a un puente levadizo colocado en un canal.

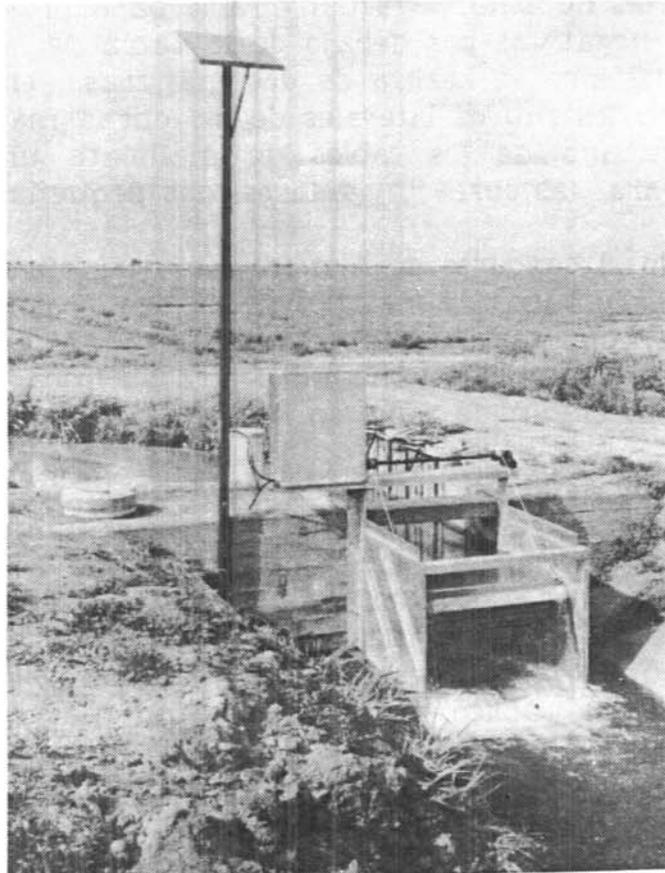


El salto No. 18 en el canal principal de St. Mary es una obra de regulación de salto equipada con tres compuertas de toma superior.

¹Reproducido con permiso del Redactor, Water Hauler's Bulletin, Alberta Agriculture Centre, Alberta, Canadá T1J4C7, número del Invierno de 1990.

Hidráulicamente, la compuerta de toma superior es un dique móvil en el cual la corriente que pasa por encima de la compuerta varía con la fuerza de tres mitades de la carga, según un ingeniero de la UMA, Dale Miller. Esto significa que las fluctuaciones en la tasa de flujo no se reflejan más que como fluctuaciones nominales en el nivel del agua. Por ser que la compuerta de toma superior mantiene el agua a nivel constante, todas las derivaciones a partir del canal tienen estabilidad constante. Para una derivación típica por compuerta, el canalero fija la posición de la compuerta una sola vez puesto que el caudal pasando por la compuerta permanecerá estable.

¿Cómo fue creada la compuerta de toma superior? Patentada en 1890, esta compuerta no fue considerada útil por los diseñadores. Los manuales de diseño actuales no la mencionan. Pero cuando el distrito de riego SMRID (St. Mary River Irrigation District) necesitaba una nueva obra de toma para el embalse Sauder, ya que el gerente no estaba satisfecho con las obras existentes, el ingeniero Jozef Prozniak (entonces empleado de la UMA) empezó a desarrollar este diseño. Dos años después, al intentar patentar su producto, la UMA se dio cuenta de que 90 años atrás, ya se había diseñado y patentado una obra similar a la suya. Una vez diseñada la compuerta, Ian Damiluk, ingeniero de la UMA, le incorporó la automatización para



Esta pequeña compuerta de toma superior funciona por energía solar, pero también puede conectarse a la red eléctrica local.

proporcionar al canalero un control constante de 24 horas. La UMA logró patentar sus reguladores y programas automatizados.

Asistencia económica para seguir desarrollando la compuerta de toma superior fue proporcionada por el National Research Council of Canada, Farming for the Future y el Irrigation Council of Alberta. Con esta ayuda y valiéndose de los últimos avances en la tecnología de computadoras y comunicaciones, la UMA ha reducido el tamaño de la compuerta de toma superior, la que actualmente puede proporcionar un control económico de 24 horas del nivel de agua en los canales más pequeños.

La compuerta de toma superior facilita la operación para el canalero; un cambio de nivel del agua de 10 cm se logra con un cambio de compuerta de 10 cm. Los incrementos de control son muy pequeños y se pueden precisar ajustes de compuerta de solamente 5 cm.

Por más simple que aparezca, se necesitó tiempo para llevar el nuevo diseño de la etapa de concepción a una obra de riego acabada.

Por ejemplo, para prevenir vibraciones (mecánicas y auditorias) y flujos desiguales por encima de la compuerta, la curva de caída o flujos sobrantes necesitan evacuar el aire para prevenir el desarrollo de presiones negativas por debajo de la tabla de la compuerta. La evacuación del aire se realiza de dos maneras: encastrar tubos de ventilación en los muros laterales de las obras más grandes; o bien encastrar en uno de los cables de malacate una manguera de ventilación para las obras modulares más pequeñas.

La UMA pidió el concurso de Armtec Inc. (un fabricante importante de compuertas y tubos de metal), para la realización de prototipos de diseños de compuertas como experimentos. Hoy en día, Armtec ha agregado la compuerta de toma superior a su línea de productos y la vende tanto en el Canadá como en los Estados Unidos.

Cabe decir que el desarrollo por la UMA de la premiada compuerta de toma superior representa una herramienta muy útil para el ingeniero. Con el control provisto por esta nueva obra, se hace un uso más eficiente de los recursos hidráulicos. Emparejada con un sistema de control automatizado, la compuerta de toma superior proporciona una mayor conservación y manejo del agua en esta época en que el público manifiesta mucho más interés en todo lo tocante al agua, y los que tienen a su cargo los recursos hidráulicos requieren mayor eficiencia de parte de su personal de operación y de las herramientas que tienen a su disposición.

Para mayor información, sírvase comunicarse con Dale Miller, P.Eng., UMA Engineering Ltd., Stafford Drive North, Lethbridge, Alberta T1H2B2, Canadá, teléfono (403) 329-4822.

OBSTRUCCION DE ORIFICIOS DE VENTILACION AGUAS ABAJO DE LAS COMPUERTAS DE GUARDA EN LAS OBRAS DE DESAGÜE

por Darrel E. Krause¹

Generalmente, se instalan orificios de ventilación entre la compuerta de guarda (algunas veces llamada compuerta de emergencia) y la compuerta de regulación (válvula) de una configuración de obras de desagüe. Los ventiladores se conectan normalmente del lado de aguas abajo del cuerpo de la compuerta de guarda para distribuir la corriente de aire. Sin un abastecimiento adecuado de aire, pueden desarrollarse presiones negativas cuando se cierra la compuerta de guarda bajo condiciones de carga no equilibrada, las cuales pueden causar daños por cavitación o separación de la columna de agua; o bien, como se señalará más adelante, la falta de aire puede resultar en el desplome de la tubería aguas abajo.

Antecedentes

Durante operaciones normales, la compuerta de guarda se mantiene completamente abierta durante el pasaje del agua por la obra de desagüe. La compuerta reguladora (o válvula) en la extremidad de la tubería se utiliza para regular o parar la corriente de agua. Con la compuerta/válvula de regulación cerrada, la compuerta de guarda puede entonces cerrarse bajo condiciones de carga equilibrada. Bajo estas condiciones normales de operación, el ventilador se necesita solamente para sacar el aire de la tubería entre las compuertas (o compuerta y válvula) cuando se llena de agua o para suministrar aire a la tubería cuando se vacía para trabajos de mantenimiento o inspecciones internas.

Sin embargo, si por alguna razón la compuerta/válvula reguladora no puede cerrarse, es posible que la compuerta de guarda deba funcionar bajo condiciones de carga desequilibrada para parar la corriente de agua en una situación de emergencia. Si no se suministra suficiente aire a la tubería aguas abajo de la compuerta, presiones negativas pueden ocasionar el aplastamiento de la tubería.

El tamaño del ventilador puede variar y se determina a partir del diámetro y de la longitud de la tubería de aguas abajo y del caudal y carga de proyecto. Los orificios de ventilación suelen ser pequeños para las compuertas/válvulas acopladas relativamente cerca y se utilizan esencialmente para sacar el aire cuando de llena o se vacía

¹Ingeniero empleado por el Bureau of Reclamation, Facilities Engineering Branch, Denver, Colorado, EE.UU.

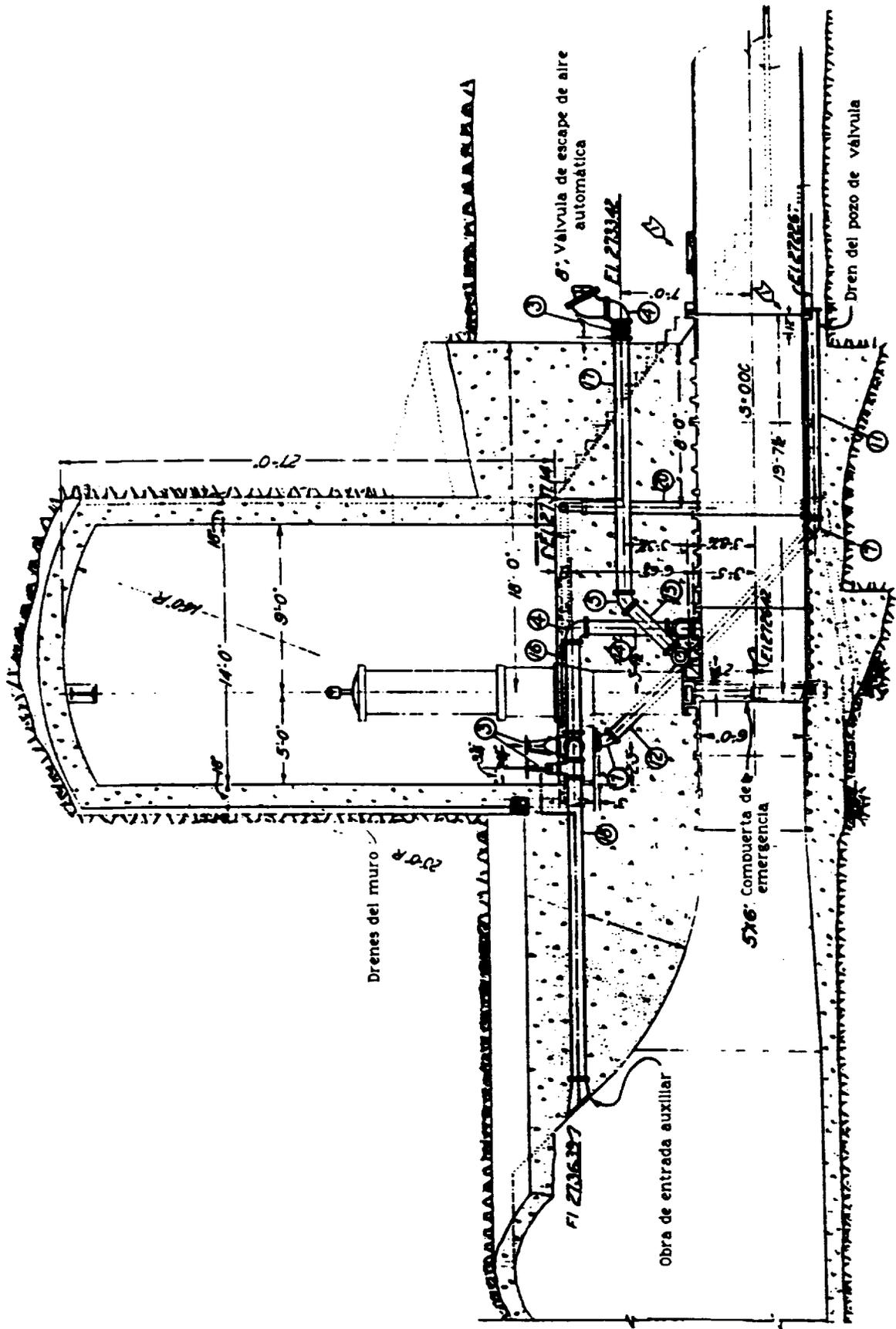


Figura 1.- Ejemplo del montaje de una válvula de escape de aire dispuesta sobre una ventosa aguas abajo de la compuerta de guarda.

la tubería situada entre ellas. Se requieren ventiladores más grandes cuando la compuerta de guarda está situada a alguna distancia aguas arriba de la compuerta/válvula y existe el peligro de un desarrollo de altas presiones negativas, ocasionando la falla de la tubería durante un cierre de emergencia de la compuerta de guarda. Aun si la falla de la tubería no fuera una preocupación, se pueden también instalar ventiladores más grandes para reducir las vibraciones y el ruido que ocurren durante un cierre de urgencia. El tamaño de los ventiladores no se ha calculado para prevenir daños menores e infrecuentes de cavitación durante el corto período requerido para un cierre de emergencia.

La mayoría de los ventiladores disponen de una válvula de aire combinada (vacío/descarga) (véase figura 1) para permitir un funcionamiento automático, particularmente durante un cierre de emergencia. Esta combinación de válvula permite sacar el aire de la tubería cuando se llena la misma y permite la admisión de aire durante un desagüe o cierre de urgencia. Además de la válvula de aire combinada, la mayor parte de los ventiladores consisten de una tubería de acero encastrada en hormigón, con múltiple ventiladores en el lado aguas abajo de la compuerta de guarda. Los orificios de ventilación están situados para permitir una distribución igual de aire (Figura 2), proporcionando una operación segura de las obras de desagüe, particularmente durante un cierre de emergencia.

Incidentes de Obstrucciones

En los últimos años pasados, el personal del Bureau ha venido realizando pruebas de campo para determinar un procedimiento normalizado apropiado para asegurar el cierre de las compuertas de guarda. Una de estas pruebas fue realizada en la presa Silver Jack en el sudoeste de Colorado. Durante el curso de la prueba, se notó que los ventiladores múltiples situados aguas abajo de la compuerta de guarda estaban casi tapados con limo y desechos, reduciendo el paso de aire en un 75%. Esta obstrucción tenía un efecto dramático sobre el suministro de aire durante el proceso de cierre de urgencia. Problemas parecidos han sido observados y corregidos en otras instalaciones similares, donde los pequeños ventiladores estaban obstruidos por oxidación y limo.

Precauciones a Tomar

Los operadores de todas las instalaciones del Bureau equipadas con tipos similares de configuraciones de obras de desagüe deben estar conscientes de la posibilidad de obstrucciones y de sus consecuencias. Limo, desechos y orín pueden acumularse en el curso de operaciones normales, tal como sucedió en la presa Silver Jack. Inspecciones

completas y frecuentes (cuando menos anuales) de los ventiladores y pasaje/orificios, así como del conjunto de la válvula de aire, deben formar parte de los cargos normales y responsabilidades del personal operador de la presa para asegurar un funcionamiento seguro de los ventiladores y de las obras de desagüe. Esto es particularmente importante en caso de un cierre de urgencia cuando la tubería podría fallar debido a un suministro inadecuado de aire.

