550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

Manual de laboratorio para Emriver Em2 y Em3

Capítulo 1

1 Seguridad y contenido de manual de laboratorio

El manual de laboratorio de Emriver va más allá de la información básica proporcionada en el manual de uso y cuidado para describir métodos de demostraciones y experimentos avanzados.

Este manual es un complemento del ***manual de uso y cuidado***, y hay información esencial en dicho manual que aquí no se repite. *Es de suma importancia que usted lea y entienda el **manual de uso y cuidado** antes de usar este manual de laboratorio.*

Su modelo Emriver es capaz de docenas de experimentos y demostraciones, y constantemente se están desarrollando nuevos. Para la más reciente información sobre desarrollo de módulos, contáctenos enviando un email a info@emriver.com o visitando nuestra página de soporte emriver.com/supportFAQ

Vea el Capítulo 2 para procedimientos detallados de configuración.

©2015 Emriver, Inc

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

Índice

1 Seguridad y contenido de manual de laboratorio 1
1.1 Seguridad 4
1.2 Contenido del manual de laboratorio Emriver 5
1.3 Introducción 6
1.3.1 Configuración de demostraciones 7
2 Configuración avanzada y operación 8
2.1 Pendiente de canal 9
2.2 Variables y ecuaciones de pendiente 10
2.2.1 Cálculo de pendiente máxima 11
2.2.2 Cálculo de pendiente de canal 11
2.2.3 Métodos de cálculo y ajuste de pendiente – Configuración rápida 11
2.3 Control del flujo 14
2.3.1 Uso del regulador electrónico de caudal Emriver K28 14
2.3.2 Medición de flujo 15
2.3.3 Rangos de descarga 15
2.3.4 Creación de hidrogramas 16
2.4 Condiciones iniciales 16
2.4.1 Crecidas y formación de accidentes geográficos 17
2.4.2 Forma de valle 17
2.5 Propiedades de sedimentos 19
2.5.1 Tamaños y colores de material de modelado 19
2.5.2 Comportamiento de aguas subterráneas 20
3 Mediciones 21
3.1 Vaguada y otras mediciones horizontales 22
3.2 Mediciones verticales y niveles láser 23
3.3 Descarga de agua 26
3.4 Descarga de sedimentos 26
4 Demostraciones 28
4.1 Extracción de grava en el cauce 29
4.2 Medición de transporte de sedimentos, continuidad y estabilidad del canal 32
5 Ejercicios y experimentos 36
5.1 Canalización 37
5.1.1 Rectificación 37
5.1.1.1 Ejercicio avanzado de rectificación de cauce 39
5.1.2 Ensanchamiento 40
5.2 Protección de riberas 41
5.2.1 Protección blanda ..... **Error! Bookmark not defined.**
5.2.2 Protección rígida 42
5.2.3 Configuración para demostraciones de protección de riberas 42
5.3 Empedrado de modelado 43

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

En este Capítulo

1.1 Seguridad

1.2 Contenido del manual de laboratorio Emriver

1.3 Introducción

1.3.1 Configuración de demostraciones

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

1.1 Seguridad

USTED DEBE LEER Y ENTENDER ESTAS ADVERTENCIAS ANTES DE USAR EL MODELO EMRIVER

- Su modelo Emriver es muy pesado cuando es llenado con agua y sedimento. Un colapso de los soportes del modelo puede lesionar gravemente o matar a una persona. Asegúrese de entender perfectamente cómo usar los soportes.
- Emplee solo los soportes suministrados con el geomodelo Emriver. A pesar de las especificaciones de capacidad de carga, ningún caballete de fabricación estándar es lo suficientemente resistente como para soportar este modelo. Los caballetes y las mesas plegables pueden colapsar bajo cargas dinámicas o laterales.
- Revise todas las juntas de los soportes de aluminio antes de cada uso para asegurarse de que estén seguras.
- Al configurar la caja, los soportes deben ser nivelados lateralmente y alineados. Los soportes también deben estar alineados con los puntos de soporte correctos debajo de la caja. De otro modo la caja puede deformarse o colapsar cuando sea cargada. Asegúrese de que las barras separadoras estén completamente acopladas.
- Nunca instale la caja sobre una superficie con una pendiente superior al 8% (un desnivel de 17,78 cm en 2,13 m).
- Nunca use más de 102 L (27 gal) de agua y de los 68 kg (150 lb) de sedimentos en el Em2, 151 L (40 gal) de agua y de los 109 kg (240 lb) de sedimentos en el Em3, o 227 L (60 gal) de agua y de los 163 kg (360 lb) de sedimentos en el Em4. Usar más que la máxima cantidad de agua y sedimentos puede hacer que la caja o sus soportes colapsen.
- No coloque ningún objeto pesado sobre la caja ni permita que las personas se sienten o se paren sobre o dentro de la caja. Nunca se coloque debajo de la caja cargada.
- Use solo la bomba y fuente de alimentación incluidas con el sistema Emriver. Asegúrese de conectar la fuente de alimentación a un tomacorriente con conexión a tierra adecuada. Siempre use el interruptor de circuito por falla a tierra (GFCI) suministrado con el modelo Emriver y asegúrese de leer el manual incluido con el GFCI.
- Al usar una batería de 12 V para alimentar el modelo, siempre use el Adaptador de Batería de Emriver, Inc. ¡Nunca puentee los fusibles!
- Al energizar el modelo con una batería de 12 V, asegúrese de entender los peligros asociados con la carga y uso de baterías de plomo-ácido, y considere usar baterías antiderrames más seguras.
- La caja debe emplearse únicamente para el uso previsto especificado en este manual.
- Si alguna parte de la caja o sistema de bombeo está dañada, si usted tiene alguna duda sobre la seguridad eléctrica o estructural del modelo o si usted no comprende estas instrucciones, no use este modelo.

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

1.2 Contenido del manual de laboratorio Emriver

1. **Introducción**
   - 1.1 Seguridad
   - 1.2 Contenido del manual de laboratorio
   - 1.3 Introducción

2. **Configuración avanzada y operación**
   - 2.1 Pendiente de canal
   - 2.2 Variables y ecuaciones de pendiente
   - 2.3 Control del flujo
   - 2.4 Condiciones iniciales
   - 2.5 Propiedades de sedimentos

3. **Mediciones**
   - 3.1 Vaguada y otras mediciones horizontales
   - 3.2 Mediciones verticales y niveles láser
   - 3.3 Descarga de agua
   - 3.4 Descarga de sedimentos

4. **Demostraciones**
   - 4.1 Extracción de grava en el cauce
   - 4.2 Medición de transporte de sedimentos, continuidad y estabilidad del canal

5. **Ejercicios y experimentos**
   - 5.1 Canalización
   - 5.2 Protección de riberas
   - 5.3 Empedrado de modelado

©2015 Emriver, Inc

1.3 Introducción

Los primeros modelos similares al simulador Emriver de los que se tiene constancia fueron construidos a finales de la década de 1980 por administradores fluviales que trabajaban para el Departamento de Conservación de Missouri (MDC por sus siglas en inglés). Estos modelos se desarrollaron para satisfacer una necesidad urgente: enseñar geomorfología fluvial a los propietarios de terrenos privados.

Los dibujos estáticos y las charlas habían resultado insuficientes. Existe una tendencia humana a simplificar en exceso la respuesta morfológica de los ríos ante prácticas como la rectificación de cauces o la extracción de cargas de fondo, y los intentos de educación resultaron frustrantes. Los mineros, agricultores y madereros que habían observado el comportamiento de los ríos durante toda su vida se mostraban comprensiblemente reacios a aceptar nuevas ideas. Pero aquellos primeros modelos desarrollados por los biólogos pesqueros del MDC resultaron ser herramientas muy útiles para enseñar los complejos procesos y respuestas de los ríos. Por ejemplo, los propietarios de terrenos y ciudadanos de a pie veían con claridad de qué manera la erosión de cabecera y la incisión pueden dañar tierras aguas arriba de una operación de extracción de grava.

De hecho, el geomodelo Emriver y sus versiones anteriores son herramientas muy eficaces para comprender y enseñar la morfología y los procesos fluviales a aprendices de toda edad. Al ver el modelo, los observadores experimentados de ríos invariablemente reconocen rasgos y procesos morfológicos que han visto en el campo. Las grandes similitudes entre el comportamiento de canales en el modelo Emriver y el comportamiento y la morfología de los ríos reales son muy convincentes, incluso para los observadores más escépticos. La observación de estos procesos se ve facilitada por una escala temporal considerablemente reducida y una escala física ampliada. Los eventos ocurren más rápido en el modelo, y en el Emriver Em2 de dos metros se puede ver el equivalente de varios cientos de metros de cauce real. Así, a menudo vemos a personas incrementar considerablemente su entendimiento al observar el modelo. El modelo Emriver y sus predecesores —usados por conservacionistas fluviales del Medio Oeste— han demostrado ser herramientas muy eficaces para enseñar a los propietarios de tierras y a otras partes interesadas cómo se comportan los ríos y cómo responden a las acciones del ser humano.

El modelo Emriver es también una herramienta muy eficiente para la formación de profesionales encargados de la gestión fluvial con experiencia en ictiología, silvicultura, ecología, limnología o ingeniería civil —pero que tal vez carezcan de, o tengan poca, formación formal en geomorfología fluvial aplicada— así como para la educación y promoción de la protección del medioambiente dirigidas a niños y al público en general. Y, por supuesto, el modelo resulta muy útil para los geomorfólogos de altos estudios superiores en demostraciones más avanzadas, así como para la investigación y la docencia.

1.3.1 Configuración de demostraciones

Enseñar requiere mucha habilidad y talento. Como con cualquier herramienta de enseñanza, su éxito con el modelo Emriver dependerá de su entendimiento de la geomorfología fluvial, el modelo en sí y su audiencia. La preparación es importante. El modelo no es difícil de operar, pero pequeñas diferencias en la forma de emplearlo pueden suponer una gran diferencia en la eficacia de su enseñanza. En general, recuerde estas pautas:

- Para demostraciones de campo, reserve suficiente tiempo para la configuración. El modelo puede ser configurado y listo para usar en tan poco como 30 minutos, pero debe reservar al menos una hora especialmente en entornos desconocidos. Debe reservar al menos 10 minutos para poner en funcionamiento un modelo en el cual el agua subterránea se haya drenado, ya que ese es el tiempo que puede llevar reponer el agua subterránea para empezar con las demostraciones. El material seco puede tardar hasta 30 minutos en saturarse.