NUEVO METODO DE PROTECCION DE RIBERAS¹

por Clifford Baber, P.E.²

Contando con cinco pequeños ríos que fluyen por las zonas residenciales e industriales de la ciudad de Saint Charles, Missouri, EE.UU., la erosión de las riberas siempre ha sido motivo de grande preocupación para los ingenieros municipales y los dueños de plantas y propiedades particulares.

Entre los cinco ríos, Cole Creek tiene la mayor cuenca hidrográfica, con mayores fluctuaciones de corriente. Debido a la fuerte erosión cerca de una residencia en las orillas de Cole Creek, la ciudad investigó y evaluó varios métodos de control de erosión.

Se pensó primero en un sistema de red de retención, pero debido a las pendientes casi verticales del río, los fabricantes no recomendaron su uso. Un tablestacado fue el siguiente método investigado, pero por su elevado costo de entre US\$125.000 a US\$130.000, tampoco se recomendó este método. Un muro de retención de hormigón que se pudiera posteriormente incorporar en un muro vertical de canal fue la tercera solución investigada. El costo de este muro de 5 m de alto x 19 m de largo fue estimado a US\$76.000 en 1987. También se consideró un muro de gaviones de 24 m de largo por 5,5 m de alto, pero el costo era de US\$75.500 y la municipalidad siguió buscando una solución menos costosa.

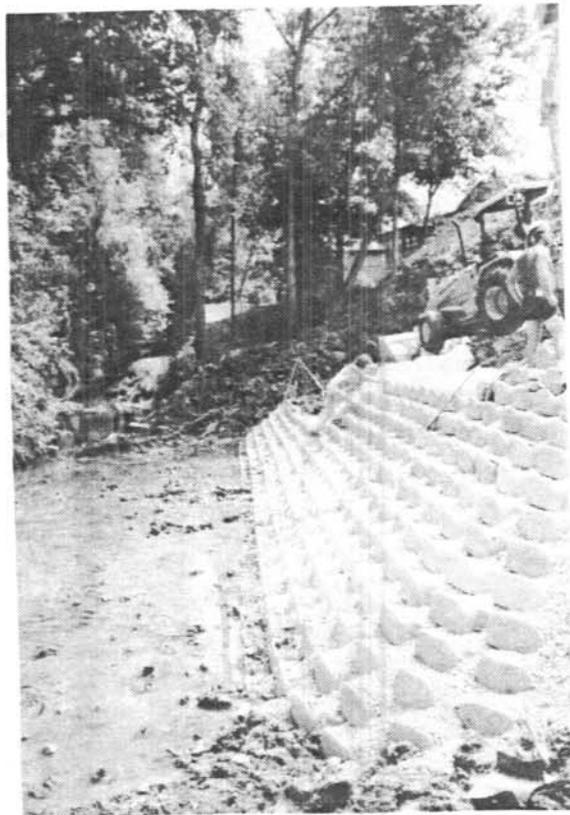
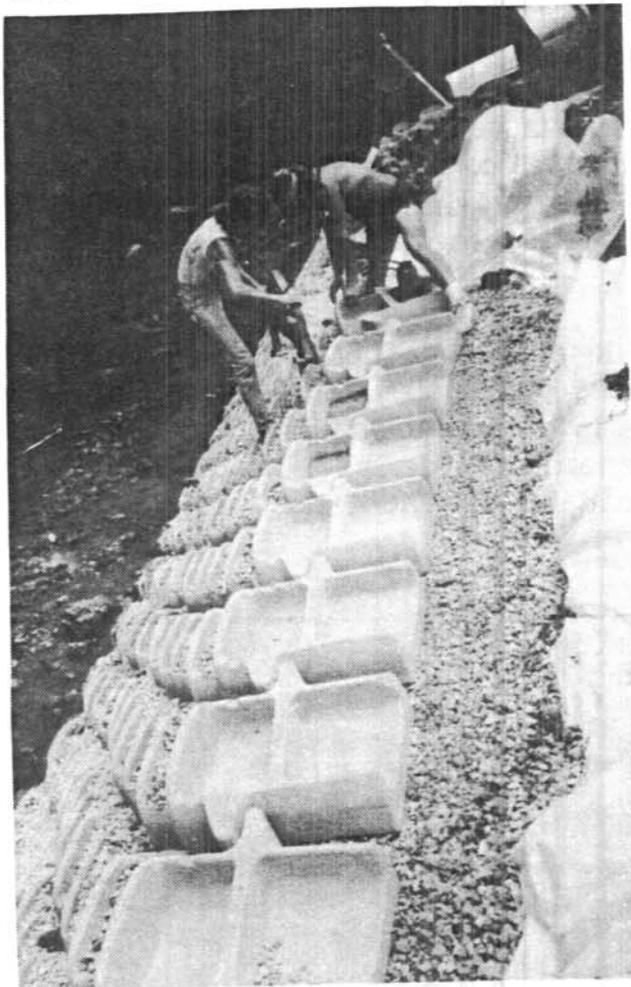
A fines de 1987, se dió consideración a un nuevo método de estabilización de márgenes llamado Waterloffel, el cual representa una variación del sistema de muros de retención Loffelstein que originó en Europa, y consiste de bateas de hormigón con alas trabadas. Cada batea mide 46 cm de ancho, 66 cm de largo, 18 cm de alto y pesa aproximadamente 80 kg. Las bateas Waterloffel son fabricadas por la empresa Seagren Industries, Saint Louis, Missouri. Se estimó que el muro de retención podía ser construido por aproximadamente US\$54.000.

La construcción del muro de retención Waterloffel empezó con una base de 1 m de espesor colocada a 30 cm por debajo del lecho del arroyo. La mala condición del suelo y repentinas tronadas obstaculizaron la construcción del basamento. Durante la instalación del basamento, la primera hilada de bateas fue encastrada en hormigón fresco para prevenir deslizamientos entre las bateas y la base. Se situó la siguiente hilada sobre la hilada ya completada. Cada hilada fue colocada a 20 cm en retroceso, para crear una pendiente de 40° a partir de la vertical.

¹Reproducido con permiso del Redactor, Public Works, número de Dic. de 1989.

²Ingeniero Asistente de la Ciudad de Saint Charles, Missouri

Completadas las primeras seis o siete hiladas, se instaló un sistema de protección contra la socavación, consistiendo de una red rellena de hormigón construida al pie del muro de retención para prevenir la socavación a lo largo del basamento.



El sistema de estabilización de la berma se construye con bateas sobre el talud empinado, con alas embutadas, según detalle a la izquierda. Posteriormente, se colocó un sistema de protección contra la socavación en la base.

Para asegurar buen drenaje a través del muro, se colocó una capa de roca limpia de 33 cm de espesor detrás del muro y se rellenaron las bateas con roca limpia, con una tela filtrante entre la capa de roca y la berma excavada para reducir la contaminación de la roca limpia. La configuración de las bateas permitirá a la vegetación crecer a lo largo del muro, haciendo cuerpo éste con sus alrededores naturales.

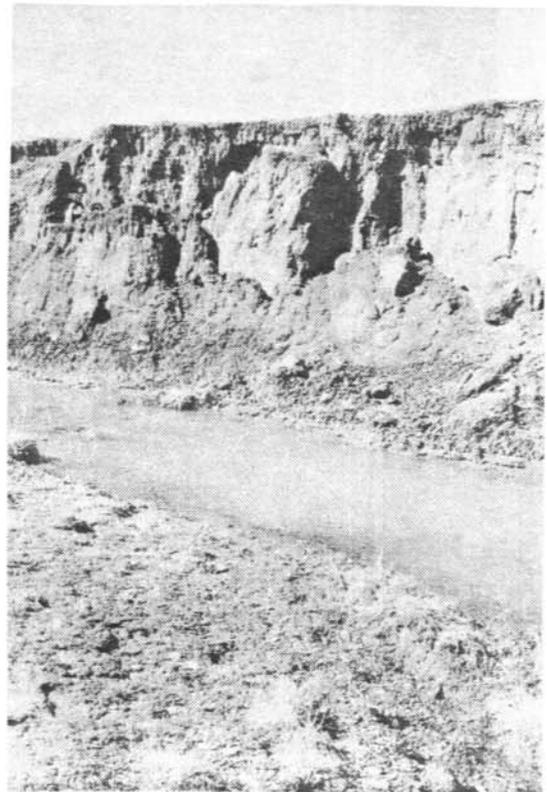
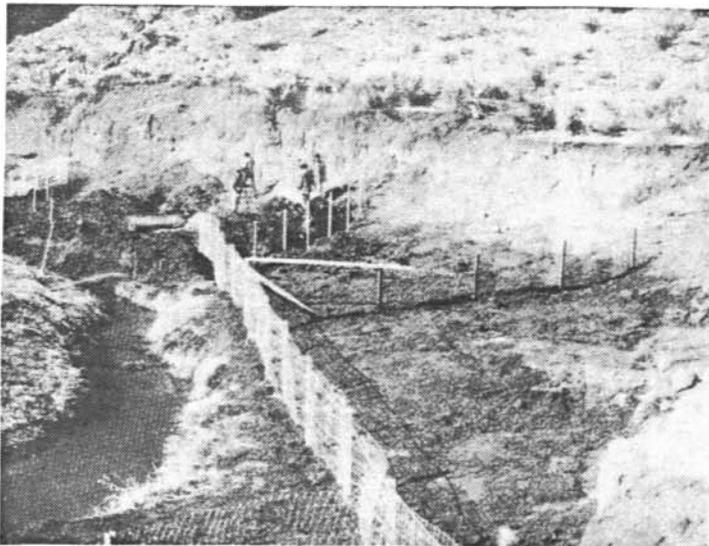
El muro Waterloffel completado mide 26 m de largo por 6 m de alto y contiene 1210 bateas. Se instaló un promedio de 130 bateas cada día y la construcción del muro quedó terminada en un mes. Las apuestas para el muro variaban de US\$56.492 a US\$88.365 y la apuesta la más baja representaba un 34 por ciento de ahorro en comparación con el costo del muro de gaviones, la siguiente solución más económica considerada.

UN REVESTIMIENTO DE NUEVO DISEÑO CONTROLA LA EROSION DE LAS MARGENES¹

por Russell A. LaFayette y David W. Pawelek²

Un análisis de la condición de la cuenca hidrográfica del Arroyo Bluewater cerca de Grants, en el estado de Nuevo México, EE.UU., reveló que a pesar de que la mayoría de las tierras altas estaban en condición a lo menos satisfactoria, el corte de meandros del cauce continuaba creando sedimentos excesivos en el sistema fluvial. El problema fue finalmente resuelto mediante un sistema de revestimiento novedoso.

El sitio del proyecto está ubicado a lo largo del canal principal del Arroyo Bluewater, uno de los dos principales cursos de agua que contribuyen la mayor parte de la alimentación del Lago Bluewater, con una superficie de almacenamiento de 940 hectáreas en el nordeste de Nuevo México. Ubicada en las Montañas Zuni, la cuenca



Vista de la construcción del revestimiento muestra un segmento del deflector principal paralelo al flujo, un deflector perpendicular, y los postes para otro. A la derecha, la margen de la rama principal del Arroyo Bluewater derrumbándose antes de las reparaciones.

¹Reimpreso con permiso del Redactor, Public Works, número de dic. de 1989.

²Hidrólogos empleados, respectivamente, del USDA Forest Service, Southwestern Region; y del Cibola National Forest. Albuquerque, Nuevo México, EE.UU.

hidrográfica abarca 21.000 hectáreas, 86 por ciento de las cuales son administradas por el distrito Mt. Taylor Ranger District, Cibola National Forest, Southwestern Region, dependencia del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los EE.UU. La precipitación anual promedio varía de 350 mm en el Lago Bluewater a 610 mm en las alturas montañosas. Las lluvias ocurren principalmente en el verano durante tormentas eléctricas de gran intensidad y corta duración.

La cuenca hidrográfica refleja claramente el uso de la tierra durante los últimos 200 años. La colonización por españoles y angloamericanos, acompañada por excesivo pastoreo y explotación de bosques, redujo la cobertura del suelo, disminuyó la infiltración de agua, aumentó la erosión superficial y por escurrimiento, e inició la degradación del canal. La explotación de bosques sobre la mayor parte de la cuenca hidrográfica ocurrió entre 1890 y 1940. El pastoreo de reses y ovejas vino después. Cicatrices de fuego en los árboles y troncos restantes indican incendios extensivos. Desde la época en que el Servicio Forestal adquirió estas tierras, al comienzo de los años 40, una mejor gestión del pastoreo y de la explotación de bosques ha mejorado considerablemente la condición del terreno. [2]

En 1984, se inició un análisis de función hidrológica,[3,4] y sus resultados fueron resumidos por Hanes y LaFayette [5] en 1987. En términos generales, la mayoría de las vertientes inferiores se encontraron a lo menos en condiciones satisfactorias. El mejoramiento en el uso de terreno le permitió a la mayor parte de la superficie recobrar suficiente cobertura para detener la erosión superficial y moderar el escurrimiento provocado por las lluvias y el deshielo de nieve.

Los Problemas Continúan

A pesar de esto, los problemas persisten. La recuperación de la zona de drenaje ha sido lenta. La erosión regresiva de las torrenteras continúa atacando grandes praderas, rebajando su capa freática, produciendo sedimentos y disminuyendo la productividad. El serpenteo del canal produce fuerte erosión de las márgenes, resultando en sedimentación del cauce y del lago. Caminos mal situados o no necesarios encauzan el agua en drenes, al igual que las huellas de ganado. Los picos de avenidas siguen demasiado elevados, mientras que los caudales permanentes se mantienen muy bajos, limitando las corrientes perennes en la cuenca. La vegetación ribereña no alcanza su potencial, ocasionando márgenes inestables, temperaturas de agua más elevadas y baja producción piscícola.

Las revelaciones del estudio de la cuenca hidrográfica culminaron en un programa a largo plazo para mejorar la función hidrológica y sus

beneficios resultantes. Los objetivos incluyen: moderar el punto máximo de las avenidas, prolongar los caudales permanentes y almacenar agua dentro del manto del suelo, reducir la sedimentación de los cursos de agua y del lago, favorecer la productividad de la fauna y piscícola, aumentar la productividad forestal y ganadera, demostrar métodos de análisis y tratamiento de la cuenca hidrográfica y preservar los recursos arqueológicos.

Los métodos de tratamiento comprenden: control de la salida de torrenteras, cierre de caminos y mejoras de los cruces de canales, gestión de ganado, aumento de la vegetación ribereña, mejor control forestal, control de los niveles base de los canales, mejoras en la administración de la fauna y peces, y control de la erosión de las márgenes. El resto del presente artículo se refiere a un método para alcanzar este último objetivo.

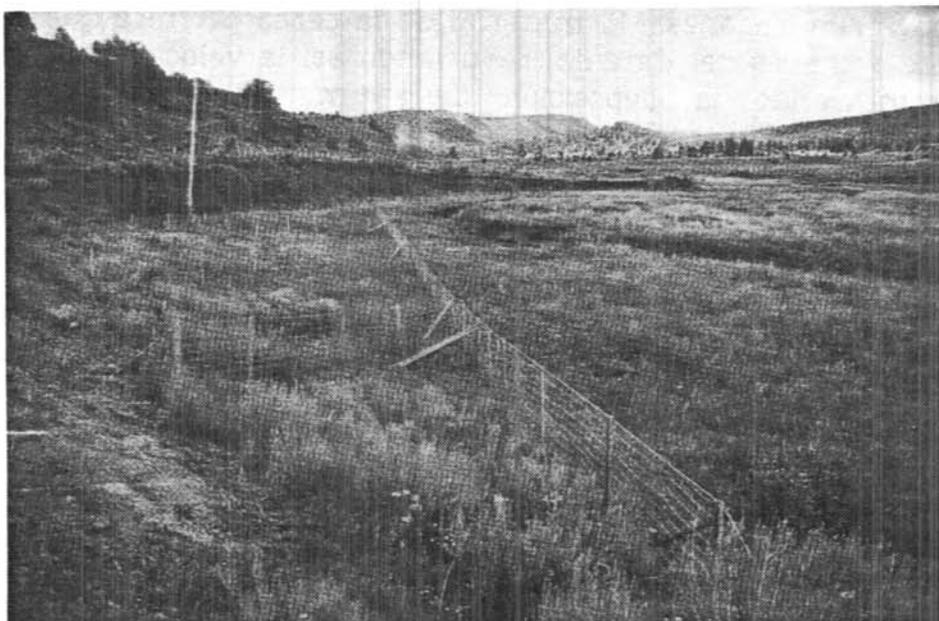
Control de la Erosión de las Márgenes

La degradación del canal y el serpenteo de la corriente ha ocasionado una fuerte y activa erosión de varias márgenes a lo largo del cauce principal del Arroyo Bluewater. El movimiento lateral del agua en el canal ha ocasionado la socavación de márgenes que varían de 3 a 6 metros de alto, provocando el derrumbe de un gran prisma de suelo cayendo directamente en la corriente del canal. Ninguna vegetación ribereña se podía establecer en estas márgenes y la producción de sedimentos era considerable, especialmente en los años de altos caudales. Catorce márgenes de este tipo, junto con muchas otras más pequeñas, se midieron en una sección de 6,4 km de largo del canal que se extiende entre tierras privadas hacia el centro de la cuenca hidrográfica y un importante cruce de carretera sobre el lago. Se analizaron varios métodos para el control de esta erosión excesiva de las márgenes y se escogió el método que parecía ser el mejor.

El método seleccionado debe detener el derrumbe de las márgenes para así limitar la sedimentación del canal y del lago. Debe obrar con la corriente y no en su contra para conservar y favorecer una longitud máxima de la corriente y mantener el gradiente del canal. El sistema debe también favorecer la acumulación en sitio de los sedimentos y el desarrollo de vegetación ribereña y de una cobertura general del suelo.

Se evaluaron un número de métodos de control de la erosión de las márgenes, considerando sus ventajas y desventajas.

Control del ganado en las áreas ribereñas.- Esto sería una solución únicamente de muy largo plazo. Agua circulando a lo largo de la base de muros de protección podría seguir socavando las márgenes verticales.



Una cobertura excelente se estableció dentro de menos de un año después de la instalación del revestimiento.

Plantado de vegetación ribereña. - El plantado de vegetación sin control del ganado es barato pero no efectivo. El progreso tomaría muchos años y posiblemente no llegue a controlar el agua en la base de las márgenes verticales.

Formado de las márgenes. - Si bien el formado de las márgenes reduce el prisma de suelo que entraría al canal y suministraría espacio para el crecimiento de plantas, los problemas creados incluyen dónde colocar la tierra sobrante después de formar la pendiente y la erosión de la superficie antes del crecimiento de la vegetación. Este método no impide que el agua corra a lo largo de márgenes desnudas ni detiene el serpenteo.

Gaviones. - A pesar de que previenen la erosión de las márgenes eficazmente, sus problemas incluyen su alto costo, su compleja construcción y el hecho de que no estimulan la deposición de sedimento en sitio ni el establecimiento de vegetación ribereña.

Gatos Kellener o tetraedros. - Estos métodos se acercan a los objetivos del proyecto ya que siguen el contorno de la corriente, promueven la deposición de sedimentos y el establecimiento de vegetación ribereña. Sus puntos negativos incluyen un costo relativamente alto, construcción compleja y falta de atractivo estético. Además, la mayoría de los sistemas de gatos están diseñados para sistemas de corrientes más importantes.

Revestimiento de cerca porosa. - Esta alternativa se seleccionó por varias razones. El material de la cerca permite que el agua pase a través del sistema, reduciendo así la velocidad del agua y promoviendo la deposición del sedimento. Los sedimentos suministran un medio de crecimiento para la vegetación ribereña. El crecimiento de las plantas, especialmente el de la especies leñosas, refuerzan el sistema en su totalidad al mismo tiempo que lo hacen menos visible al público. El sistema mantiene en gran parte el largo de los meandros y la gradiente. A fin de acelerar la recuperación es necesario mantener el ganado alejado, y un pastoreo controlado se puede iniciar después de varios años.

Se seleccionaron dos meandros del canal para la aplicación del sistema de revestimiento de cerca porosa. Estas dos ubicaciones, que en un examen anterior de meandros se designaron sitios G y H, tenían un margen con un largo combinado de 427 metros. Los declives de los meandros sujetos a erosión medían hasta 5,5 m de alto. Basándose en tres medidores de caudal de la agencia federal de reconocimientos geológicos, USGS, en la Montañas Zuni, los caudales de diseño para las avenidas de intervalos de ocurrencia de 50 y 100 años son de 35,3 m³/seg y 40,2 m³/seg, respectivamente, promovientes de la cuenca hidrográfica de 15.600 hectáreas más arriba de los sitios (figura 1).

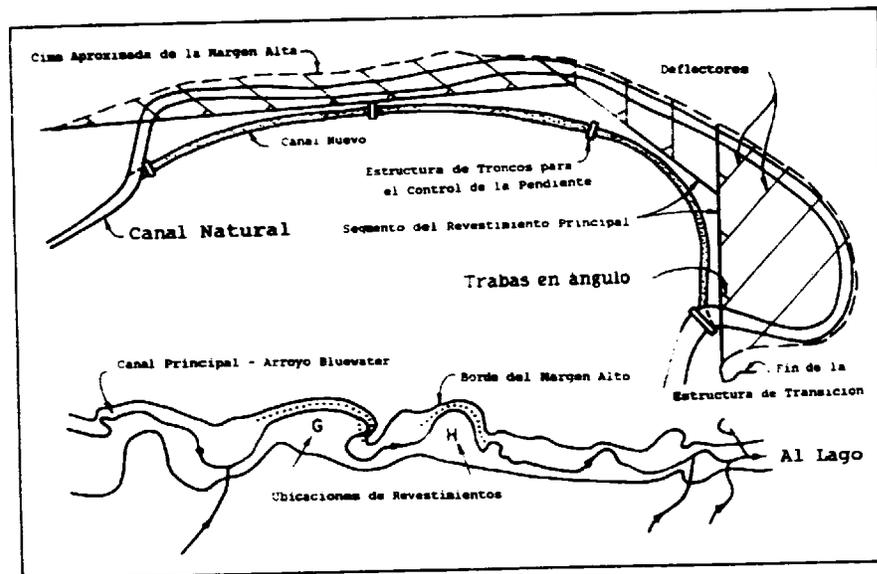


Figura 1. - Ubicaciones de revestimientos en el arroyo y detalles del revestimientos del diseño G.

Los suelos son de aluvión profundo y el lecho del canal está firmemente establecido en este material. Las plantas dominantes en las banquetas altas son rabbitbrush (*Bigelovia graveolens*) y bistorta (del género *Polygonum*). Pasto Kentucky azul se encuentra en las terrazas inferiores cerca de la corriente. Evidencias de terrazas antiguas y cicatrices de meandros indican una historia de degradación y serpenteo del canal. Antes de la llegada de los colonos europeos, especulamos que el Arroyo Bluewater seguía un valle aluvial ancho y poco profundo con una vegetación ribereña significativa y constituía una morada para numerosos castores y otros animales salvajes.

Diseño y Materiales del Proyecto

Los materiales son la clave de este diseño. Otros diseños que hemos estudiado utilizan postes de teléfono tratados, tuberías de diversos diámetros, rieles de ferrocarril, y otros materiales similares. [6]. Todos estos son difíciles de manipular y necesitan taladrado u otros métodos para fijar los materiales de la cerca. Los materiales generalmente utilizados eran cercas de alambre eslabonado galvanizado o de alambre soldado.

El diseño en el Arroyo Bluewater utiliza un perfil en "U" de acero galvanizado pre-perforado comúnmente usado para las señales de carretera (figura 2). Estos postes se pueden adquirir en varios largos en incrementos de 2 pies (61 cm), en pesos de 2,5 a 4 libras/pie (3,7 a 6 kg/m). Dos o más postes se pueden apernar para obtener una mayor resistencia. Estos postes son fáciles de manipular, se pueden instalar a mano o con máquinas, y las perforaciones son útiles para poner pernos y pasar cables o alambres.

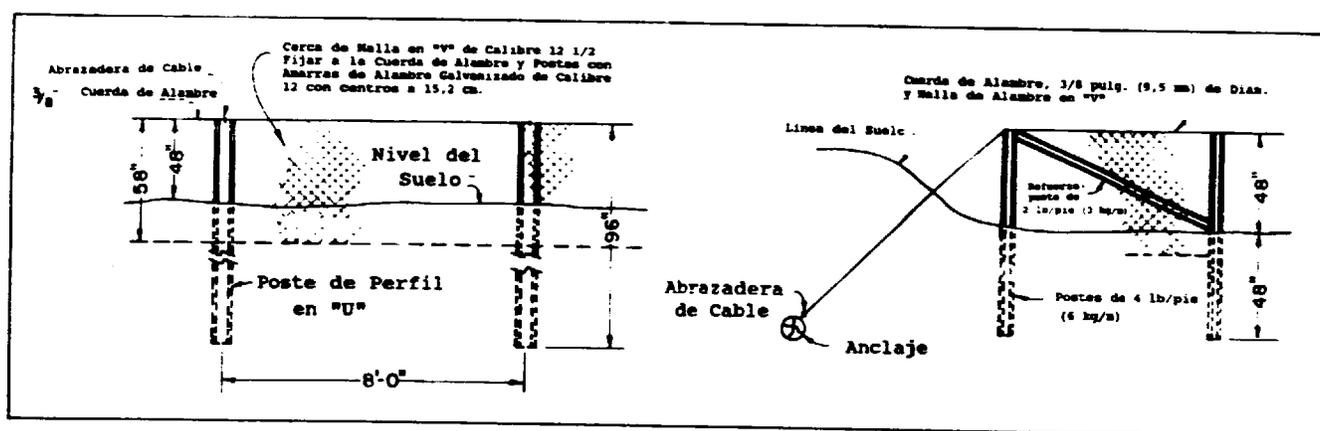


Figura 2.- Detalles del revestimiento principal y de las secciones deflectoras y del conjunto de refuerzo

Como material de cerca, seleccionamos una malla de alambre galvanizado tejida en "V" de calibre 12-1/2. Las hebras horizontales son de alambre retorcido doble. Las hebras verticales de la malla en "V" se entrelazan con las hebras horizontales en lugar de estar soldadas, un sistema más fuerte y flexible ya que las soldaduras de punto se pueden romper. Las cuerdas de alambre utilizadas como soporte superior y como anclaje son galvanizadas, al igual que todos los fijadores.

Cada sección de revestimiento consiste de varios componentes. Se excavó un cauce nuevo permanente para mantener el agua alejada de la margen erodada, suministrar espacio de trabajo y un lugar para depositar sedimento y favorecer el crecimiento de plantas. El nuevo canal se debe maximizar para mantener el largo y gradiente total de la corriente.

La sección de revestimiento consiste de dos elementos: Uno o más segmentos principales alineados paralelos al flujo, y una serie de deflectores orientados perpendiculares al flujo que se extienden desde los segmentos principales hasta las márgenes. Los segmentos principales y los deflectores están cubiertos con el material de cerca, de modo que la corriente y los materiales que ésta arrastra fuerzan la malla contra los postes. Una cuerda de alambre galvanizado se extiende sobre el extremo superior de los segmentos principales; esta cuerda se mantiene a tensión y se fija al suelo mediante un anclaje fabricado de secciones de poste. Otra cuerda de alambre se encuentra fijada en forma similar a la parte superior de los postes de los deflectores y a las márgenes. El material de cerca se fija a los postes y a la cuerda de alambre mediante amarras de alambre galvanizado de calibre 12 y pernos en "U" galvanizados.

En este diseño, postes de 2,5 metros se enterraron a 122 cm de profundidad, dejando 122 cm expuestos. Los postes de los segmentos principales y de los deflectores se enterraron a una distancia entre centros de 2,44 metros. Se utilizó material de cerca de 147 cm de alto, dejándose enterrados 25 cm, con los 122 cm restantes expuestos. Esto se hizo para proporcionar protección por debajo del suelo en caso de que el canal serpenteo o se ensanche contra el revestimiento.

En diversos sitios, se enterraron troncos de pino Poderosa de 61 cm de diámetro en el nuevo canal dejando la parte superior del tronco a nivel con el cauce del arroyo. Esta característica se diseñó para suministrar un control provisional de la pendiente mientras los revestimientos se establecen en forma segura.

Se agregaron varias características para mejorar la efectividad de los revestimientos. Se sembraron semillas en la tierra revolcada para promover la cobertura del suelo y reducir la erosión. Esquejes de

saucos locales se plantaron a lo largo de las márgenes para reforzarlas y eventualmente suministrar sombra. Se plantaron estacas de chopo de Virginia para suministrar un componente alto para el futuro y una fuente de semillas. El pastoreo de ganado se ha eliminado por lo menos durante cinco años para darle a la vegetación la oportunidad de establecerse, después de lo cual se permitirá un pastoreo bien administrado.