- Entienda las pendientes y caudales de arroyo y cómo afectan sus demostraciones. Aunque es tentador usar mayores descargas para un impacto más rápido y llamativo, generalmente se logran mejores resultados con caudales reducidos. Este Capítulo presenta pendientes y descargas iniciales recomendadas para demostraciones. El Capítulo 2 (*configuración avanzada*) contiene instrucciones detalladas para configurar el modelo. Quienes utilicen el modelo con poca frecuencia y solo para unas cuantas demostraciones deben estandarizar y documentar su procedimiento de configuración con el propósito de lograr la inclinación necesaria de la caja y el canal con las menores complicaciones posibles.

- Al inicio de su demostración, cuéntele a su audiencia sobre el modelo y cómo funciona. La gente siente una curiosidad invariable por el material de modelado (y casi nunca se dan cuenta de que se trata de plástico). Para grupos avanzados puede que tenga que explicarles cómo la densidad más baja de los sedimentos de plástico es para compensar la escala (vea *propiedades de sedimentos* en el Capítulo 2). Si su audiencia presta demasiada atención a la mecánica del modelo es posible que se distraiga durante la demostración.

- Limite el tamaño de su audiencia de manera que los observadores puedan situarse cómodamente alrededor del modelo y ver la actividad dentro. Quizás tenga que dividir una audiencia grande en grupos más pequeños.

©2015 Emriver, Inc

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

Manual de laboratorio Emriver

Capítulo 2

2 Configuración avanzada y operación

Para la más reciente información sobre desarrollo de módulos contáctenos enviando un email a info@emriver.com o visitando nuestra página de soporte emriver.com/supportFAQ.

Este manual es un complemento del ***manual de uso y cuidado***, y hay información esencial en dicho manual que no se repite aquí. *Es de suma importancia que usted lea y entienda el **manual de uso y cuidado** antes de usar este manual de laboratorio.*

En este Capítulo

2.1 Pendiente de canal

2.2 Variables y ecuaciones de pendiente
- 2.2.1 Cálculo de pendiente máxima
- 2.2.2 Cálculo de pendiente de canal
- 2.2.3 Métodos de cálculo y ajuste de pendiente – Configuración rápida

2.3 Control del flujo
- 2.3.1 Uso del regulador electrónico de caudal Emriver K28
- 2.3.2 Medición de flujo
- 2.3.3 Rangos de descarga
- 2.3.4 Creación de hidrogramas

2.4 Condiciones iniciales
- 2.4.1 Crecidas y formación de accidentes geográficos
- 2.4.2 Forma de valle

2.5 Propiedades de sedimentos
- 2.5.1 Tamaños y colores de material de modelado
- 2.5.2 Comportamiento de aguas subterráneas

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

2.1 Pendiente de canal

La pendiente del canal en el modelo Emriver es controlada por la pendiente de la caja y por la elevación de la tubería vertical. Para la mayoría de configuraciones, la pendiente de la caja es determinada por la altura relativa de sus soportes.

A menos que esté investigando los efectos tectónicos en los canales, es mucho más práctico y realista controlar la pendiente del canal con la tubería vertical que con el movimiento de toda la caja. La pendiente de la caja determinará el rango de pendientes alcanzables mediante los ajustes en la tubería vertical; pero, al igual que en los ríos de verdad, el rango de pendientes realistas en el modelo es bastante limitado: desde 0% hasta aproximadamente 5%. Se pueden establecer pendientes a través de este rango con solo dos o tres ajustes de la caja y todos los ajustes de tubería vertical.

La Fig. 2.1 y las ecuaciones a continuación muestran la relación entre la pendiente de caja, altura de tubería vertical, y la máxima pendiente de canal. La pendiente máxima del canal es la distancia en línea recta dividida por el desnivel vertical entre la unidad disipadora de energía (EDU) y la tubería vertical. Usted solo verá esta pendiente en un canal perfectamente recto.

Más adelante en este Capítulo usted encontrará un método para configuraciones rápidas y establecimiento aproximado de pendientes.

Para trabajos experimentales y un estudio detallado de la geomorfología fluvial, usted debe medir directamente las pendientes en el modelo empleando un instrumento de nivelación. Lo ideal es usar un nivel láser visible autonivelante, aunque otros métodos pueden emplearse también. Vea el Capítulo 3 de este manual para detalles sobre la medición directa de la pendiente de la caja y canal en el modelo Emriver.

©2015 Emriver, Inc

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

2.2 Variables y ecuaciones de pendiente

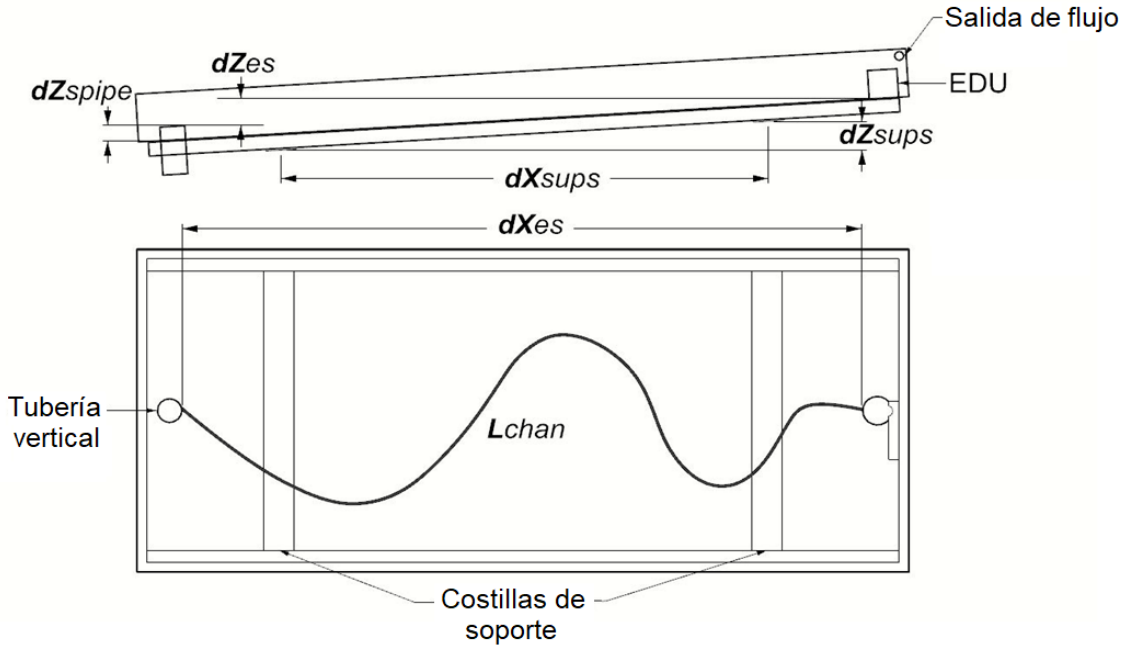


Figura 2.1. Plano esquemático de la disposición longitudinal (arriba) y aérea (abajo) del geomodelo Emriver. Las variables usadas en la configuración y cálculo de la pendiente se indican en la siguiente tabla.

Variable	Definición
dX_{es}	*Distancia (d) horizontal (X) entre la unidad disipadora de energía (EDU) (e) y la tubería vertical (s). En el Em2 es 1.70 m y en el Em3 es 2.74 m.*
dZ_{es}	*Distancia (d) vertical (Z) entre la salida de la EDU (e) y la parte superior de la tubería vertical (s). Cambia con el cambio de pendiente. La máxima es 72 mm en el Em2 y 105 mm en el Em3.*
dZ_{spipe}	*Distancia (d) Vertical (Z) entre la parte superior de la tubería vertical y el piso de la caja (spipe).*
dX_{sups}	*Distancia (d) horizontal (X) entre las costillas de soporte de la caja (sups). En el Em2, esta es 1.24 m; en el Em3 es 1.5 m.*
dZ_{sups}	*Distancia (d) vertical (Z) entre las costillas de soporte de la caja (sups). Puede cambiar con calzas o la inclinación de la base. En el Em2, hasta mediados del año 2021, era de 76.2 mm. Después de mediados de 2021, es de 50.8 mm. En el Em3, es de 76.2 mm.*
L_{chan}	*Longitud (L) de canal (chan) medida a lo largo de la vaguada, o la parte más profunda del canal.*
S_{max0}	*Pendiente de canal (S) máxima (max) posible con una altura de tubería vertical (dZ_{spipe}) de 0 mm. Puede ser calculada. En el Em2 es 0.039, y en el Em3 es 0.05.*
S_{max}	*Pendiente máxima de canal posible para una pendiente de caja y altura de tubería vertical dadas (dZ_{spipe}). La pendiente de un canal recto que va desde la EDU hasta la tubería vertical. Puede ser calculada.*
S_{mc}	*Pendiente de canal meandriforme. Puede ser calculada.*
Sinuosidad	Relación entre la longitud del canal (L_{chan}) y la distancia en línea recta desde la EDU hasta la tubería vertical (dX_{es}). Puede ser calculada.

©2015 Emriver, Inc

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

2.2.1 Cálculo de pendiente máxima

S_{max0} es la pendiente máxima posible del canal en la caja, considerando un canal recto y una elevación nula de la tubería vertical (dZ_{spipe}). Si la altura de la tubería vertical es cero, entonces $S_{max} = S_{max0}$, asumiendo que el material esté nivelado. **A medida que la tubería vertical es levantada, S_{max} se reduce**. S_{max} puede ser directamente medida usando un dispositivo de nivel y la ecuación 1 debajo:

$$S_{max} = \frac{dZ_{es}}{dX_{es}} \quad \text{(elevación sobre la extensión)} \qquad 1$$

2.2.2 Cálculo de pendiente de canal

La pendiente de un canal meandriforme puede ser medida directamente usando un dispositivo de nivel, cinta medidora y la ecuación 2 debajo:

(Pendiente de canal meandriforme) $$S_{mc} = \frac{dZ_{es}}{L_{chan}}$$ (Elevación sobre la extensión de canal) 2

De forma alterna, la pendiente de canal puede ser calculada multiplicando el recíproco de la sinuosidad del canal por S_{max}. La sinuosidad es la longitud del canal dividida por la distancia en línea recta desde la EDU hasta la tubería vertical:

$$Sinuosidad = \frac{L_{chan}}{dX_{es}} \quad \text{(Cociente entre la longitud del canal y la distancia lineal)} \qquad 3$$

$$S_{mc} = \left(\frac{1}{Sinuosidad}\right)(S_{max}) = \left(\frac{dX_{es}}{L_{chan}}\right)(S_{max}) \qquad 4$$

El recíproco de la sinuosidad multiplicado por la pendiente máxima

Elevación sobre la extensión de canal multiplicada por la pendiente máxima

2.2.3 Métodos de cálculo y ajuste de pendiente – Configuración rápida

Para una configuración rápida, la pendiente puede ser ajustada usando los siguientes pasos. Este método requiere que el modelo sea instalado en una superficie perfectamente plana.