Resultados del Proyecto

Un contratista instaló los revestimientos en los sitios G y H a fines del otoño de 1986. Nieves encima del promedio produjeron un deshielo significativo en la primavera de 1987 antes de que se pudiera establecer la vegetación. Las cercas, empero, funcionaron en forma impecable, captando grandes cantidades de depósitos de sedimentos y pedacitos de leña. El nuevo cauce se ensanchó mucho, pero no tanto como para poner en peligro las estructuras.

El crecimiento de vegetación en y alrededor de las cercas fue satisfactorio en 1987, suministrando resistencia adicional contra la corriente para mejorar la captación de sedimentos y proporcionar cobertura del suelo y de las márgenes. En varias ocasiones, grupos de voluntarios plantaron esquejes de sauce, y se colocaron también estacas de chopo de Virginia. Durante el segundo invierno no cayó mucha nieve por lo que el deshielo fue poco, pero ocurrieron escurrimientos considerables a resultado de tormentas eléctricas de verano. El crecimiento de plantas en y alrededor del revestimiento fue excelente, con la excepción de los esquejes de sauce que no dieron muy buenos resultados. La mayoría de las estacas de chopo de Virginia perdieron su vegetación superior pero germinaron desde el cuello de la raíz durante el verano de 1988.

Debido a una instalación incorrecta y a un ensanchamiento inesperado del cauce, varias de las estructuras de troncos de protección de la pendiente fallaron. Los troncos que fueron instalados correctamente continúan funcionando bien y permanecen sumergidos, excepto en temporadas de sequía.

El costo del proyecto, incluyendo materiales, mano de obra y equipos, alcanzó US\$27.700. Con un largo de margen de 427 metros, los costos promediaron US\$64,90 por metro de margen protegida. A medida que aumenta el crecimiento de vegetación, los costos de mantenimiento deberán ser mínimos, ya que cada estación que pasa aumenta la resistencia de las raíces y la cobertura de las márgenes.

Los diseñadores del proyecto están seguros de que el proyecto continuará siendo un éxito. Ha sobrevivido fuerte escorrentía de deshielo y lluvias de verano. Se ha reducido la erosión de las

márgenes, la deposición de sedimentos se mantiene al grado esperado y el crecimiento de vegetación es excelente. Tormentas de alta intensidad durante el verano de 1989 pusieron a prueba los revestimientos, los que sirvieron perfectamente.

Basado en el éxito de estas dos primera obras, el Servicio Forestal ha instalado seis segmentos de revestimiento adicionales. Varias mejoras en el diseño contribuyeron al éxito del proyecto. El diseño básico es simple, fácil de instalar y requiere muy pocos equipos. Los materiales están disponibles en diversos tamaños y firmezas para satisfacer las fuerzas anticipadas de las corrientes. Este sistema suministra una solución integrada que combina cercas de revestimiento, plantado, semillado y la administración del ganado.

Los diseñadores estiman que algunos ajustes en el diseño harán que proyectos futuros sean aún más exitosos. Las cercas se deben enterrar a más profundidad, dejando sólo de 45,6 a 61 cm expuestos. Esto será menos obstructivo sobre el suelo, al mismo tiempo que suministrará el control necesario por encima y por debajo del suelo. El canal construido se ubicará más lejos de los segmentos principales del revestimiento, proporcionando una seguridad mayor contra la socavación. Los troncos de protección de la pendiente pueden ser eliminados ya que el cambio de la pendiente a lo largo del perfil de la corriente es mínimo. Las estacas de chopo de Virginia se harán crecer por un año en un vivero antes de plantarlas, ya que éstas sobreviven mejor si no se entierran desnudas hasta alcanzar el nivel de aguas subterráneas. Los sauces se cortarán de árboles locales y se plantarán lo más temprano posible. Estos ajustes deben mejorar el éxito del diseño original.

Es muy alentador hacer notar que los propietarios de tierras privadas, inicialmente escépticos de los trabajos del Servicio Forestal en el Arroyo Bluewater, están haciendo preguntas acerca del proyecto y considerando obras similares en las tierras privadas contiguas.

Referencias

1. Cooperrider, C.K., y B.A. Hendricks, 1937. "Soil Erosion and Stream Flow on Range and Forest Lands of the Upper Rio Grande Watershed in Relation to Land Resources and Human Welfare," (Erosión del suelo y cursos de agua en las tierras de pastoreo y bosques de la cuenca del alto Río Grande en relación a los recursos agrarios y bienestar humano), USDA Technical Bulletin No. 567.
2. USDA Forest Service, 1986. "Preliminary Report - Hydrologic Function Analysis - Bluewater Creek Watershed, Mt. Taylor Ranger District, Cibola National Forest, Southwestern Region" (Informe preliminar - Análisis de funcionamiento hidrológico en la cuenca del Arroyo Bluewater), informe no publicado, 47 pp.

3. Maxwell, J.R., R.M. Solomon, L.J. Schmidt, R.A. LaFayette, y W.T. Hanes, 1985. "Assessing Risks of Impaired Hydrologic Function," (Evaluación de riesgos de función hidrológica deteriorada). Watershed Management in the Eighties, American Society of Civil Engineers, New York, New York, pp. 163-173.

4. Hanes, W.T., R.M. Solomon, L.J. Schmidt y R.A. LaFayette, 1986. "Accelerated Erosion Risks vs Watershed Condition" (Riesgos acelerados de erosión vs condición de la cuenca). Proceedings Fourth Federal Interagency Sedimentation Conference, Volume 2, Las Vegas, Nevada, 10 pp.

5. Hanes, W.T. y R.A. LaFayette, 1987. "Analyzing Watershed Condition: Symptoms vs Causes". (Análisis de condiciones de la Cuenca: Síntomas vs Causas). Proceedings, Conference XVIII, International Erosion Control Association, Reno, Nevada, pp. 57-66.

6. State of California, Department of Public Works, Division of Highways, 1960. "Bank and Shore Protection in California Highway Practice" (Protección de márgenes y riberas según las prácticas de carreteras en California), Sacramento, California, 423 pp.

Reconocimiento.- El artículo precedente está basado en una disertación presentada por los autores en la conferencia International Erosion Control Association Conference XX, Febrero 15-18 de 1989, Vancouver, British Columbia, Canada.

El artículo siguiente ofrece una solución a los problemas de erosión en las secciones de relleno de los caminos de acceso, pero no se debe usar en presas de almacenamiento o secciones de relleno de canales donde las raíces de los árboles podrían crear pasos para filtraciones de agua.

REPARACION DE PENDIENTES DE RELLENO UTILIZANDO SISTEMAS DE BIOINGENIERIA DE SUELOS¹

por Robbin B. Sotir y Donald H. Gray, Ph.D²

La BIOINGENIERIA DE SUELOS es una ciencia aplicada que combina conceptos mecánicos, biológicos y ecológicos para construir estructuras vivientes para controlar la erosión, los sedimentos y las avenidas. Ciertas partes de plantas se utilizan como el componente estructural principal para reforzar el manto del suelo. Las plantas vivas o esquejes se pueden utilizar en conjunto con miembros estructurales inertes tales como madera, piedras o materiales sintéticos.

Esta tecnología ofrece soluciones naturales y efectivas a problemas de inestabilidad a lo largo de arroyos y ríos, pendientes de corte y relleno de carreteras, en la recuperación de pantanos y la rehabilitación de sitios recreacionales. Durante la reparación de terrenos alterados o dañados, la bioingeniería de suelos permite que la tierra se recupere más rápidamente, se estabilice, sea capaz de mantenerse por sí sola y sea productiva.

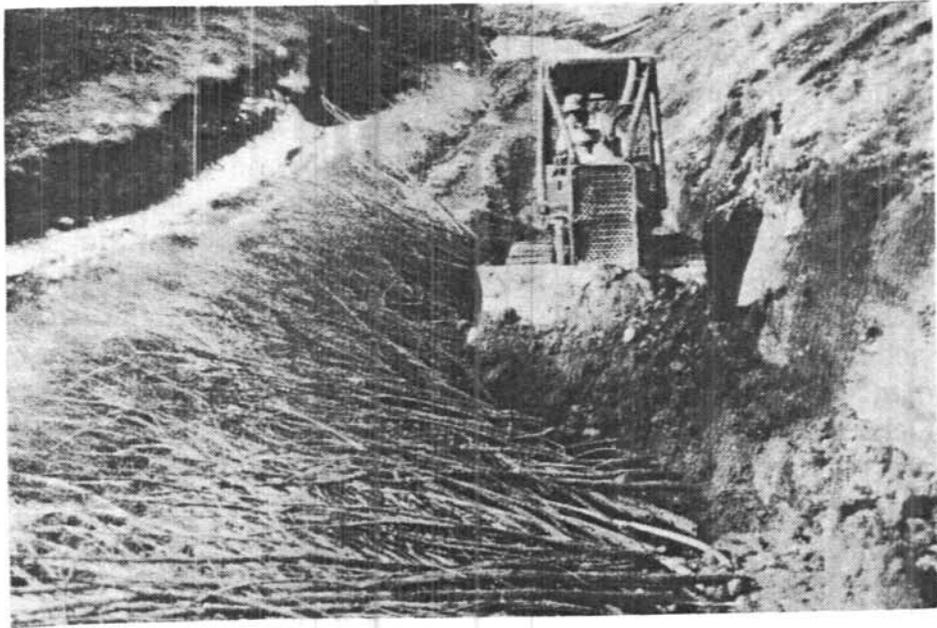
Los sistemas de bioingeniería de suelos funcionan inmediatamente como unidades de refuerzo del suelo y como barreras a la erosión superficial. Con tiempo, se desarrollan raíces y brotes que mejoran aún más la estabilidad. Estos brotes y su follaje asociado forman una cobertura vegetal protectora que mitiga los efectos de la erosión pluvial y mejora la estabilidad de masa removiendo el exceso de humedad del suelo mediante la transpiración. Las raíces permean y refuerzan el suelo, aumentando así su fortaleza y resistencia a los derrumbes. Este sistema viviente crece y se hace cada vez más fuerte y efectivo con los años. La estabilización de los suelos superficiales fomenta la invasión de una variada y estable comunidad vegetal. Información detallada acerca de los sistemas de bioingeniería de suelos y procedimientos de construcción se pueden encontrar en publicaciones por Schiechl [1]³, y Gray y Leiser, respectivamente.

¹Reimpreso con autorización del Redactor, Public Works, número de Dic./89.

²Presidente de Robbin B. Sotir & Associates (ex Soil Bioengineering Corp.), Marietta, Georgia, y Profesor del Dept. de Ingeniería Civil de la Universidad de Michigan, Ann Arbor, Michigan, EE.UU., respectivamente.

³Los números en corchete se refieren a las Referencias al final del artículo.

El Departamento de Transporte del estado de Carolina del Norte seleccionó un talud que estaba fallando, ubicado a 96 km al este de Ashville, como el sitio de prueba o demostración de sistemas de bioingeniería. Este estado, al igual que otros, se ha visto plagado con numerosos derrumbes superficiales, hundimientos, desplomes y erosión tanto de pendientes de relleno como de corte a lo largo de sus caminos y carreteras. En marzo de 1984, la Unidad Geotécnica de la División de Carreteras otorgó un contrato a Robbin B. Sotir para la preparación de un informe de reconocimiento preliminar de soluciones de bioingeniería de suelo en 10 sitios típicos de estos problemas. En diciembre de 1985, después de revisar el informe preliminar del consultor, se emprendió un proyecto de demostración para reparar



Instalación de la capa de matorrales durante el proyecto de estabilización en Carolina del Norte (foto superior), y una vista de la pendiente antes de las reparaciones.

un derrumbe de relleno en la carretera NC 126, utilizando la tecnología de bioingeniería de suelos. Se escogió un talud de relleno de 265 m de largo que se extiende de este a oeste, con exposición al sur. El terraplén tiene una altura máxima de 18,3 m con una cara de la pendiente que varía de 30 a 60 m de largo. Esta sección de relleno fue construida en 1980-81 con un declive variando de 1,5:1 a 2:1. El talud comenzó a fallar y a sufrir erosión poco después de su construcción y fue reparado varias veces con tratamientos convencionales. Cuando se tomó la decisión de reparar el talud con sistemas de bioingeniería, la erosión y derrumbe de la cara habían comenzado a poner en peligro los postes de la barandilla en varios lugares y a atacar la estructura del pavimento.

Análisis de Estabilidad

Factor de Seguridad.- El factor de seguridad o seguridad relativa de un talud de tierra suele expresarse como la razón entre la resistencia al corte y la tensión de corte a lo largo de una superficie crítica. Un talud falla cuando la tensión de corte de esta superficie crítica es igual a la resistencia al corte (o sea, cuando el factor de seguridad se aproxima a la unidad). Se han desarrollado diferentes tipos de análisis o modelos de estabilidad de masa para predecir este factor.[3] El modelo llamado de pendiente infinita es adecuado para analizar pendientes transicionales donde la superficie de falla es plana y paralela a la pendiente sobre casi todo su largo. Este tipo de análisis sirve para evaluar la estabilidad de un relleno compactado, en

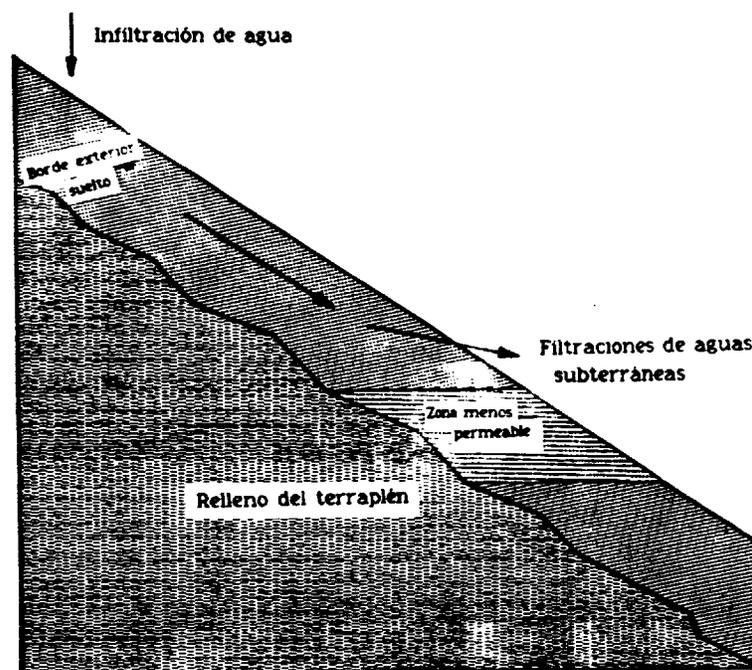


Figura 1.- Esquema mostrando las variables que controlan las fallas poco profundas en pendientes de relleno compactado.

derrumbes poco profundos a lo largo de una superficie casi paralela a la cara de la pendiente. La falla tiende a localizarse en la tierra más suelta o menos compactada cerca del borde exterior del relleno (figura 1).

La infiltración en la parte superior de la pendiente fluye a lo largo de esta capa más suelta y permeable paralela a la pendiente. Zonas menos permeables en la trayectoria del agua o al pie del talud desvían estas aguas lateralmente y las hacen salir en la cara (figura 1). Esto no sólo disminuye la estabilidad de masa, sino que también puede resultar en erosión por filtraciones y sifonamiento.

Efecto de las raíces de plantas en la resistencia del suelo.- El efecto principal de la presencia de raíces en el suelo, en lo que se refiere a su resistencia, es el de suministrar una medida de cohesión aparente. Esta cohesión de raíces puede representar una diferencia significativa en la resistencia a los derrubamientos poco profundos o a los desplazamientos de corte en suelos más arenosos con una cohesión baja o no existente. Pruebas de corte en el laboratorio y en el terreno en arenas permeadas con raíces indican un aumento en la resistencia de corte por unidad de concentración de raíces que varía entre 0,520 a 0,611 kg/cm²/0,453 kg o raíces/0,0283 m³ de suelo. Las relaciones de concentración de raíces que aparecen en la literatura técnica se usaron para estimar la cohesión de raíz probable como función de la profundidad. Una concentración de raíces de profundidad baja a mediana se utilizó en los análisis de estabilidad para determinar la influencia probable de la vegetación sobre la estabilidad de masa de un terraplén de relleno compactado.

Análisis de pendiente infinita.- Se llevaron a cabo análisis de pendiente infinita en taludes de 1,5:1 y 2:1 del terraplén. Los factores de seguridad se calcularon como una función de la profundidad vertical y la dirección de las filtraciones con respecto a un plano horizontal. La cohesión de raíces se calculó como una función de la concentración de raíces en el suelo, la cual variaba con la profundidad según se explicó anteriormente. La cohesión intrínseca del suelo se fijó en un valor bajo de 0,014 kg/cm² asumiendo que el relleno estaba compuesto principalmente de tierra granular o material de préstamos. El ángulo de fricción se fijó a 35° (el máximo esperado para materiales de relleno arenosos) o 30° (el mínimo esperado para relleno arenoso suelto).

El factor de seguridad resultó ser menos de la unidad ($F < 1$) cuando las filtraciones corrían paralelas o emergían de la cara de la pendiente a profundidades de 60 a 90 cm para un ángulo de fricción de 30°. Los resultados de los análisis de estabilidad muestran que tanto la dirección de las filtraciones como la presencia de cohesión de raíces tiene un efecto importante en este factor. Incluso una cohesión de raíces pequeña puede aumentar el factor de seguridad en forma

significante. Esta influencia es muy marcada a profundidades bajas donde las concentraciones de raíces son más altas y sus efectos de refuerzo son por lo tanto más altos. El efecto del sentido de las filtraciones sobre la estabilidad también merece mencionarse. Las filtraciones verticales mejoran mucho el factor de seguridad. De hecho, esta condición produce el mismo factor de seguridad que una pendiente seca. Por consiguiente, en la medida en que la vegetación de la pendiente y los sistemas de bioingeniería de suelos fomentan la filtración e infiltración vertical, por tanto se mejora la estabilidad de la masa.

Reparación/Rehabilitación de la Pendiente

Elaboración del plan.- Se contrató a la empresa Robbin B. Sotir & Associates para elaborar los planes de construcción y los procedimientos y especificaciones preliminares para el proyecto. El "Documento de Construcción", Fase II, presentado en junio de 1988, incluía los planes de construcción finales. El proyecto se construyó a partir de estos documentos, los cuales incluían: la amplitud de la obra, definición de los términos, descripción de los diversos sistemas de bioingeniería de suelos con planes detallados, cosecha de plantas, procedimientos de instalación y secciones transversales. El sitio se dividió en tres áreas principales con sistemas de bioingeniería de suelos específicos a ser instalados en cada una de las áreas. A continuación se presenta una breve descripción de las diferentes áreas y de los sistemas de bioingeniería que se instalaron.

- * **Area 1.-** La pendiente en el extremo oeste es de 2:1 con una altura máxima de casi 12 m y era moderadamente estable excepto por una zona de filtraciones y un desplome circular.

El sistema de bioingeniería instalado incluye estacas vivas, encribado vivo, capas de matorrales cortados y fajinas vivas (figura 2).

- * **Area 2.-** La pendiente era de 1,5:1, con algunas secciones verticales con altura máxima de 18 m. Estaba muy erodada con secciones desplomadas y derrumbadas en los bordes.
- * **Area 3.-** La pendiente en el extremo este era de 1,5:1 a 2:1 con una altura máxima de 8 m. Esta área tenía grietas en la pendiente superior que corrían paralelas al camino a aproximadamente 1 a 1,5 m de la barrandilla, a una profundidad de 30 cm. La base de la pendiente había sido estabilizada y nervada por los árboles existentes.

Los sistemas de bioingeniería de suelos instalados fueron capas de matorrales cortados, fajinas vivas y estacas vivas.

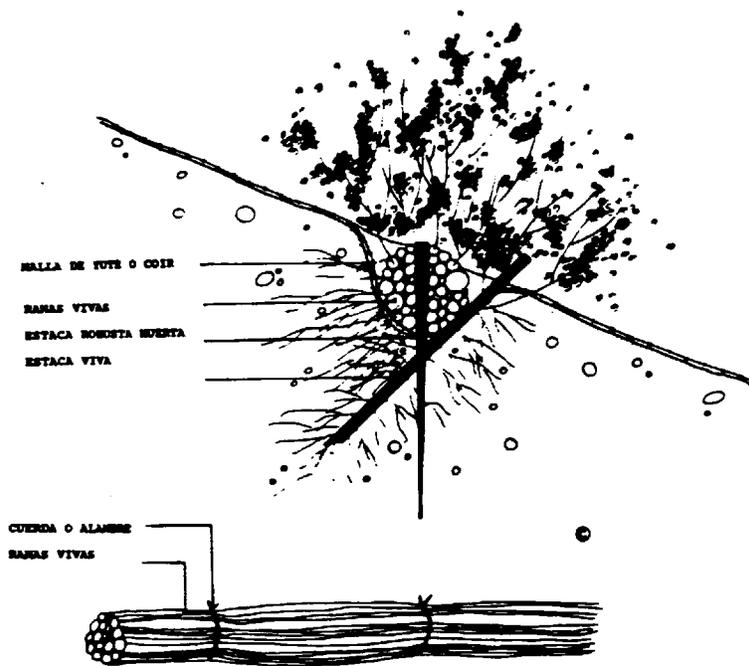


Figura 2.- Fajina viva con yute o coir. El follaje y las raíces no representan su condición al ser plantadas.

Los sistemas de bioingeniería de suelos que se instalaron fueron capas de matorrales de relleno (figura 3), capas de matorrales reforzados, estacas vivas y plantas con raíces.

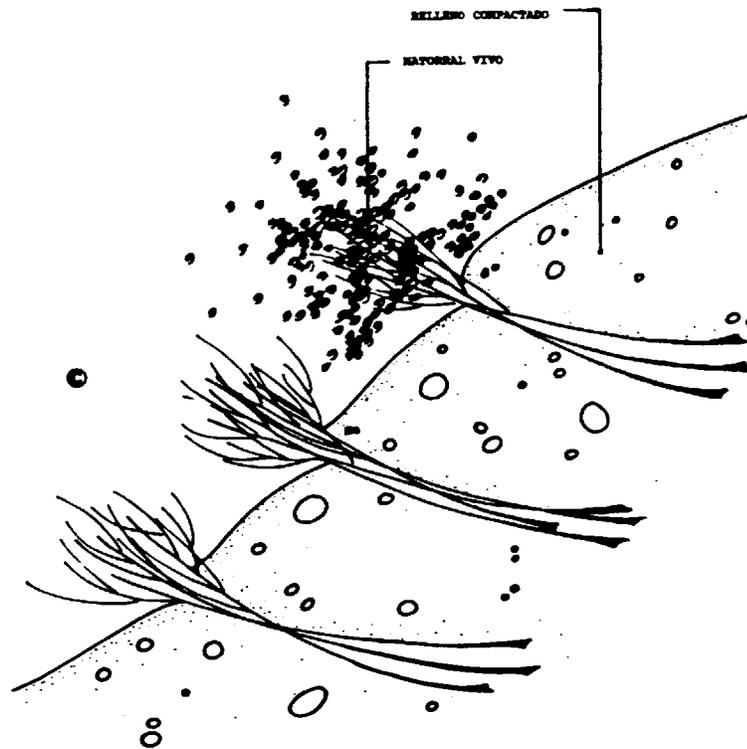


Figura 3.- Representación esquemática de la instalación de una capa de matorrales de relleno.

Construcción.- La recolección de los materiales de bioingeniería de suelos comenzó el 27 de octubre de 1986. Primero se recogieron plantas cortadas para colocarlas en la primera capa de matorrales de relleno en el área 2. Esta operación requiere el uso de sierras de cadena y de maquinaria para la recolección y durante la instalación. El número de trabajadores, incluso el personal supervisor en el sitio, promediaba 24, variando entre 12 y 35 durante la mayor parte del período de construcción.

Un 50 por ciento de las horas-hombre utilizadas fueron dedicadas a trabajos relacionados con la recolección de materiales naturales, o sea, la obtención de permisos para recogerlos, y a veces el mejoramiento del acceso al sitio de recolección; la recolección de los tallos de plantas y su transporte al sitio de construcción.

Un bulldozer pequeño se utilizó para preparar las terrazas para la capa de matorrales de relleno. Las terrazas para estacas de matorrales y las zanjas para fajinas vivas se excavaron a mano. Típicamente, el material de plantas entregado al sitio consistía de atados que contenían tallos largos de matorrales vivos. Una camionada típica contenía 40 atados. Basandose en estas estimaciones, la cantidad de plantas y estacas instaladas en cada una de las áreas aparece en la tabla 1. Además de los tallos vivos, en el sitio del proyecto se utilizaron cal, fertilizantes, semillas de pasto y malla de yute.

Tabla 1.- Uso de Materiales Vivos

Ubicación	Cantidad o largo total	Unidad	Número de Atados
Area 1			
Capa de Matorrales cortados	183 m lineales	2,3 atados/m	420
Fajinas vivas	174 m lineales	0,65 atados/m	115
Estacas vivas	1.500 estacas (est)		
Encribamiento vivo	12 m de largo	8 capas escalonadas	80
Area 2			
Capa de Matorrales de relleno	1.672 m lineales	4,5 atados/m	7.450
Plantas con raices	3.000		
Estacas vivas	2.500 estacas (est)		
Area 3			
Capa de Matorrales cortados	401 m lineales	2,3 atados/m	920
Fajinas vivas	462 m lineales	0,65 atados/m	300
Estacas vivas	3.000 estacas (est)		

En el Area 2, ciertas capas de matorrales en la base fueron reforzadas colocando en una terraza inferior una capa de geogrid de 2 metros de ancho, fabricada por la empresa Tensar Corporation de Morrow en el estado de Georgia. Las aberturas grandes de la malla permiten el desarrollo de raíces a través de estas aberturas y dentro del suelo. Estas mallas proporcionan refuerzo adicional al suelo en la pendiente. Las capas de matorrales se comportan y se instalan de una manera similar (orientación, espaciamiento y ancho de la capa) que las telas y mallas para uso en el suelo. Las relaciones desarrolladas para determinar las necesidades de espaciamiento/ancho para el nivel de seguridad deseado de la pendiente para telas y mallas también se puede adaptar para las capas de matorrales, según se explica en la sección siguiente.

Requerimientos de espaciamiento y ancho para las capas de matorrales.- El espaciamiento vertical entre los refuerzos y el ancho de la capa (o largo del refuerzo) son los parámetros de diseño críticos en la construcción de terraplenes reforzados. Los refuerzos se deben ubicar lo suficientemente cerca para que no se rompan bajo tensión. Además, deben ser del debido largo para resistir a la tracción. Las mismas consideraciones se aplican a las capas de matorrales. Por consiguiente, los mismos procedimientos desarrollados para calcular el espaciamiento/ancho de mallas y telas se puede adaptar para capas de matorrales.

Los resultados de los cálculos mostraron que bajo suposiciones prudentes, las distancias verticales necesarias entre las capas de matorrales varían entre 0,5 y 1 metro. Suposiciones de un ángulo de fricción en la pendiente y concentraciones de tallos de matorrales más altas en cada una de las capas resultan en un espaciamiento y ancho más amplio.

Evaluación del Sistema

Todos los sistemas de bioingeniería empleados en el proyecto se pueden usar para controlar la erosión y para estabilizar pendientes sufriendo de erosión. Un análisis para determinar el sistema adecuado a usar en una situación particular es crítico. Igualmente importante es la correcta instalación de los sistemas. Aún el método más simple, el de estacas vivas, puede ser instalado en forma incorrecta.

Sistema de estacas vivas.- Este sistema (figura 3) incluye las capas de matorrales insertadas en la pendiente y las usadas en un relleno nuevo o de reparación que son contiguas a la cara de la pendiente. En este último caso las ramas se colocan a medida que se levanta el relleno. Este sistema funciona muy bien como una unidad de filtro poroso para controlar la erosión superficial resultando de lluvias

fuertes durante y después de la construcción. Esta acción de filtrado se observó durante la construcción cuando cayeron 114 mm de lluvia en un período de 3 días. Las capas de matorrales previnieron la erosión del borde externo del material de relleno compactado en forma suelta que se había colocado en el sistema de capas de matorrales de relleno en el Area 2. Las áreas donde no se había instalado este sistema sufrió grandes flujos y fallas de la tierra.

Además del refuerzo mecánico de los tallos y raíces adventicias, las capas de matorrales también modificaron favorablemente el régimen hidrológico cerca de la superficie de la pendiente. Las capas de matorrales actúan como drenajes laterales, los cuales interceptan las filtraciones de aguas subterráneas a lo largo del borde externo suelto de relleno compactado, desvían el flujo hacia abajo y luego lo transportan lateralmente a través de la capa de matorrales. La redirección del flujo de las filtraciones hacia abajo mejora en forma significativa la estabilidad de masa como se mencionó anteriormente en la sección de análisis de la estabilidad.

La instalación del sistema de capa de matorrales requiere un planeamiento y una supervisión cuidadosos. La aplicación es complicada pero ofrece inmediato refuerzo, drenaje y protección de la superficie del suelo. Hace que la pendiente se transforme en una estructura capaz de soportarse a sí misma.

Sistemas de fajinas vivas.- Este sistema sirve como drenaje de poste inmediatamente después de su instalación para controlar y dirigir los escurrimientos superficiales. Es útil para prevenir erosión en ubicaciones específicas. El sistema de raíces que se desarrolla eventualmente a partir de la fajina viva permea el suelo y ayuda a estabilizar la pendiente. Estas raíces adventicias refuerzan la capa de tierra suelta en el borde externo de un relleno compactado. Fajinas vivas también sirven inmediatamente para hacer parar el corte de la parte superior de la cara de la pendiente. Las fajinas vivas tienen requerimiento de planeamiento, preparación e instalación específicos según el sitio.