1. Use la ecuación 1 para medir la pendiente de un canal recto, dada la altura de la tubería vertical dZ_{spipe}:

$$S_{max} = \frac{dZ_{es}}{dX_{es}}$$

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

Para determinar S_{mc}, usted puede medirla directamente. Si no tiene un nivel, puede medir L_{chan} y calcular la sinuosidad, y luego S_{mc} usando la ecuación 4:

$$S_{mc} = \left(\frac{dX_{es}}{L_{chan}}\right)(S_{max})$$

Por ejemplo: Si S_{max} es 0.04 y $Sinuosidad = \frac{L_{chan}}{dX_{es}}$ = 2.12, entonces:

$$S_{mc} = (1/2.12)*0.04 = 0.019$$

2. De forma alterna, puede crear hojas de cálculo y gráficos que muestren S_{max} para valores dados de dZ_{es} o dZ_{spipe}. La Fig. 2.3 muestra un ejemplo de dicho gráfico. Usted aún necesitará medir L_{chan} para calcular la pendiente de los canales meandriformes.

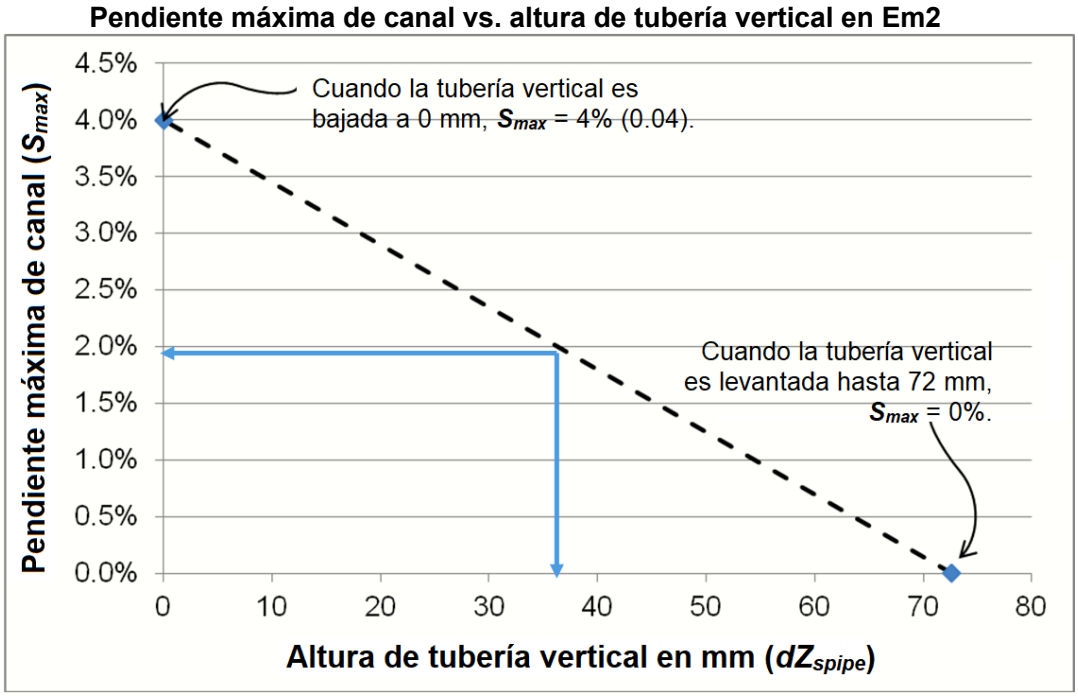


Fig. 2.2. Gráfico mostrando la pendiente máxima de canal (S_{max}) a una altura de tubería vertical dada por encima de la parte inferior de la caja ($dZ_{spipe.}$) y una pendiente conocida dada.

La Fig. 2.2 muestra que:

- Ya que se sabe que la pendiente de caja del geomodelo Em2 es aproximadamente 0.04:
  - Cuando $dZ_{spipe.}$ = 0 mm, es posible que S_{max} = 0.04.
  - Cuando $dZ_{spipe.}$ = 72 mm, entonces S_{max} = 0.
  - Cuando $dZ_{spipe.}$ alcanza un máximo de aproximadamente 120 mm, la S_{max} es menor que 0.

- En cualquier altura de tubería vertical dada (dZ_{spipe}), la S_{max} se puede hallar.

©2015 Emriver, Inc

- Por ejemplo, cuando dZ_{spipe} = 37 mm, S_{max} = ~ 0.02.

Tenga en cuenta que dichos gráficos se pueden construir utilizando las fórmulas anteriores para diversas configuraciones de modelos típicas.

Note que el gráfico en la Fig. 2.2 es un ejemplo que depende de la pendiente conocida del Em2 con soportes con una diferencia de altura de 50.8 mm.

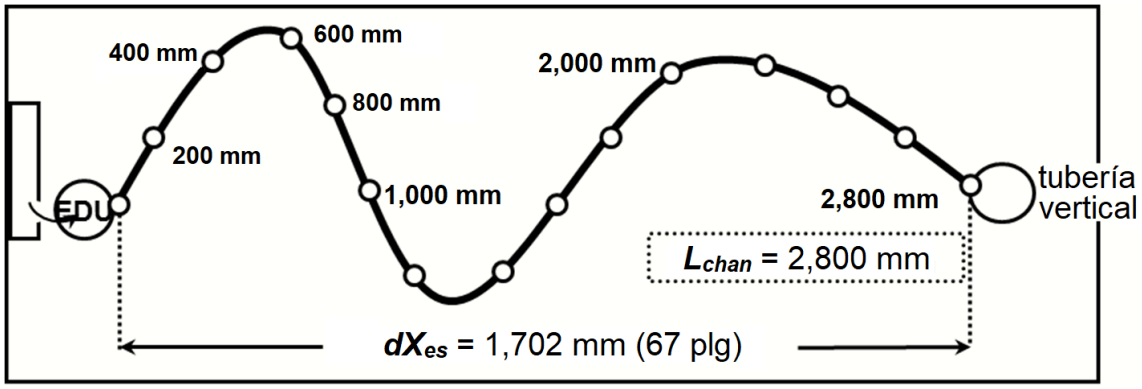


Fig. 2.3. Un canal meandriforme en un modelo Em2 que muestra el tamaño típico de los meandros y las variables que controlan la sinuosidad y la pendiente. Las marcas redondas –separadas entre sí por 200 mm– representan la longitud del canal.

La Fig. 2.3 muestra un canal meandriforme típico en un modelo Emriver Em2. En este ejemplo, tenemos:

L_{chan} = 2,800 mm
dX_{es} = 1,702 mm
Por tanto:
$sinuosidad$ = 2,800 mm / 1,702 mm = 1.65

La pendiente de la caja es, por tanto:

$S_{max0} = dZ_{es} / dX_{es}$
$= dZ_{es}$ (mm) / 1,702 mm
= 72 mm / 1,702 mm
= 0.042, o aproximadamente 4%.

La pendiente de canal máxima con la dZ_{spipe} establecida en 0 mm (S_{max0}) es por tanto 0.042. Establezcamos la tubería vertical en aproximadamente 51 mm (2 plg) por encima del piso de la caja y calculemos S_{max}:

$S_{max} = S_{max0}$ - [dZ_{spipe} / dX_{es}]
$= S_{max0}$ - [dZ_{spipe}. / 1,702 mm]
= 0.042 - (51 mm / 1,702 mm)
= 0.042 - 0.03
= 0.012, o 1.2%.

En este caso, la pendiente de un canal recto desde la EDU hasta la tubería vertical sería de 0.012. Levantar la tubería vertical 51 mm (2 plg) reduce la S_{max} de 0.42 a 0.012.

Nuestro canal meandriforme tiene una sinuosidad de 1.65. Podemos determinar su pendiente general usando la ecuación 4:

$$S_{mc} = \left(\frac{dX_{es}}{L_{chan}}\right)(S_{max})\text{ ; o}$$

$$S_{mc} = \left(\frac{1}{Sinuosidad}\right)(S_{max})$$

$$= (1 /1.65)*0.012$$

$$= 0.007, \text{ o } 0.7\%$$

2.3 Control del flujo

Una bomba en el reservorio hace circular el agua a través del sistema Emriver. Cuando la bomba se enciende por primera vez, el nivel de agua en el reservorio caerá considerablemente antes de que el flujo de la tubería vertical empiece a reponerlo. Los espacios intersticiales del material de modelado retienen más de 25 litros de agua en un Em2, por lo que el nivel de agua parecerá más bajo en el reservorio. Si se levanta la tubería vertical, varios litros de agua pueden acumularse en el extremo inferior de la caja antes de que el flujo de la tubería vertical empiece a llenar el reservorio. No agregue más agua al reservorio, incluso si el nivel de agua aparenta estar reducido durante las demostraciones y ejercicios. Llene el reservorio con la cantidad de agua indicada en el **manual de uso y cuidado Emriver** durante la configuración inicial, y no agregue ni extraiga agua durante el uso.

El flujo es controlado por el regulador electrónico de caudal Emriver K28 o el regulador digital de caudal Emriver K500. Las instrucciones para el ensamblaje y uso de los reguladores de caudal están en el **manual de uso y cuidado Emriver.**

2.3.1 Uso del regulador electrónico de caudal Emriver K28

Para iniciar el flujo y enviar todo el caudal de la bomba a la caja, gire varias vueltas el dial del regulador electrónico de caudal hasta que el flujo ya no se incremente. A partir de aquí, vaya girando el dial en sentido antihorario para reducir el caudal. Para apagar por completo el flujo sin desactivar la bomba, gire el dial del controlador en sentido antihorario hasta que el flujo se detenga.