Sistema de escribamiento vivo.- Un escribamiento vivo es un sistema muy específico al sitio que requiere un planeamiento y diseño detallados. La instalación es un poco más complicada que en los otros sistemas. Bajo ciertas condiciones, este sistema puede reemplazar un escribamiento convencional. Es útil en áreas donde el espacio es limitado y donde se necesita estabilidad estructural inmediata. Los tallos y las raíces vivas que eventualmente permean el relleno interior de la pared, unen y atan el encribamiento en una masa monolítica que aumenta la resistencia a las tensiones internas que actúan sobre la estructura. Los materiales vivos colocados en el encribamiento también echan raíces y mejoran la resistencia a las

fuerzas externas, por ejemplo, el volteo. Además, como resultado de su tratamiento vegetal en conjunto, la estructura del encribamiento eventualmente se combina y se transforma en parte del paisaje natural.

Conclusiones y Recomendaciones

La bioingeniería de suelos es un método excelente para reparar la pérdida de masas de poca profundidad y los problemas de erosión de pendientes. Puede ser especialmente útil en áreas donde el acceso con equipo pesado es difícil. Proyectos grandes como el de las reparaciones de la carretera NC 126 requieren un análisis cuidadoso del sitio, planes y especificaciones, secciones transversales, cantidades y disposiciones del contrato detalladas.

Los sistemas de bioingeniería de suelo instalados en este proyecto piloto estabilizaron en forma permanente la pendiente de relleno. Los métodos de bioingeniería de suelo en general y las capas de matorrales en particular suministran refuerzos del suelo mediante tallos de plantas, induración y refuerzo de raíces adventicias, y modificaciones favorables del régimen de humedad del suelo cerca de la cara de la pendiente.

Los sistemas de bioingeniería de suelo se integran naturalmente con el paisaje y no estorban visualmente, lo que los hace altamente compatibles con el medio ambiente, y son importantes deflectores en la parte superior de la unidad de tierra total, o cuenca hidrográfica. La efectividad, totalidad, conveniencia y adaptabilidad de un proyecto de bioingeniería mejora con el tiempo. Una vez que se establece la vegetación, el proyecto se repara, soporta y mantiene por sí solo mediante una regeneración constante. Este atributo resulta en necesidades de mantenimiento bajas. Un proyecto de bioingeniería de suelo diseñado correctamente, y bien planeado y construido ha demostrado en muchas ocasiones ser más efectivo desde el punto de vista de costos y rendimiento que las soluciones convencionales.

Existen varios factores que se deben considerar en los proyectos de estabilización de tierras mediante la bioingeniería de suelos:

- * Un proyecto de bioingeniería de suelos requiere mucha mano de obra, trabajo manual que requiere el uso de palas, combos, sierras de cadena y picos. Esto puede ser una ventaja en los sitios donde el acceso de equipo pesado no es bueno o no existe. Los grandes proyectos de relleno necesitan equipo mecanizado convencional.
- * Los materiales de plantas vivas se deben instalar sólo durante la estación cuando están durmientes, en el hemisferio norte,

normalmente desde septiembre hasta abril. Esta es la estación de nieve y lluvia, lo que puede provocar demoras en el proyecto. A pesar de esto, también es la época cuando la mano de obra es abundante y por lo tanto más barata.

- * Una fuente adecuada de material de plantas fácilmente disponible y accesible es especialmente importante. A medida que se completan proyectos, estos mismos proyectos se pueden transformar en sitios de cosecha para otros proyectos.
- * El personal instalando un sistema de bioingeniería de suelos debe recibir las debidas instrucciones y ser bien supervisado durante la instalación, con confianza en el éxito del sistema.
- * Es esencial que estos proyectos sean diseñados, planeados y supervisados por un profesional en bioingeniería de suelos entrado y con experiencia en dicha disciplina.

Referencias

1. Schiechl, H., 1981. "Soil Bioengineering for Land Conservation," (Bioingeniería de suelos para la conservación de tierras), University of Alberta Press, Edmonton, Alberta, Canada.
2. Gray, D.H., y A.T. Leiser, 1982. "Biotechnical Slope Protection and Erosion Control" (Protección biotécnica de pendientes y control de la erosión) . Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York, EE.UU.
3. Huang, Y.H., 1983. "Stability Analysis of Earth Slopes" (Análisis de estabilidad de pendientes de tierra), Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York, EE.UU.
4. Gray, D.H. y H. Ohashi, 1983. "Mechanics of Fiber Reinforcement in Sand" (La mecánica del refuerzo de la arena con fibras), Journal of Geotechnical Engineering (ASCE), Vol. 112, No. GT3, pp. 335-353.
5. Gray, D.H. y H. Maher, 1988. "Admixture Stabilization of Sands with Random Fibers" (Estabilización de arenas con mezclas de fibras), Proceedings, XII Intl. Conf. on Soil Mech. and Foundation Engineering, ICSMFE, Vol. 2, pp. 1363-1366.
6. Ziemer, R.R., 1981. "Roots and Shallow Stability of Forested Slopes" (Raíces y estabilidad poco profunda de pendientes forestales), Intl. Assoc. of Hydrol. Sciences, Publication No. 132, pp. 343-361.
7. Riestenberg, M.H. y S. Sovonick-Dunford, 1983. "The Role of Woody Vegetation on Stabilizing Slopes in the Cincinnati Area", (El papel de la vegetación leñosa en estabilizar las pendientes en

zonas de la ciudad de Cincinnati), Geologic Society of America
Bulletin. Vol. 94, pp. 504-518.

Reconocimientos.- El artículo precedente está basado en una disertación presentada por los autores en la conferencia: International Erosion Control Association (Steamboat Springs, Colorado) Conference XX, de febrero 15 a 18 de 1989, Vancouver, British Colombia, Canada.

Los autores desean agradecer a la unidad geotécnica: North Carolina Department of Transportation Geotechnical Unit, por su interés en la bioingeniería de suelos y por su fuerte respaldo que quedo manifestado en la construcción del proyecto de la carretera NC 126.

FALLA DE LA OBRA DE PURGA DE LA PRESA DE DERIVACION RIVERSIDE

por Bill Bouley y Arthur Glickman¹

Introducción

La presa de derivación Riverside, construida en 1927, es la más sud-occidental de las cuatro presas de derivación del Proyecto del Rio Grande (figura 1). Suministra agua para los canales de Riverside y Tornillo que abastecen a 16.000 hectáreas en los condados de El Paso y Hudspeth en el estado de Texas. El distrito de El Paso County Water Improvement District No. 1, explota y mantiene esta presa, situada a 24 km al sudeste de la ciudad de El Paso, Texas, sobre el Rio Grande, el cual forma la frontera entre México y los EE.UU. La presa de derivación consiste de una obra de toma, con cinco compuertas radiales, con una capacidad de proyecto de 255 m³/seg; una obra de purga con seis compuertas radiales; y un vertedero de hormigón (foto 1). Por tratarse de una frontera internacional, ciertos aspectos de la explotación y mantenimiento están sujetos a la aprobación de la comisión International Boundary Water Commission (IBWC).

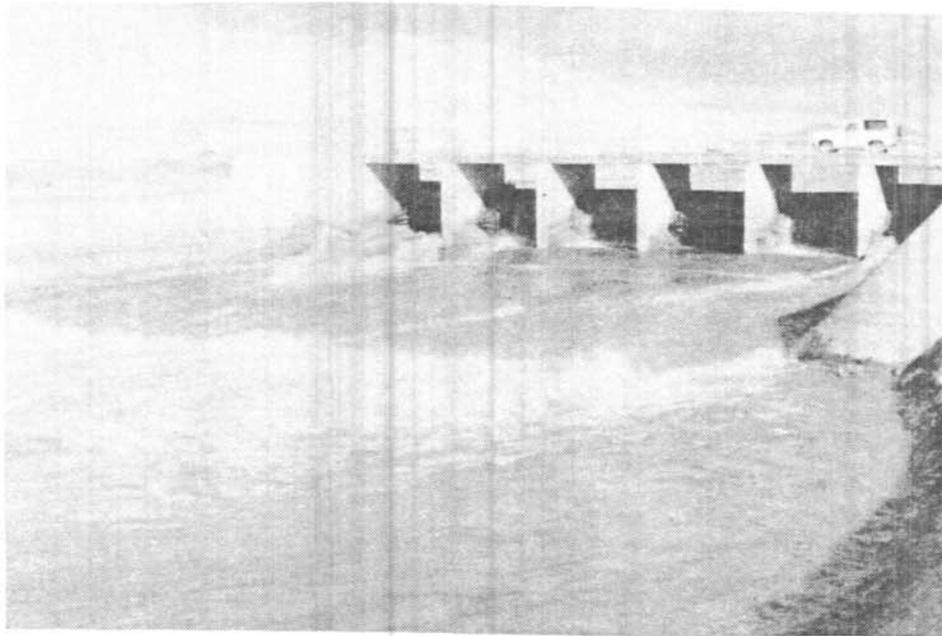
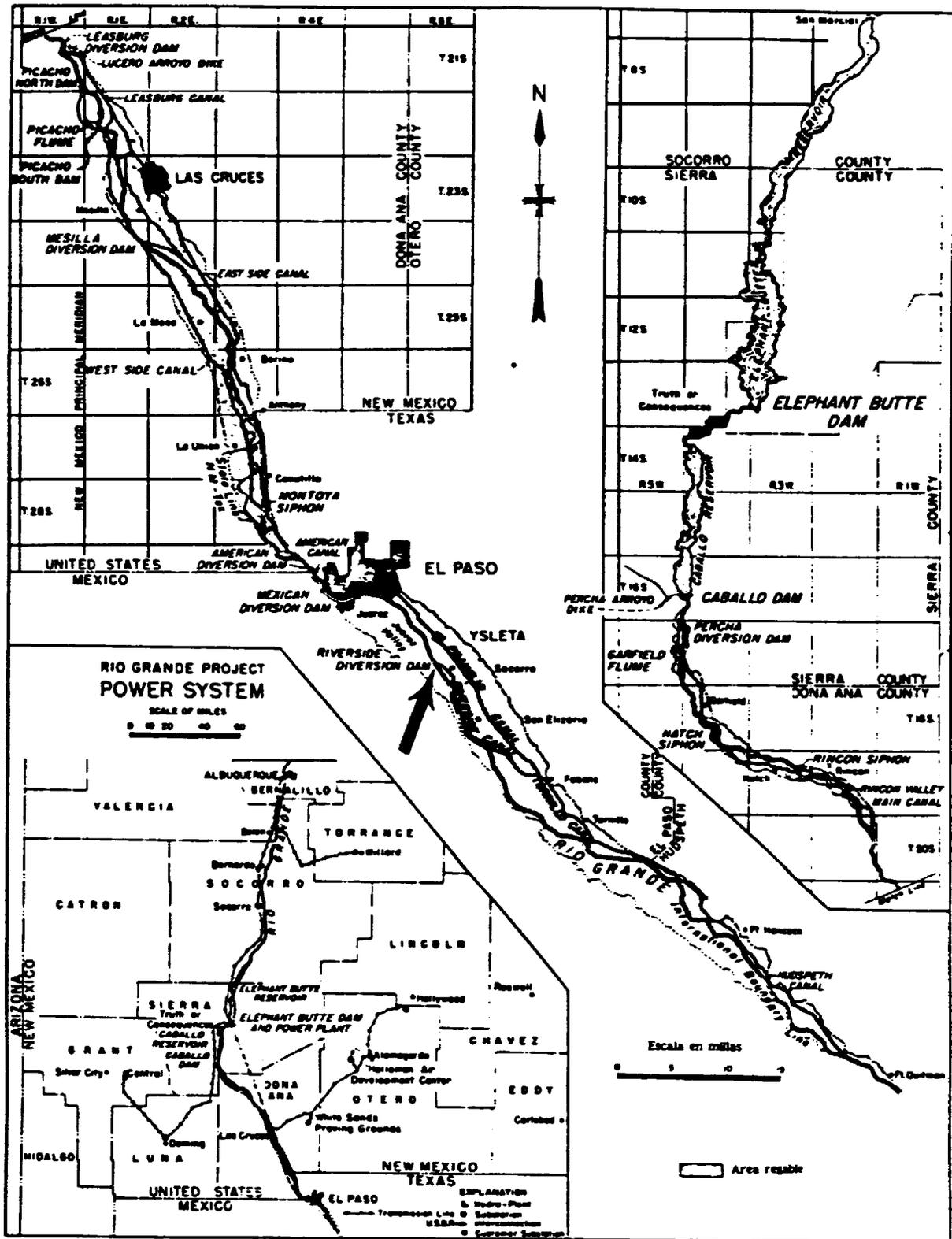


Foto 1.- La presa de derivación Riverside. Cuenco amortiguador de la obra de purga. 17/3/87

La corriente del bajo Rio Grande queda regulada principalmente por las presas Elephant Butte y Caballo. Esta última se encuentra a 185 km aguas arriba de la presa de derivación Riverside. La presa Elephant Butte está a 40 km aguas arriba de la presa Caballo, y las

¹Ingenieros civiles con el Bureau of Reclamation, Facilities Engineering Branch y Water Conveyance Branch, respectivamente, Denver, Colorado.

Proyecto del Rio Grande



Proyecto del Río Grande

Figura 1

aportaciones de aguaceros y de aguas superficiales de la ciudad y de las granjas completan el abastecimiento a la presa Riverside. Entre la presa Caballo y la presa de derivación Riverside, se encuentran las presas de derivación del Bureau of Reclamation que son las principales obras de toma de agua sobre este tramo del Río Grande.

En junio de 1987, en un periodo de agua alta en el Río Grande, la obra de purga falló. Se inició una investigación para determinar la causa o causas de la falla y la manera en que sucedió, y recomendar medidas a tomar para prevenir fallas en otras presas de derivación en el área del Proyecto construidas de modo similar a la presa de Riverside, y cualesquier cambios a efectuar a las normas de diseño del Bureau para canales, o sea, Reclamation Design Standard No. 3, "Canals and Related Structures".

Operaciones históricas

La presa de derivación Riverside ya llevaba 60 años de servicio cuando falló la obra de purga. En la mayoría de los años, el nivel del río estaba bajo y consecuentemente no se purgaban los sedimentos fluviales para poder beneficiar del poco abastecimiento de agua disponible. Normalmente, el lecho del río permanecía seco más allá de la presa de derivación, excepto por unas cuantas pequeñas fugas de las compuertas. Casi no existía ningún problema asociado con la presa.