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

2.3.2 Medición de flujo

La descarga puede ser medida usando un cronómetro y recipientes volumétricos calibrados (disponibles en Emriver, Inc. como parte del kit académico). Para este propósito se pueden utilizar simples tazas medidoras o vasos de precipitados y probetas de mayor precisión.

2.3.3 Rangos de descarga

Cuando no esté midiendo la descarga como se describe anteriormente, puede estimar la descarga observando la salida de la unidad disipadora de energía y la actividad en la caja. Sin embargo, estimar la descarga de esta forma depende de hacer funcionar el sistema a su máxima capacidad por algunos segundos con el fin de retirar las burbujas de la tubería. Si no hace esto, los caudales pueden ser alterados.

El rango de caudales prácticos en el modelo va desde aproximadamente 25 ml/s hasta 250 ml/s.

- Con caudales muy bajos, gran parte del flujo pasa por espacios intersticiales en el modelo y hay muy poca actividad en el canal. Cuando el flujo es apenas superior a un goteo, el caudal es de aproximadamente 25 ml/s.
- En flujos mayores de 75 ml/s, los lechos de canales empiezan a movilizarse por completo. Esto depende, por supuesto, de la morfología del canal y las pendientes existentes cuando se incremente el flujo.
- Cuando el agua esté a punto de desbordarse por la boca de la EDU del Em2, el flujo es de aproximadamente 250 ml/s.

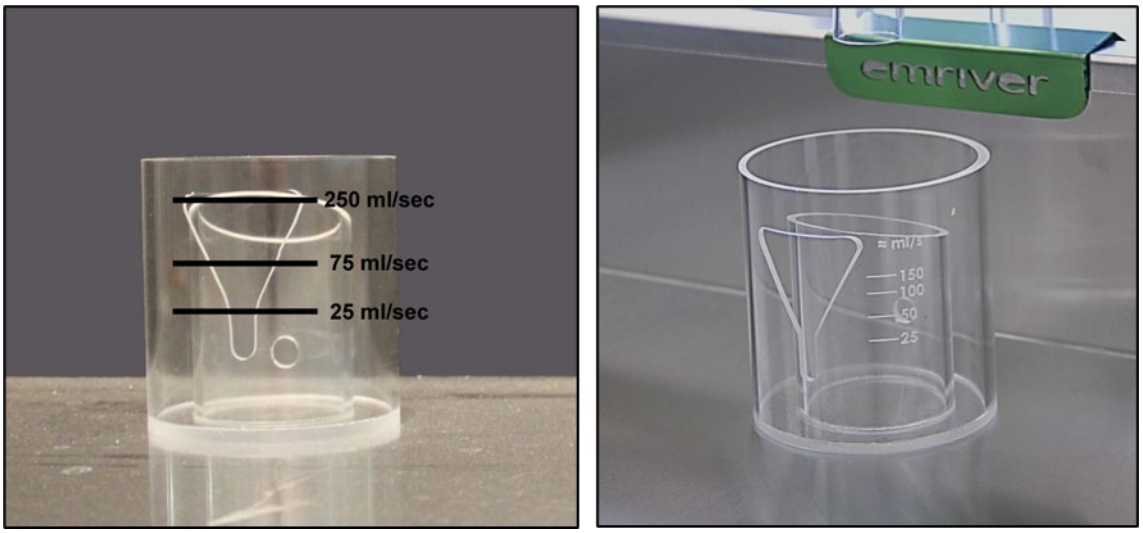


Fig. 2.4. Vista de la unidad disipadora de energía (EDU) en el Emriver Em2. Se indican varios niveles de salida en función del caudal.

Cuando la energía es controlada usando estructuras de control de pendientes u otros medios en el modelo, se pueden usar los flujos más elevados posibles en la bomba

estándar, de aproximadamente 350 ml/s. A menos que dichas estructuras estén presentes en el modelo, los flujos superiores a 150 ml/s generarán grandes canales con un elevado índice de transporte de sedimentos, y usted tendrá mucho trabajo trasladando los sedimentos desde el colector en el reservorio de vuelta a la caja.

2.3.4 Creación de hidrogramas

Crear hidrogramas en el modelo es sencillo. Primero, determine el rango de flujos y forma de su hidrograma. Configure una tabla con caudales y tiempos para mantener cada caudal. Se requiere de al menos dos personas para crear el hidrograma: una que mida el tiempo y otra que monitoree y ajuste los caudales mediante el regulador de caudal.

Al usar un número de recipientes de uno o dos litros de capacidad (tazas grandes de plástico servirán) es también posible medir tanto la descarga de agua como la de sedimentos en el extremo inferior del modelo. Simplemente recoja la salida del modelo en los recipientes durante intervalos de tiempo adecuados, registrando la duración de dicho intervalo para cada recipiente. Luego separe y mida el agua y los sedimentos. Dependiendo de sus objetivos, usted puede tener que secar los sedimentos antes de pesarlos. Los sedimentos absorben muy poca agua.

De esta forma, los estudiantes pueden producir tanto hidrogramas como sedigramas a partir del modelo. Vea el Capítulo 3 para más información.

2.4 Condiciones iniciales

En una sección transversal determinada del canal de un modelo Emriver, el transporte de sedimentos y la morfología del canal dependen del régimen de agua y sedimentos impuesto desde aguas arriba.

Para muchas demostraciones es conveniente que el transporte de sedimentos y la morfología del canal se encuentren en condiciones de equilibrio; es decir, que el transporte de sedimentos sea relativamente constante a lo largo de la mayor parte de la longitud del cauce. Cuando el modelo se encuentre en este estado, las perturbaciones en el canal darán lugar a respuestas bastante predecibles. Por ejemplo, una excavación en el cauce que imite una operación minera producirá una erosión de cabecera que migrará aguas arriba.

Sin embargo, si el canal experimental no se encuentra en equilibrio, la tendencia del canal hacia el equilibrio se impondrá sobre la perturbación, y es posible que usted no observe la respuesta que espera. En general, las demostraciones requieren que se forme un canal y que el flujo produzca condiciones de equilibrio tanto en el perfil longitudinal como en la sección transversal. Para canales más realistas, usted debe generar un hidrograma de crecida a través del sistema para formar barras de punto y

planicies aluviales. A continuación se analizan los métodos para el hidrograma de crecida.

Si usted compró el regulador digital de caudal K500, puede ejecutar un hidrograma preestablecido. Para más instrucciones sobre los hidrogramas preestablecidos y otras indicaciones de uso y cuidado, consulte las Instrucciones de uso del regulador digital de caudal K500.

Luego de regresar a flujos más bajos usted puede examinar visualmente los índices de transporte de sedimentos en el modelo. Cuando estos índices parezcan ser relativamente uniformes a lo largo del perfil longitudinal del canal, se puede asumir la continuidad del transporte de sedimentos en el mismo.

Cuando se llega a esta condición usted puede esperar respuestas relativamente predecibles a las perturbaciones en el canal.

2.4.1 Crecidas y formación de accidentes geográficos

Para formar un canal meandriforme clásico con una gama completa de rasgos fluviales, proceda como se indica:

1. Establezca la pendiente de la caja y la pendiente de la tubería vertical. Envíe flujo a la caja para llenar el nivel freático a la velocidad deseada.
2. Forme un cauce meandriforme con al menos una longitud de onda de meandro completa dentro de la caja. La Fig. 2.3 muestra un ejemplo.
3. Empiece con flujos moderados de 25 ml/s a 55 ml/s y permita el desarrollo de nivel freático y la continuidad del transporte de sedimentos.
4. Incremente los flujos a entre 100 ml/s y 150 ml/s por un breve tiempo. Este flujo mayor movilizará por completo los materiales de lecho y usted verá la formación de barras de punto y pequeñas planicies aluviales. Generalmente solo unos 20 segundos de flujos elevados serán suficientes.
5. Reduzca el flujo a 55 ml/s o menos. A medida que disminuye el flujo, el transporte de sedimentos se reduce y queda un conjunto de accidentes que incluye barras de punto, planicies aluviales, orillas cortadas, pozas y rápidos.

2.4.2 Forma de valle

Para realizar demostraciones de procesos básicos del cauce, tales como la respuesta a la canalización y a la extracción de grava, es bueno comenzar con la morfología típica de un cauce natural (si es que tal cosa existe). El transporte de sedimentos debe estar en equilibrio a lo largo de la mayor parte del perfil longitudinal (es decir, la continuidad en el transporte de sedimentos está presente en todo el cauce). Esta condición puede

lograrse simplemente creando un protocanal a mano y haciendo circular flujos a través del modelo hasta observar que no existan tramos con erosión o deposición neta.

En general, un valle poco profundo en forma de “U”, mostrado en la Figura 2.5, producirá accidentes realistas a medida que el canal migre a través de los sedimentos del modelo. A medida que se amplían las curvas de los meandros, aumenta la altura de las orillas cortadas; y las diversas alturas de estas orillas y de los acantilados permitirán ver cómo estos accidentes se ven y comportan en la naturaleza.

Se puede formar un valle en forma de “U” usando el raspador triangular y la llana de aluminio incluidos con el modelo Emriver. Excave una línea estrecha y recta a través del sedimento en la caja, comenzando en la cabecera y bajando en dirección a la tubería vertical. Una vez que se active el flujo y el agua haya saturado los espacios intersticiales del modelo, debería formarse un canal en forma de “U” a partir del agua que fluye a través del protocanal durante los intervalos de flujo bajo y alto.

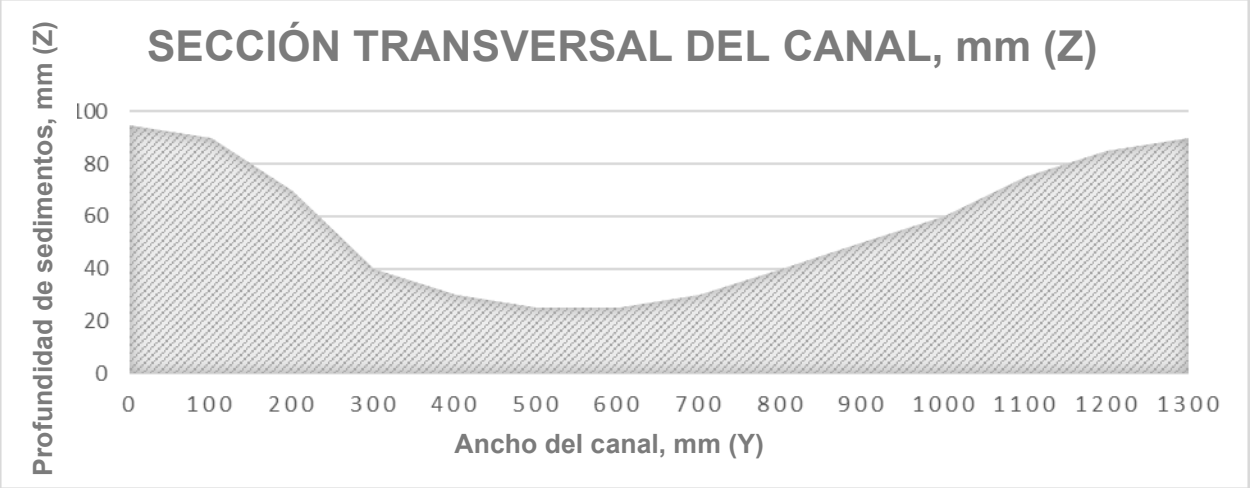


Fig. 2.5. Perfil transversal de una morfología típica de “valle” formada al inicio de una demostración. A medida que los meandros del cauce migran, tenderán a erosionar las laderas del valle, produciendo acantilados abruptos. Este es solo un ejemplo: usted debe experimentar con otras formas.

©2015 Emriver, Inc

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

2.5 Propiedades de sedimentos

El material de modelado usado en el Emriver es plástico termofraguado molido. La mayor parte del material es el mismo plástico duro y denso con el que se fabrican los mostradores. Dicho plástico termofraguado es difícil de reciclar debido a que no se puede fundir ni volver a moldear. El material que usamos es en su mayor parte reciclado de materiales industriales, no generado por consumidores.

La densidad relativa del material varía de 1.4 a 1.6. En cambio, la mayor parte de los sedimentos de origen rocoso en los ríos naturales tienen valores de densidad relativa superiores a 2.6.

Ya que los sedimentos de plástico son menos densos que los de roca, se desplazan con mayor facilidad en los caudales de velocidades relativamente bajas que se observan en el modelo Emriver. El material es altamente anguloso, lo que le permite mantener caras de corte y orillas cortadas que se asemejen mucho a los observados en el campo.

Solo el transporte de cargas de fondo es modelado en el Emriver. No hay partículas de sedimentos lo suficientemente finas como para ser consideradas sedimentos suspendidos.

2.5.1 Tamaños y colores de material de modelado

Los geomodelos Em2 y Em3 vienen con material no codificado por color (Alpha). El Em2 usa 68 kg y el Em3 109 kg. El material sin codificación por colores tiene una base principalmente blanca y presenta otros colores salpicados por toda su superficie. Es posible que observe ciertas relaciones entre el tamaño y el color en este material, pero son estrictamente fortuitas.

En el modelo, los tamaños de los sedimentos en el material no codificado por color varían de 0.7 mm a 2 mm. En el modelo, la distribución del tamaño de partículas está sesgada hacia los tamaños de partícula mayores.

El material de modelado codificado por color (*Carbondale* o *Memphis*) se puede adquirir en Emriver, Inc. Los cuatro colores en este material de modelado representan tamaños específicos de partículas. Los tamaños de partículas de la mezcla *Carbondale* son:

- Roja: 0.4 mm
- Marrón/ negra: 0.7 mm
- Blanca: 1 mm
- Amarilla: 1.4 mm

La mezcla *Memphis* es más fina que la *Carbondale*.

©2015 Emriver, Inc

2.5.2 Comportamiento de aguas subterráneas

El agua se desplaza libremente a través de los espacios intersticiales en el material de modelado. Por ejemplo, si usted utiliza el material para construir una presa, observará filtraciones en la base aguas abajo de la presa. En algunos casos también puede notar filtraciones formándose en las laderas de valles aguas abajo.

Usted notará que algunos procesos de movimiento de aguas subterráneas en el modelo se asemejan a los observados en la naturaleza. Sin embargo, el movimiento relativamente rápido de las aguas subterráneas a través del material de modelado no es necesariamente representativo de los procesos de campo, al menos en la mayoría de los entornos geológicos.

Después de iniciar el flujo en el modelo, tomará algunos minutos para que los sedimentos secos se saturen (o para que el nivel freático se eleve a nivel del lecho de arroyo) antes de que usted pueda obtener flujos normales de canal a través del largo del modelo. Hasta entonces usted observará un curso de agua que pierde caudal.

En una configuración típica, más de 35 L (9,25 gal) de agua permanecerán en el material de modelado Emriver como aguas subterráneas después de que usted detenga el flujo y la descarga en el tubo vertical se reduzca a un goteo. Esta agua puede tardar varias horas en drenarse del material.

©2015 Emriver, Inc

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

Manual de laboratorio Emriver

Capítulo 3

3 Mediciones

Para la más reciente información sobre desarrollo de módulos contáctenos enviando un email a info@emriver.com o visitando nuestra página de soporte emriver.com/supportFAQ/.

Este manual es un complemento del ***manual de uso y cuidado***, y hay información esencial en dicho manual que no se repite aquí. *Es de suma importancia que usted lea y entienda el* ***manual de uso y cuidado*** *antes de usar este manual de laboratorio.*

En este Capítulo

3.1 Vaguada y otras mediciones horizontales

3.2 Mediciones verticales y niveles láser

3.3 Descarga de agua

3.4 Descarga de sedimentos

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

3.1 Vaguada y otras mediciones horizontales

Las medidas de la longitud del canal son usadas en investigación y gestión pluvial para muchos propósitos, incluyendo el modelamiento hidráulico y la caracterización de sinuosidad. Por ejemplo, para determinar la pendiente del cauce debemos medir una distancia horizontal a lo largo del cauce del río.

En general, la distancia de canal es medida a lo largo de la parte más profunda de éste (llamada vaguada), aunque otras trayectorias pueden ser usadas incluyendo una línea central de crecida u otra descarga característica. Aquí usaremos la parte más profunda del canal.

Su modelo Emriver viene con una cinta de medición. Para medir la longitud del canal, coloque la cinta en el centro del mismo, siguiendo sus curvas lo más fielmente posible. Se recomienda desactivar el flujo en el modelo antes, ya que la cinta perturbará el flujo y causará cambios de canal en su modelo. La cinta seguirá las curvas lo más fielmente posible si la coloca en el borde estrecho, como se muestra en la Fig. 3.1.



Figura 3.1. La cinta de medición Emriver seguirá las curvas del canal al ser colocada sobre su borde estrecho.

Siempre mida desde un punto fijo en el modelo. La tubería vertical es un buen punto de referencia.

©2015 Emriver, Inc

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

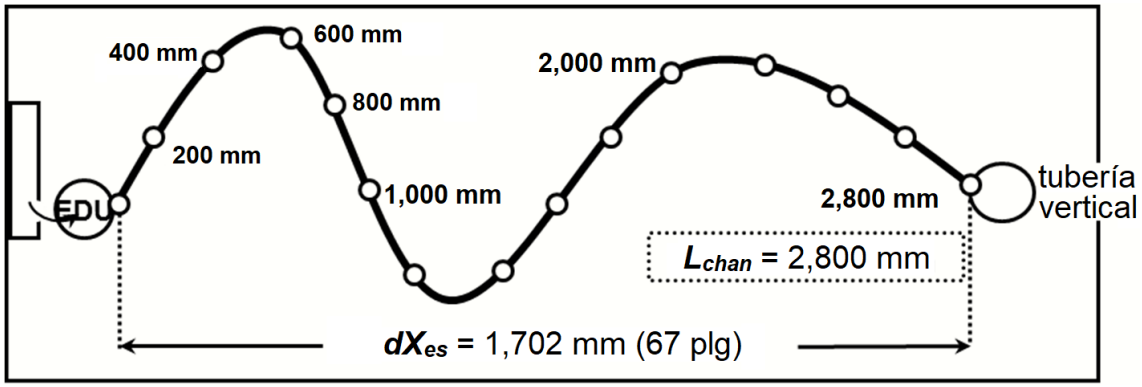


Fig.3.2. Un canal meandriforme formado en el geomodelo Emriver Em2. El canal está marcado en incrementos de 200 mm. Se muestran dos variables usadas para calcular la pendiente y la sinuosidad, L_{chan} y dX_{es}. Vea el Capítulo 2 para una explicación detallada de los cálculos de la pendiente.

3.2 Mediciones verticales y niveles láser

La varilla de control de viga transversal, parte del kit académico Emriver, se usa para medir la distancia vertical desde un haz láser de referencia hacia varios puntos en el modelo. La varilla es usada exactamente como una mira topográfica pero a una escala más pequeña.

Un láser pequeño giratorio con un haz visible será de mucha utilidad. Muchos niveles de medición usan un láser invisible y un receptor; pero no son adecuados para su uso con este modelo porque el receptor es demasiado grande para usarlo con la varilla de control pequeña Emriver. La varilla de control es roja para permitir la visualización del haz rojo-naranja del nivel láser bajo la luz del sol.

El soporte y la viga no sirven como puntos de referencia: las bordas (bordes superiores) del modelo no están niveladas ni son lo suficientemente rectas como para usarlas como bordes rectos.

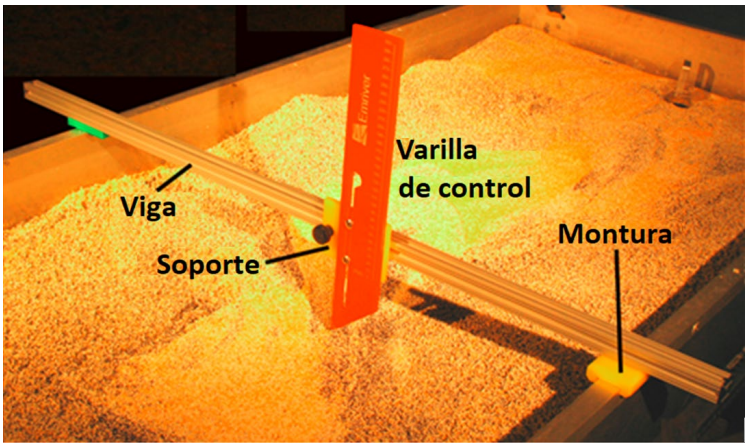


Fig. 3.3. Varilla de control, soporte y viga transversal Emriver. Los modelos antiguos pueden usar un diseño ligeramente diferente.