Las obras de toma y de purga fueron construidas en 1927. En 1936, el vertedero de hormigón fue agregado para aumentar la capacidad de la obra a 3113 m³/seg. La eficacia de la obra quedó comprobada cuando ocurrieron avenidas en el bajo Río Grande durante todo el año de 1942. Los torrentes que pasaban por las compuertas radiales de la obra de purga en mayo de 1942 ascendían a 1019 m³/seg.

A partir del período de inundaciones en los años de 1940 hasta 1986, hubo muy poca o ninguna descarga de caudales excedentes de la presa Caballo, con una consecuente elevación del lecho del río aguas abajo de la presa de derivación Riverside.

Las Condiciones justo antes de la Falla

La obra de purga de la presa de derivación falló por la mañana del 9 de junio de 1987. La corriente total del río aguas arriba de la presa de derivación marcaba de 1103 a 1302 m³/seg. Los flujos que pasaban por las obras de toma eran de unos 122 m³/seg y la corriente a través de la obra de purga y por encima del vertedero de hormigón se estimaba ser de 990 a 1190 m³/seg. El nivel del agua en el canal justo aguas abajo de las obras de toma se situaba en la cota 1104 m. Tres compuertas de la obra de purga y tres compuertas de la obra

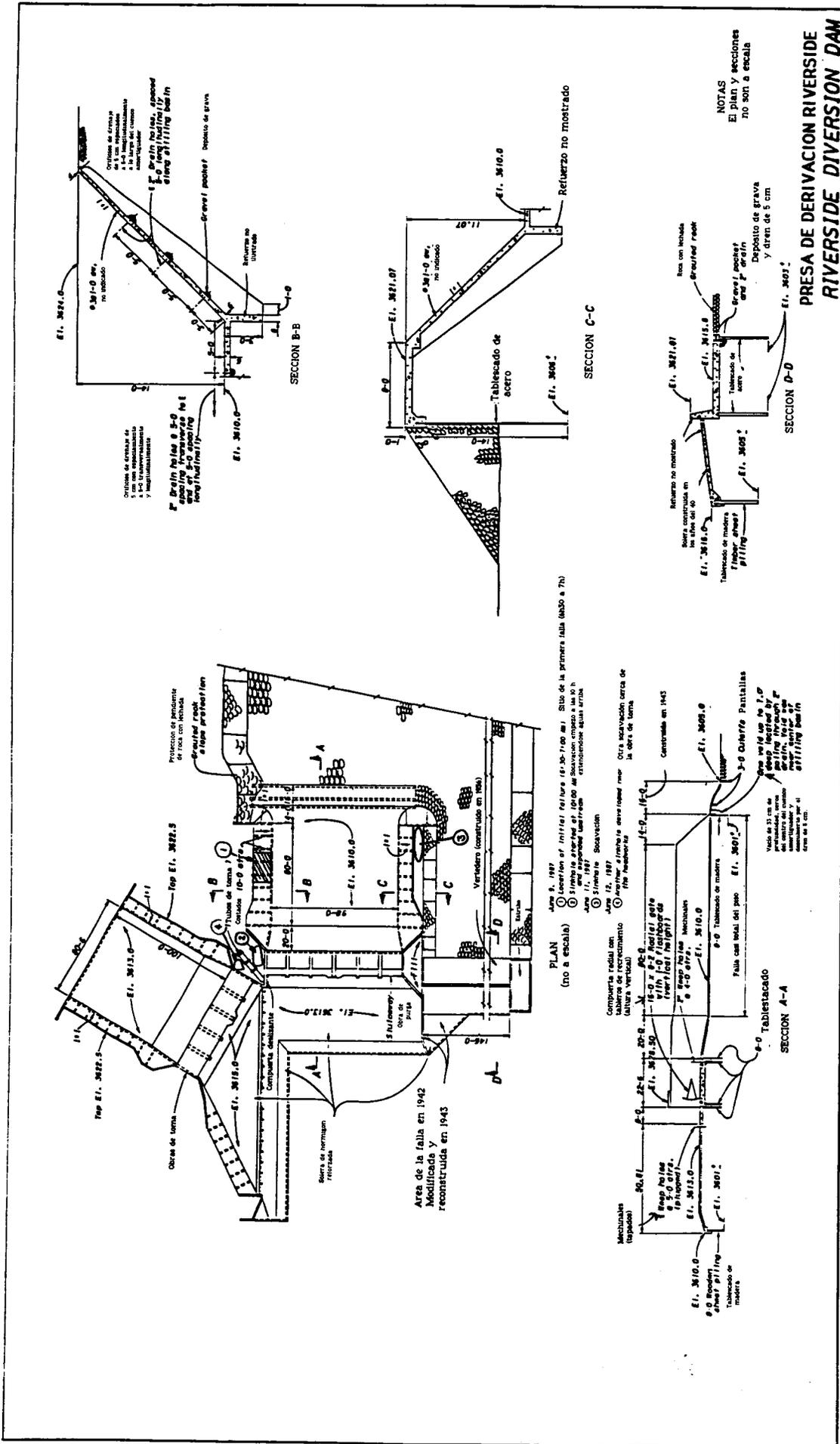


Figure 2

de toma estaban abiertas. En la obra de purga, cada compuerta de la extremidad y una de las compuertas del centro estaban abiertas. El agua pasaba por encima de las tres compuertas cerradas de la obra de purga y por debajo de las tres compuertas abiertas de la misma obra. Anteriormente, se habían agregado tablas a la parte superior de las compuertas de esta obra para aumentar su altura vertical por 0,33 m. La cota del nivel del agua aguas arriba de la obra de purga se situaba a los 1104 m. Con un caudal de 990 m³/seg, la velocidad del agua por debajo de las compuertas sería de aproximadamente 6 m/seg y la velocidad del agua en el cuenco amortiguador marcaría 7 m/seg, de no ocurrir un salto hidráulico.

Falla de la Obra de Purga

La secuencia de eventos (figura 2) ocurrió en la forma siguiente:

Junio 9 de 1987

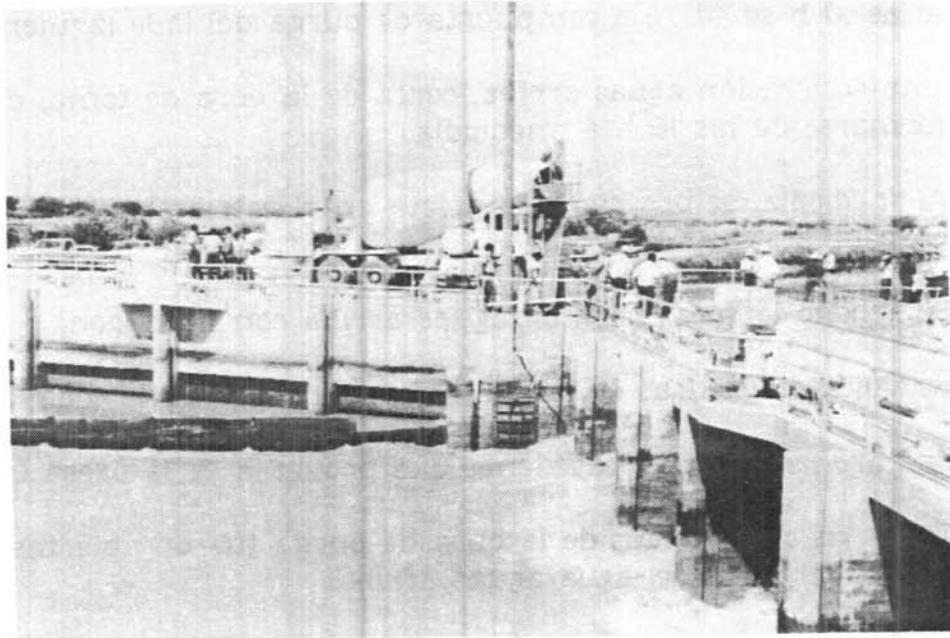
1. Una sección de la pendiente lateral izquierda de aguas abajo se quebró a eso de las 7 h de la mañana.
2. A las 9 h casi toda la pendiente lateral se había desgarrado (foto2).
3. A las 10 h se cerró a compuerta de purga del lado izquierdo.
4. Una socavación aguas arriba, cerca de la obra de toma, empezó a formarse de las 10 h al mediodía.
5. Al mediodía, se observó una grieta en el estribo izquierdo de la obra de purga (foto 3).
6. Se rellenó la socavación de aguas arriba con hormigón.
7. Se volcaron piedras en la parte del terraplén quebrado.
8. Se paró la corriente excedente que provenía de la presa Caballo.
9. Todas las compuertas de la obra de purga fueron abiertas para reducir el nivel del agua aguas arriba.

Junio 10 de 1987

1. A las 14 h, se intentó reactivar las derivaciones. Las compuertas de las obras de toma fueron abiertas y se cerraron las compuertas de la obra de purga excepto dos compuertas en el lado derecho.
2. A las 16 h 30, se midió una ampliación de un octavo de pulgada en la grieta del lado izquierdo de la presa.



Fotografía 2.- Presa de Derivación Riverside. El estribo izquierdo del cuenco amortiguador. 9/6/87



Fotografía 3.- Presa de Derivación Riverside. Nótese la grieta en el estribo izquierdo aguas arriba de la obra de purga. 9/6/87

Junio 11 de 1987:

1. Ocurrió otro movimiento estructural.
2. Hundimiento de 1,5 m x 9 m detrás del revestimiento aguas abajo en el lado derecho de la obra de purga.
3. Se abrieron dos compuertas centrales y se cerraron dos compuertas del lado derecho de la obra de purga.
4. Se pararon los caudales excedentes de las presas aguas arriba.

Junio 12 de 1987:

1. Otro hundimiento cerca del estribo derecho de la obra de toma.
2. Quiebra del estribo derecho de la obra de purga.
3. Apertura de las compuertas de la obra de purga y paro de las derivaciones.
4. Disminución del caudal excedente del río.

Además, se notó que el piso de la obra de purga estaba destrozado, con fuerte socavación del sitio. La fotografía 4 muestra el salto de hormigón, construido en 1943 aguas abajo del cuenco amortiguador, el cual permaneció intacto. Al reducir la corriente, se observó que una



Fotografía 4. - La Presa de Derivación Riverside. Salto de hormigón en la extremidad de aguas abajo del cuenco amortiguador de la obra de purga. 11/2/88

parte de la protección de lechada de la roca aguas abajo del vertedero de hormigón se había asentado y destrozado.

Modificaciones Provisionales para permitir la Derivación

1. Se rellenó de hormigón la socavación cerca de la obra de toma. El hormigón contenía fibras de polímero (foto 5).
2. Reconstrucción del estribo derecho aguas abajo de la obra de purga usando rocas, las que luego fueron recubiertas con hormigón.
3. Construcción de un ataguía de rocas a través de la solera de la obra de purga. Recubrimiento del paramento de aguas arriba y de la coronación con hormigón. La parte superior de la coronación está a la elevación del alto del vertedero de hormigón.
4. Colocación de rocas en cubierta de sedimentos en la solera de hormigón aguas arriba del dique de hormigón.
5. Colocación de piedras en la solera aguas abajo del vertedero de hormigón, las que fueron posteriormente llevadas por el agua.
6. Agregación de protección de piedras a la berma derecha del vertedero de hormigón.



Fotografía 5. - Presa de derivación Riverside. Rellenado del hundimiento en el lado izquierdo de la obra de purga.
9/6/87

Causas Posibles de la Falla

Uno de los principales factores contribuyendo a la falla de la obra de purga fue la degradación del cauce del río aguas abajo de la presa de derivación. Normalmente, en los años de sequía, no fluye ninguna corriente más allá de la presa de derivación Riverside. En los años de 1986 y 1987, la capacidad de almacenamiento de los embalse Elephant Butte y Caballo estaba completa y el agua excedente fue descargada aguas abajo. Las descargas excedentes en 1986 y 1987 ascendían a $736 \text{ m}^3/\text{seg}$ y $708 \text{ m}^3/\text{seg}$, respectivamente. Se estima que el caudal pasando por la presa de derivación en el momento de la falla era de 990 a $1190 \text{ m}^3/\text{seg}$. Este caudal suele incluir $566 \text{ m}^3/\text{seg}$ de flujos excedentes, más las aportaciones de aguaceros.

El lecho del Río Grande en el área de la presa de derivación Riverside está compuesto de arena limosa. Durante los períodos de aguas bajas del río, el lecho aguas abajo se eleva, y se degrada durante los períodos de aguas altas. El cuenco amortiguador de la obra de purga se llena de sedimentos en los años de aguas bajas. Los operadores de la presa de derivación observaron que los depósitos de sedimentos en el cuenco amortiguador se habían erodado para marzo de 1987.

Una degradación de 5 m ocurrió aguas abajo de la presa de derivación en el curso de los años de aguas altas. Esta degradación resultó en una pérdida de nivel aguas abajo del cuenco amortiguador, cuyo nivel de agua ya no era suficiente para producir un salto hidráulico en el cuenco amortiguador.

La condición de altos caudales del río, con la resultante degradación aguas abajo de la presa de derivación, también ocurrió en 1942, causando una fuerte socavación del lecho del río aguas abajo de la presa de derivación y la falla del muro y piso del estribo derecho de aguas arriba, seguido por una fuerte erosión de la orilla izquierda aguas abajo del cuenco amortiguador de la obra de purga, casi rompiendo el estribo derecho aguas abajo de la obra de purga, y levantando secciones del cuenco amortiguador hasta 10 cm.

Se realizaron reparaciones y modificaciones a la presa de derivación después de la submersión de 1942. Estas obras correctivas consistieron en: un nuevo muro de guía construido aguas arriba de la obra de purga en el lado derecho, una solera de hormigón (rebaja de 1,5 m en elevación) construida aguas abajo de la obra de purga con reemplazo del relleno, reparación del terraplén aguas abajo de la obra de purga y agregación de empredado con de lechada en la protección de la pendiente lateral, agregación de una solera de hormigón y de una pantalla de tablestacas aguas abajo del vertedero de hormigón, tapamiento de orificios de drenaje de 5 cm de diámetro aguas arriba de las compuertas de la obra de purga y limpieza de

los orificios de drenaje de 5 cm diámetro en el cuenco amortiguador de la obra de purga. La obstrucción de los orificios de drenaje de 5 cm de diámetro en el cuenco amortiguador de la obra de purga había sido causada por depósitos sedimentarios y la oxidación de la tubería de hierro.