©2015 Emriver, Inc

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

La viga transversal debe estar casi nivelada, pero no es confiable como línea de referencia. La viga transversal se desliza longitudinalmente sobre las bordas de la caja Emriver mientras que el soporte de la varilla se mueve de lado a lado sobre la viga transversal, permitiendo la medición de la mayor parte de la superficie dentro de la caja. La varilla de control se desliza verticalmente sobre el soporte de varilla para permitir un posicionamiento cuidadoso de su punta contra la superficie a medir. La varilla de control se puede retirar fácilmente del soporte de varilla para acceder a otros puntos. La Fig. 3.4 demuestra cómo ensamblar la varilla y su soporte.

Para inspeccionar puntos dentro del modelo, configure su láser de modo que el haz esté a unos 10 cm por encima de las bordas de la caja. Compruebe que pueda encontrar el haz en todos los puntos de la caja; en las esquinas y en los puntos más alto y más bajo para inspeccionar. Una vez que haya hecho esto, puede medir elevaciones relativas de las formaciones a través de la caja.

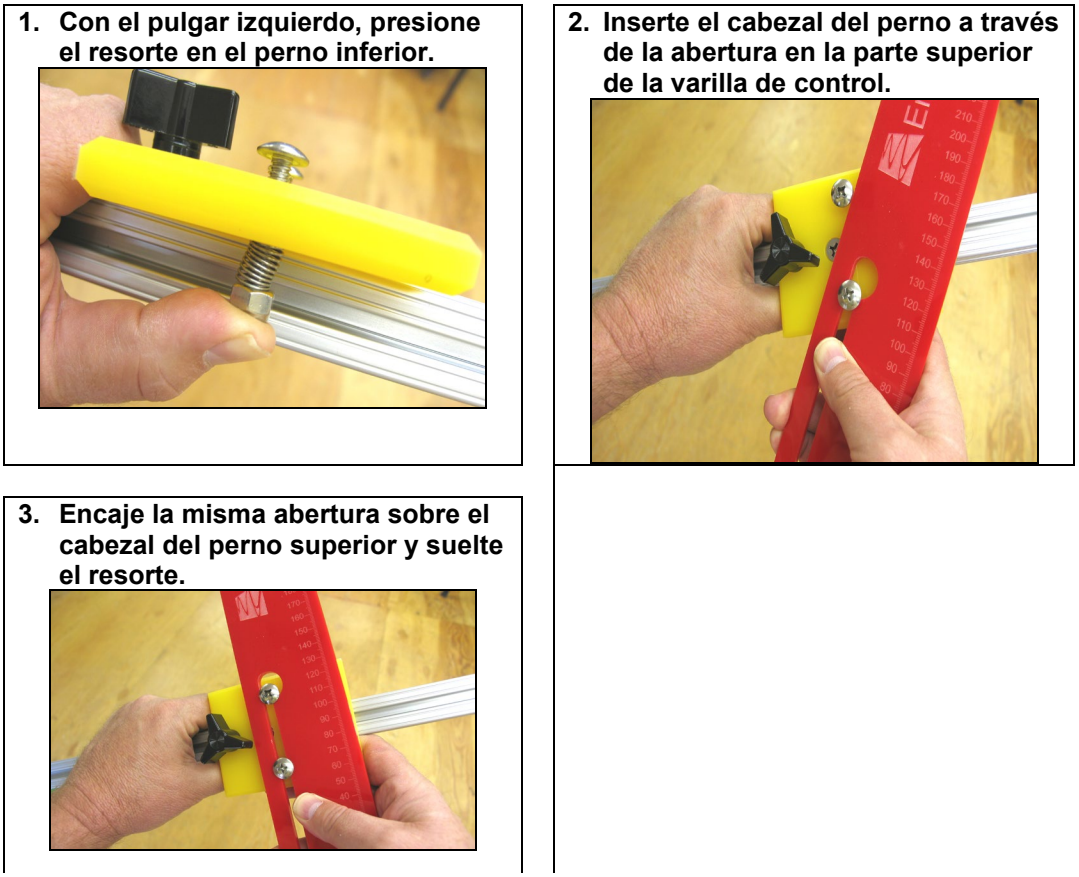


Fig. 3.4. Ensamblado de la varilla de control, soporte y viga transversal (disponibles en Emriver, Inc.).

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

La Fig. 3.5 muestra una configuración básica de nivelación. Los modelos Emriver son excelentes herramientas de enseñanza para métodos de campo, especialmente al ser usados con un láser giratorio ya que los métodos de inspección son esencialmente los mismos que los usados en el campo.

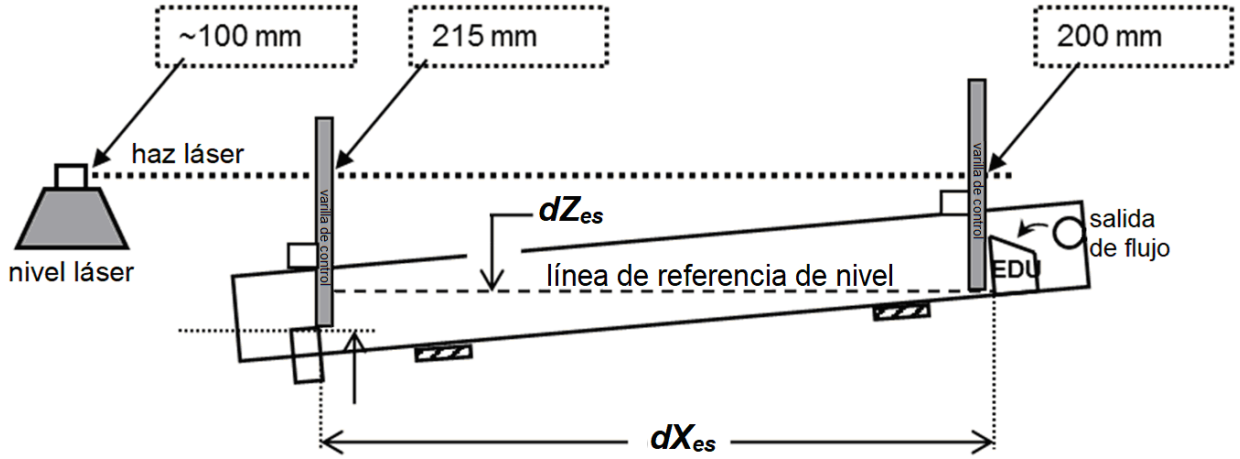


Fig. 3.5. Esquema mostrando nivelación básica. Aquí un láser rotativo es configurado y nivelado de manera que su haz esté 100 mm por encima de la caja Emriver. La varilla de control se muestra como una barra gris en dos posiciones distintas. Las lecturas en la varilla de control muestran que dZ_{es} es 15 mm. Si dX_{es} es 1,320 mm, entonces la pendiente para un canal recto entre los dos puntos sería 15 mm/1,320 mm = 0.011. La línea de referencia de nivel se dibuja solo con fines aclaratorios.

Los perfiles longitudinales del canal pueden inspeccionarse utilizando una cinta métrica y un nivel láser. Usando la varilla de control, mida la elevación del lecho en la vaguada (el punto más profundo del canal) a lo largo de toda la longitud del canal. Asegúrese también de obtener cotas de nivel para el reborde de la tubería vertical, donde la parte inferior de la caja haya quedado expuesta por la erosión. Represente estos datos tal como se muestra en la Fig. 3.6. Algunos ejercicios avanzados incluyen perfiles longitudinales de antes y después, en los que se pueden observar los efectos de las manipulaciones del cauce.

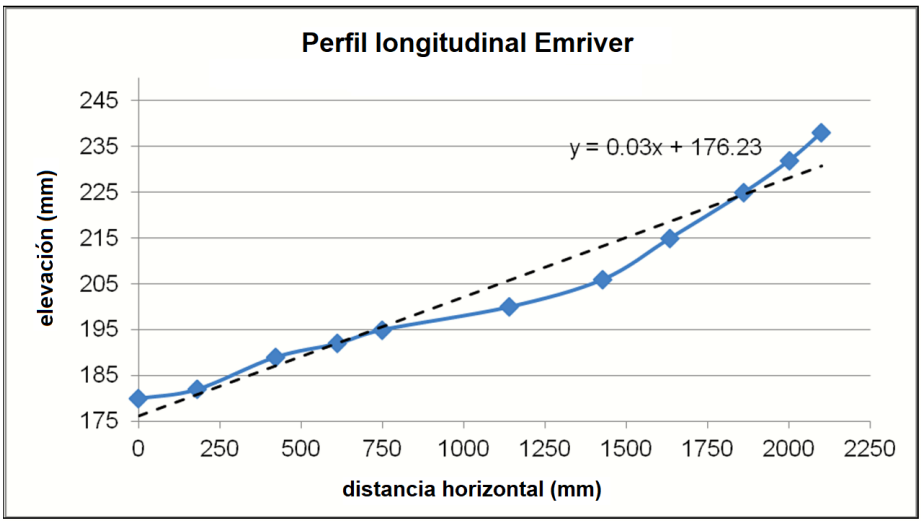


Fig. 3.6. Ejemplo de un perfil longitudinal en el canal meandriforme de un modelo Emriver.

©2015 Emriver, Inc

3.3 Descarga de agua

La entrada de agua a través del modelo puede ser medida usando una probeta graduada y un cronómetro. Dadas las propiedades del material de modelado y el tamaño de caja Em2, el rango utilizable de flujos de descarga es aproximadamente de 25 ml/s a 250 ml/s.

La descarga desde la tubería vertical puede ser medida a través de múltiples captaciones cronometradas. Se requerirán un cronómetro y una probeta graduada. Se necesitarán al menos dos recipientes de recolección, dos relojes y dos personas para recolectar la descarga. Para recolectar toda la descarga, deberá alternar entre los recipientes sin interrumpir el flujo a medida que se vayan llenando.

Usted puede usar mallas finas para filtrar los sedimentos del flujo recolectado antes de medir su volumen.

3.4 Descarga de sedimentos

Al usar un número de recipientes de 1 L o 2 L, es también posible medir tanto la descarga de agua como la descarga de sedimentos en el extremo inferior del modelo. Simplemente recoja la salida del modelo en los recipientes durante intervalos de tiempo adecuados, registrando la duración de cada intervalo para cada recipiente. Luego separe y mida el agua y los sedimentos. Dependiendo de sus objetivos, usted puede tener que secar los sedimentos antes de pesarlos. Las partículas individuales de sedimentos absorben muy poca agua. Puede secar los sedimentos en un horno. El medio de modelado solo debe secarse en el horno **hasta alcanzar un peso constante**. La temperatura máxima recomendada del horno es **100°C** (212°F).

Como alternativa al secado del material en horno hasta obtener un peso constante, es posible determinar la descarga de cargas de fondo mediante el volumen recolectado de agua. Este método debe servir para ejercicios simples y experimentos de clase, y los cálculos requeridos (y análisis de suposiciones) serán una buena experiencia de aprendizaje.

- Primero, recolecte la salida de los sedimentos y agua en la tubería vertical del modelo en un periodo determinado.
- Luego, vierta la mezcla recolectada de agua y sedimentos en una probeta graduada grande y anote el volumen de cada parte.
- Luego, determine el volumen de sedimentos secos recolectados en su muestra húmeda. El volumen de porosidad de los sedimentos húmedos es aproximadamente del 50%. En base a esto se puede calcular el volumen de material de los sedimentos secos.
- Ahora, también se puede determinar la masa de los sedimentos recolectados. La densidad aparente de los sedimentos secos Emriver es 0.75 g/cm³. A partir de

esto, se puede convertir el volumen a peso del material de modelado y utilizar este dato para calcular el transporte de carga de fondo.

Aquí un ejemplo de cálculo:

- Se recolecta un total de 100 ml de mezcla de agua con sedimentos desde la salida de la tubería vertical.
- Luego se miden 20 ml de la mezcla como sedimentos húmedos.
- En base al volumen de porosidad del 50% (0.5 × 20 ml), se puede determinar que 10 ml de sedimentos secos fueron recolectados en la mezcla de agua y sedimentos.
- Ya que la densidad aparente de los sedimentos Emriver es 0.75 g/cm³ (o 0.75 g/ml), se puede también calcular que 7.5 g (0.75 g/ml × 10 ml) fueron recolectados en la mezcla de 100 ml de agua y sedimentos. Por lo tanto, la tasa de transporte de carga de fondo es de 0.075 g/ml.

©2015 Emriver, Inc

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

Capítulo 4

4 Demostraciones

Para la más reciente información sobre desarrollo de módulos contáctenos enviando un email a info@emriver.com o visitando nuestra página de soporte emriver.com/supportFAQ/.

Este manual es un complemento del ***manual de uso y cuidado***, y hay información esencial en dicho manual que no se repite aquí. *Es de suma importancia que usted lea y entienda el* ***manual de uso y cuidado*** *antes de usar este manual de laboratorio.*

En este Capítulo

4.1 Extracción de grava en el cauce

4.2 Medición de transporte de sedimentos, continuidad y estabilidad del canal

©2015 Emriver, Inc

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

4.1 Extracción de grava en el cauce

Aunque está prohibida o fuertemente regulada en muchas partes del mundo, la extracción de arena y grava de los lechos fluviales es común en algunas regiones. El modelo Emriver es bastante útil para demostrar los efectos de la extracción de grava de los cauces, en particular las consecuencias externas que generalmente son ignoradas por el público en general. Estas incluyen la erosión del cauce (también llamada incisión) aguas arriba y aguas abajo de la obra, el aumento de la migración lateral y la erosión de las riberas aguas arriba de la zona trabajada.

Configuración para la demostración de extracción de grava

(Pendiente máxima) S_{max}	Variable, aproximadamente 0.02 (2%).
(Pendiente de canal meandriforme) S_{mc}	Aproximadamente 0.015.
Contorno de superficie de agua en reposo	Meandros suaves, al menos una longitud de onda de meandro completa, sinuosidad de aproximadamente 1.3; alternativamente, un canal recto.
(flujo) Q	De 35 ml/s a 55 ml/s.
Condiciones iniciales	Continuidad consistente de transporte de sedimentos, meandros con barras de punto y accidentes de cauce bien formados. Las riberas elevadas mostrarán procesos de erosión más pronunciados.

Empiece con un canal meandriforme estándar con una sinuosidad de aproximadamente 1.3. De forma alterna, puede empezar con un canal recto. En cualquier caso, dirija pulsos de flujo de aproximadamente 150 ml/s a través del modelo por aproximadamente 15 segundos para formar accidentes de cauce. En el canal recto se debe permitir la formación de barras de punto alternas. Ajuste la descarga de flujo (Q) entre 35 ml y 55 ml/s. Tras reducir el caudal, asegúrese de que el canal se encuentre en un estado metaestable y que la continuidad del transporte de sedimentos sea uniforme a lo largo de todo el canal.

Es posible que desee marcar la elevación de superficie de agua aguas arriba de su sitio de explotación minera para visualizar mejor la incisión que suele producirse. Si usted adquirió el kit académico de Emriver, puede usar la varilla de control para hacerlo. Al configurar la punta de la varilla exactamente en la elevación de superficie de agua, se puede observar y medir la incisión aguas arriba. Sin un punto de referencia como este, la mayoría de personas tiende a subestimar el grado de incisión que tiene lugar. Use un tamiz, cucharón perforado o sus propias manos para retirar sedimentos desde el centro del canal. Retire aproximadamente 250 cm³ de material (aproximadamente una taza).

Se deberán observar varios procesos, los cuales se muestran en las Fig. 4.1 y 4.2 debajo.

©2015 Emriver, Inc

- La continuidad de los sedimentos es completamente interrumpida a medida que el área minada se vuelve un sumidero para la carga de fondo. Note que poco o nada de carga de fondo se mueve a través del área trabajada.
- El mayor talud de fondo en el área de explotación minera favorecerá un mayor transporte de sedimentos, provocando la formación de una erosión de cabecera y su migración aguas arriba.
- Las riberas y el lecho del canal aguas arriba de la zona minada se erosionarán. Esta parte del canal mostrará una exportación neta de sedimentos. Por lo general, en este tramo se observan tasas de transporte de carga de fondo relativamente altas en comparación con los tramos situados aguas más arriba. Este aumento en la tasa de transporte se compensa con la erosión de las orillas y lechos. Por consiguiente, se puede observar los cambios aguas abajo en las tasas de transporte de sedimentos que evidencian dicha discontinuidad. En cierto modo, se podría afirmar que se está extrayendo grava de tramos situados aguas arriba de la zona de retiro real.
- A medida que la erosión de cabecera ocurre, se puede notar la formación de aristas vivas (o “escarpados”) en el lecho, generalmente en graveras. Vemos estas formaciones en el campo, y pueden ser indicadores claros de una incisión rápida.
- En el área de extracción minera se formarán una o más dunas, con taludes de aguas abajo. Dichos taludes se desplazarán aguas abajo a medida que se vaya llenando el pozo. Como se muestra en la Fig. 4.2, el cauce tenderá a restablecer la pendiente original del lecho al buscar la continuidad del transporte de sedimentos.
- El extremo aguas abajo de la zona de extracción sufrirá erosión a medida que el canal retire sedimentos para recuperar la continuidad del transporte de sedimentos. A menudo vemos, en yacimientos mineros, rápidos aguas abajo destruidos precisamente de esta manera.

©2015 Emriver, Inc

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

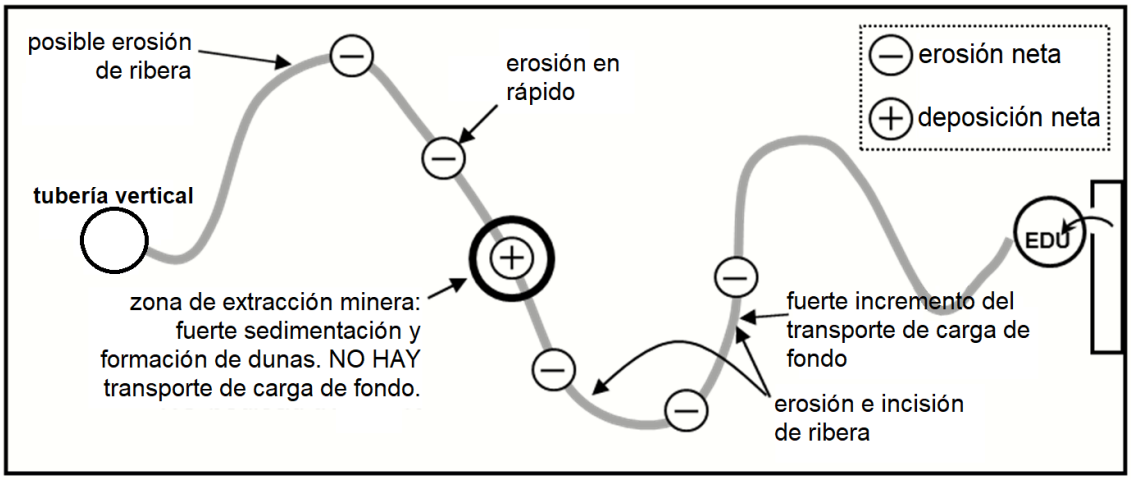


Fig. 4.1. Respuesta esperada al retiro de material del lecho en una simulación de operación minera en el cauce. Generalmente usted puede ver un gran incremento en tasas de transporte de carga de fondo aguas arriba del área de extracción minera. Este incremento neto del transporte es compensado por la erosión de las riberas y lechos.