Las siguientes son los más probables causas de la falla:

1. El terraplén izquierdo de la obra de purga de aguas abajo llegó a saturarse y se rompió, causando al mismo tiempo la falla del piso adyacente y la socavación del resto de la estructura. Subpresiones hidrostáticas por debajo de la solera pueden haber contribuido a este tipo de falla.
2. El piso de la obra de purga de hormigón falló primero y eso resultó en la quiebra del terraplén izquierdo. La falla del piso de la obra de purga puede haber sido ocasionada por:
 - a. Material de socavación del canal de aguas abajo, arrastrado hacia atrás, por debajo del salto de 1,5 m, creando un vacío debajo del piso. No hay indicaciones de que esto haya sucedido.
 - b. Subpresiones excesivas debajo del piso causadas por filtraciones por debajo de la obra.
 - c. La acción de los caudales de alta velocidad.
3. La falla de la sección del piso y de la pendiente lateral en el cuenco amortiguador a consecuencia de cualquiera de las causas antes mencionadas condujeron a la rápida socavación del resto del cuenco amortiguador y de la obra de compuertas.

Factores que pueden haber contribuido a la Falla

1. La instalación funcionaba de manera a proveer un nivel de agua más elevado que el nivel de proyecto, aguas arriba de la obra de toma. Este alto nivel de agua resultó en una capa freática más elevada, produciendo subpresiones en el cuenco amortiguador aguas abajo.
2. Filtraciones a partir del canal también pueden haber contribuido a la elevación del nivel de las aguas subterráneas por detrás del estribo izquierdo de la obra de purga de aguas abajo.
3. La obstrucción de los orificios de drenaje con sedimentos o corrosión en el estribo y piso de la obra de purga posiblemente haya prevenido el escape de las subpresiones aguas abajo de las compuertas radiales.

4. La corrosión de las barras de refuerzo puede haber contribuido a la falla de una sección del cuenco amortiguador. No se ha observado ninguna evidencia de corrosión de la armazón de la solera.

5. Puede que las reparaciones del daño que ocurrió en 1942 no fueron suficientes, con la posible creación de vacíos por debajo de la estructura o estribos adyacentes que no fueron detectados ni rellenados.

6. La fuerte corriente y turbulencia en el cuenco amortiguador de la obra de purga podría haber causado una vibración en la losa de hormigón que eventualmente perjudicó la losa, o bien inyectó material de cimentaciones a través de los orificios de 5 cm de diámetro del dren.

Epílogo

Después de la falla de la obra de purga de la presa de derivación Riverside, todos los motores y equipos de malacates fueron llevados al patio de servicio del El Paso County Water Improvement District No. 1. La plataforma de maniobra de madera fue desmontada para impedir acceso a la misma (foto 6). Las compuertas radiales de la obra de purga quedaron en su lugar para proveer mayor protección aguas arriba a la derivación provisional de relleno de piedras. Se vienen estudiando planes para el reemplazo de la obra destruida. La estimación de los costos de reconstrucción de la obra de purga,



Foto 6.- Presa de Derivación Riverside. La obra de purga desmontada desde el estribo izquierdo después de la falla.
15/7/87

realizada por la división, Water Conveyance Branch, en 1987, asciende a US\$4,2 millones de dólares y la misma división tendrá a su cargo la concepción y construcción de la obra de reemplazo sobre la frontera internacional, de escogerse esta opción. Otra opción bajo consideración sería la de extender el American Canal para unirlo al actual Riverside Canal.

Por ser que las presas de derivación de aguas arriba, o sea, Percha, Leasburg y Mesilla, fueron construidas de manera parecida, sobre el mismo material de lecho de río, investigaciones geotécnicas y levantamientos por radar fueron realizados por la empresa Precision Engineering, Inc. sobre las soleras de hormigón de estas presas. El estudio del suelo por radar fue utilizado para localizar toda anomalía que fue después investigada por medio de sondeos y perforaciones. Estas presas están en buenas condiciones. Considerando la falla en la presa de derivación Riverside, el distrito de Elephant Butte tiene la intención de seguir con este procedimiento a intervalos de 5 años para actualizar el banco de datos sobre las áreas anómalas. Aunque ningún vacío fue encontrado, no deja de existir la posibilidad de sifonamiento por debajo de las presas. Los ingenieros-consultores recomendaron la instalación de piezómetros para un mejor control de las presiones del agua subterránea alrededor de las obras.

REACONDICIONAMIENTO DE LA SOLERA DE AGUAS ABAJO DE LA PRESA DE DERIVACION SAN ACACIA

por Viola Sanchez¹

En el curso de la década de 1980, los altos caudales del Río Grande solían crear fuertes fluctuaciones temporales en el lecho del río, aguas abajo de la presa de derivación San Acacia. La presa está situada a unos 95 km al sur de Albuquerque en el estado de Nuevo Mexico.

La escorrentía de la primavera produce fuerte socavación en el lecho del río inmediatamente aguas abajo de la presa. La condición de socavación, que es similar a la erosión, queda empeorada por los aguaceros del verano, los que crean caudales muy altos en el río. La socavación persiste hasta noviembre, cuando se paran las derivaciones para el riego.

La elevación promedia del lecho del río, en el verano de 1988, era de 1,8 m a 3 m en seguida de la solera de hormigón de la presa, con excavaciones de 2,8 m producidas por la socavación justo aguas abajo de la presa. Después de un repaso de operación y mantenimiento (RO&M), la amenazada erosión de las cimentaciones resultó en una recomendación de medidas correctivas de la Categoría 1. Esto significaba que las reparaciones eran urgentes para poder mantener la estabilidad de la obra y debían ser completadas antes de la temporada de escorrentía de 1989.

Las reparaciones consistieron en colocar relleno de piedras, material de estratos y geotextiles sobre una extensión de 20 m aguas abajo de la presa a lo largo de toda la anchura de 213 m, a una elevación de 2,28 m por debajo de la elevación de la solera. El relleno de piedras queda detenido en la extremidad de aguas abajo por una hilera de pilotes clavados hasta una profundidad de 8,5 m en el relleno de piedras, con remate de hormigón. El relleno forma parte de un sistema de filtro que consiste en una capa de 1,5 m de espesor de 3/4 yd³ de tamaño de empedrado colocado encima de 0,30 m de espesor de empedrado de 15 cm que fue colocado sobre una capa de 0,30 m de grava. Se instaló un geotextil entre la grava y la arena fina subyacente. Para permitir esto, la mayor parte de los caudales de 28 a 51 m³/seg fueron derivados por una distancia de 3 km a través del canal adyacente, Low Flow Conveyance Channel, el cual, más un dique, fueron posteriormente destruidos a este punto para restituir los caudales al Río Grande. Un caudal mínimo de 150 ft³/s debía pasar por la presa para

¹Ingeniera civil, empleada del Bureau of Reclamation en la rama Design and Construction Branch, Engineering Division, Albuquerque, New Mexico, EE.UU.

almacenar agua en los embalses superiores.

El desagüe del sitio de trabajo se realizó por medio de pozos de 12 m de profundidad de 800 gal/min de capacidad y espaciados cada uno a 9 m de distancia. El desagüe rebajó el nivel freático en el lecho del río en 6 m, permitiendo la realización en seco de la excavación de 5 m. Se usaron métodos de chorro hidráulico con buenos resultados en la construcción de los pozos de desagüe en el lecho del río, facilitando situarlos afuera de dos tercios de la excavación al mismo tiempo que se mantenía el nivel freático al nivel de proyecto, lo cual avanzó por mucho la construcción.

La fecha de acabamiento del proyecto fue el 31 de marzo de 1989, con un tiempo total de construcción de 3 meses. Previos intentos de parte de dos contratistas en los años de 1980 habían fracasado debido principalmente a problemas de desagüe. Esta vez, el trabajo fue realizado por los equipos de operación y mantenimiento del Bureau of Reclamation, de la división de Socorro Field de la Oficina de Proyectos de Albuquerque.



Figura 1.- Vista aguas abajo de la presa de derivación de San Acacia a partir de las obras de toma. 30/6/66



Figura 2.- Vista aguas abajo de la Presa de Derivación San Acacia mostrando la profundidad de la socavación antes de las reparaciones. 11/88

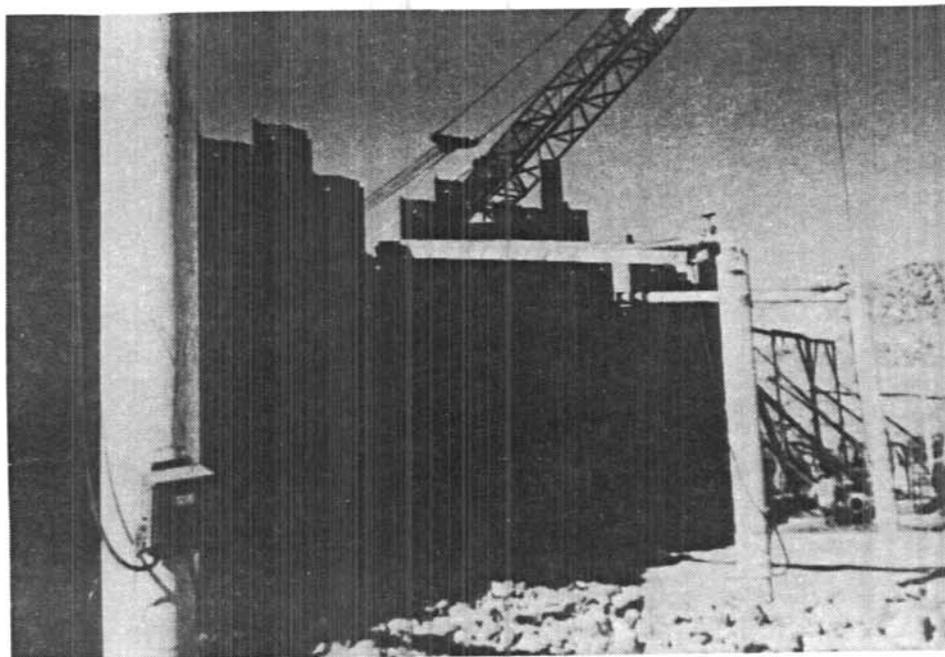


Figura 3.- Sitio del trabajo mostrando los pozos de desagüe justo aguas arriba de los pilotes de acero. 27/7/89

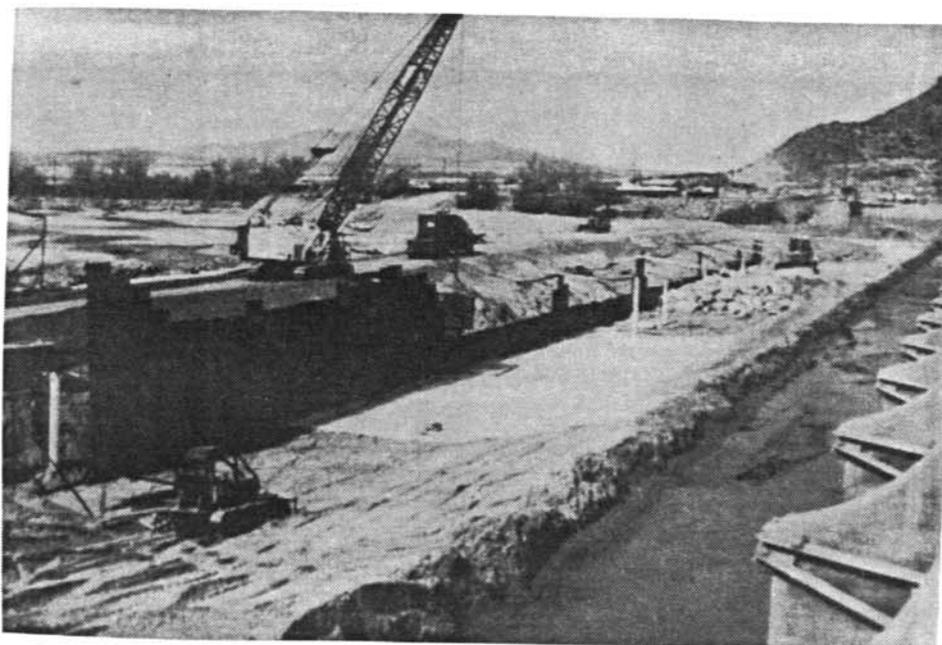


Figura 4.- Sitio del trabajo visto desde la presa de derivación. Algunos pozos de desagüe han sido resituados para permitir la colocación del geotextil y del material de base (centro de la foto). 27/2/89

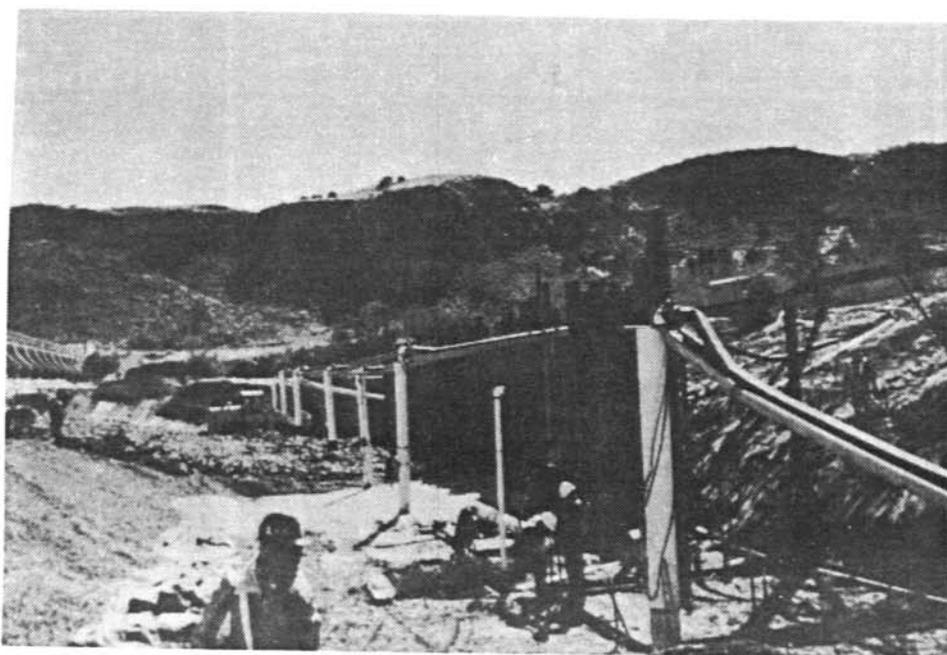


Figura 5.- Sitio del trabajo mostrando los pozos de desagüe de pilotes de acero y la colocación del geotextil, material de base y relleno. 27/7/89

La Misión del Bureau of Reclamation

El Bureau of Reclamation, dependencia del Departamento del Interior de los Estados Unidos, es responsable del desarrollo y conservación de los recursos hidráulicos del país en el Oeste de los Estados Unidos.

El propósito original del Bureau, o sea "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 regadío 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 gobiernos estatales y locales, instituciones académicas, organizaciones de usuarios de agua y otros grupos interesados.

El propósito de este Boletín es el de servir como un medio de intercambio de información sobre la explotación y el mantenimiento. Su éxito depende de la participación de los lectores en obtener y someter ideas nuevas y provechosas de E&M

Ponga de relieve la ingeniosidad de su Distrito o Proyecto con la publicación de un artículo en el boletín. Comuníquese con nosotros pronto!