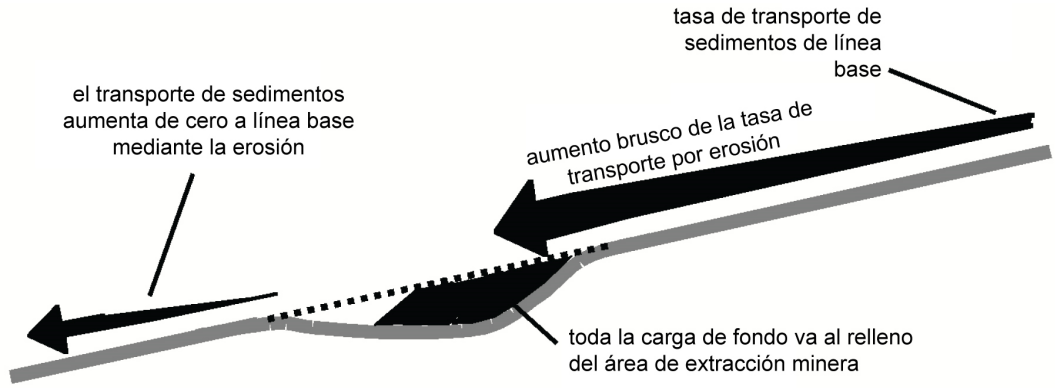


Fig. 4.2. Esquema que muestra un perfil longitudinal de Emriver luego de la extracción de material del lecho. Los anchos de las flechas representan las tasas de transporte de sedimentos, que generalmente son claramente visibles en el modelo. Observe cómo la pendiente original y la tasa de transporte de sedimentos tienden a restablecerse mediante la deposición, a medida que el canal busca la continuidad en el transporte de sedimentos.

Se puede retirar sedimentos del área de explotación minera nuevamente para mostrar los efectos de las extracciones reiteradas en un área determinada, tal como suele ocurrir en operaciones reales. Usted generalmente verá los procesos mostrados en las Figs. 4.1 y 4.2, empeorando la erosión y la incisión de las riberas.

Si se empieza con riberas relativamente altas en las curvas exteriores, se apreciará un marcado colapso de las riberas en las curvas incisas. Este efecto suele causar una fuerte impresión en los observadores y también ilustra procesos geotécnicos: las riberas se desploman no solo debido a la erosión basal, sino también por el aumento de su altura provocado por la incisión.

©2015 Emriver, Inc

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

4.2 Medición de transporte de sedimentos, continuidad y estabilidad del canal

La morfología fluvial es un producto tanto de flujos de agua como de sedimentos. Este experimento se centra en los procesos de transporte de sedimentos y su medición.

Gran parte del interés en los sistemas fluviales se concentra en la estabilidad. La mayoría de personas considera un río estable si su morfología y posición en el espacio no cambian con el tiempo. Esta es una suposición lógica, pero se trata de una condición irreal. En cambio, los ríos aluviales son producto de los sedimentos y el agua que transportan, y casi siempre cambian con el tiempo. Los sedimentos se erosionan del lecho y de las riberas del cauce y –a menos que la sección transversal de este cambie– también se depositan. Si la erosión y la deposición en un tramo son iguales, podemos decir que el tramo es estable al menos según un criterio. En otras palabras, si los sedimentos que entran en un tramo equivalen a los que salen, el tramo es estable. Es posible que el cauce aún migre a través de su planicie aluvial, pero en sentido geomorfológico es estable.

Estos procesos se pueden observar en el modelo Emriver. Los sedimentos en el modelo se mueven como carga de fondo, rebotando contra el lecho del canal. No hay partículas en el modelo lo suficientemente finas como para moverse como carga suspendida. Podemos observar este movimiento y comparar visualmente la tasa de transporte de sedimentos de un tramo con la de otro. Es posible medir la tasa de transporte únicamente recolectando los sedimentos que salen de la tubería vertical. Este problema demuestra las dificultades del mundo real al medir el transporte de carga de fondo.

En este ejercicio, usted se basará en los procedimientos indicados anteriormente para la demostración de extracción de grava en el cauce.

Pasos

1. Configure el modelo usando las condiciones iniciales e instrucciones dadas para la demostración de extracción de grava. Forme un canal meandriforme y use un pulso de crecida para crear superficies pequeñas de planicies aluviales (crestas o topes de barra). Luego, reduzca el flujo a aproximadamente 55 ml/s para establecer un canal en equilibrio.

2. Una vez establecido un canal en equilibrio (en el que el transporte de sedimentos parece ser aproximadamente constante a lo largo de todo su canal experimental), registre el valor de descarga. Luego, mida la tasa de descarga de sedimentos desde la tubería vertical. Para este ejercicio usted puede usar el peso de los sedimentos drenados o una medición volumétrica. Esto último será lo más sencillo.

©2015 Emriver, Inc

3. Luego, cierre el flujo de agua. Con el flujo cerrado, inspeccione el perfil longitudinal del canal. Utilice un programa de hoja de cálculo o papel milimetrado para trazar el perfil longitudinal. Deje la cinta de medición en su lugar, ya que la volverá a usar al reinspeccionar parte del canal.

   Opción: además de la inspección de vaguada, registre las elevaciones de riberas y topes de barras. Trace estas también, usando diferentes grupos de datos para la vaguada, riberas y topes de barras.

4. Calcule la pendiente y la sinuosidad del canal.

   Opción: fotografíe el canal usando una cámara montada en un trípode u otro soporte que le permita tomar fotos desde exactamente el mismo punto de observación más adelante en el experimento.

5. Retire los sedimentos del canal usando las indicaciones de la demostración de extracción de grava en el canal. Registre el volumen de los sedimentos con una precisión de al menos el 10% del total usando una probeta graduada o un vaso de precipitado.

   Opción: tome una fotografía (como parte de su serie) del canal para mostrar la excavación.

6. Reinspeccione las secciones del canal desde el cual usted retiró los sedimentos. Represente esto en su gráfico de perfil longitudinal anterior.

7. Estudie las respuestas esperadas ante la excavación. Estas se indican arriba. Deberá observar rápidamente estos procesos a medida que se restablece el flujo. Los videos demostrando estas respuestas en un modelo Emriver se pueden ver en el DVD de geomorfología de ríos incluido en este manual.

8. Restaure el flujo de agua, cuidadosamente aumentándolo para restablecer el nivel de las aguas subterráneas (si es que disminuyó durante las labores de inspección). Luego, restablezca el valor de descarga de agua registrado en el paso 2.

9. A medida que el flujo es restaurado, observe cuidadosamente los procesos de transporte de sedimentos. Usted debe observar la mayoría o la totalidad de los procesos mostrados en las Figs. 4.1 y 4.2.

   Registre sus observaciones, comparándolas con las respuestas esperadas indicadas anteriormente.

   Ejecute el modelo con este flujo hasta que parezca haberse restablecido la continuidad del transporte de sedimentos a lo largo de todo el canal experimental.

Opción: tan pronto como los sedimentos sean evacuados de la tubería vertical, empiece a muestrear la descarga de sedimentos y continúe hasta que el canal nuevamente alcance el equilibrio. Represente estos valores en función del tiempo, anotando también los cambios en el área excavada para poder correlacionarlos con las tasas de transporte de sedimentos en la tubería vertical.

10. Corte el flujo de agua. Vuelva a inspeccionar el perfil longitudinal, y represéntelo gráficamente junto a los otros dos. Calcule la pendiente y la sinuosidad del canal.

    Opción: si usted inspeccionó topes de barra y riberas, vuélvalos a inspeccionar. Tome otra fotografía.

Preguntas

1. ¿Observó las respuestas esperadas ante la excavación? En particular, ¿cómo se vio afectada la continuidad de los sedimentos a lo largo de su canal experimental?

2. Los defensores de la extracción de grava dentro de los cauces (ahora ilegal o fuertemente regulada en casi todos los estados de EE.UU.) frecuentemente argumentan que estas operaciones extraen únicamente una parte mínima de la carga de fondo total.

    - En su experimento, ¿cómo se sostendría este argumento? ¿Cómo se compara la cantidad de sedimentos que “extrajo” con la tasa de transporte que midió?
    - ¿Es el volumen extraído una muy pequeña fracción de la tasa de transporte?
    - ¿Cómo se concilian las respuestas observadas con la tasa de transporte y el volumen (o peso) de los sedimentos extraídos?
    - ¿Podría recomendar una tasa de volumen de extracción de sedimentos que no provoque cambios en la morfología del cauce?

3. Si usted observó cambios en los gráficos de perfil longitudinal, ¿cómo los explica? Si usted ha representado gráficamente las elevaciones de topes de barras y riberas, compare las elevaciones de vaguadas con las elevaciones de los correspondientes topes de barras y riberas. ¿Puede notar una evidencia de incisión?

4. Basándose en todas sus mediciones y observaciones, ¿puede realizar un esquema de su canal experimental que muestre las áreas de deposición neta de sedimentos y de erosión durante el experimento?

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

Tomando en cuenta la tasa de transporte base o de equilibrio (que usted midió en el Paso 2) y los gráficos de perfil longitudinal, ¿qué cantidad de sedimento cree usted que se erosionó del tramo aguas arriba de la mina? Esta cantidad será un estimado, pero dará una idea de la magnitud de la perturbación en la continuidad de transporte de sedimentos. Si se tratara de una situación de la vida real, podría indicarle qué cantidad de grava extrajo el dueño de una mina del cauce del arroyo de su vecino aguas arriba.

©2015 Emriver, Inc

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

Capítulo 5

5 Ejercicios y experimentos

Para la más reciente información sobre desarrollo de módulos contáctenos enviando un email a info@emriver.com o visitando nuestra página de soporte emriver.com/supportFAQ/.

Este manual es un complemento del ***manual de uso y cuidado***, y hay información esencial en dicho manual que no se repite aquí. *Es de suma importancia que usted lea y entienda el* ***manual de uso y cuidado*** *antes de usar este manual de laboratorio.*

En este Capítulo

5.1 Canalización
5.1.1 Rectificación
5.1.1.1 Ejercicio avanzado de rectificación de cauce
5.1.2 Ensanchamiento

5.2 Protección de riberas
5.2.1 Protección blanda
5.2.2 Protección rígida
5.2.3 Configuración para demostraciones de protección de riberas

5.3 Empedrado de modelado

©2015 Emriver, Inc

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com

5.1 Canalización

El término “canalización” se utiliza comúnmente como término genérico para referirse a la modificación de cauces. Mediante la canalización, los cauces se pueden tanto realinear como ampliar. A menudo la canalización significa el retiro de una curva de meandro. Otros proyectos simplemente amplían el cauce en intentos —a menudo desacertados e infructuosos— de aumentar la capacidad de recorrido de caudal de avenida a lo largo del tramo. La ampliación de un cauce casi siempre fracasa, o al menos requiere de un mantenimiento frecuente mediante el retiro de sedimentos si es que el cauce transporta cargas significativas de sedimentos gruesos.

El modelo Emriver es particularmente útil para mostrar los procesos que resultan en el fracaso de proyectos tanto de reubicación como de ampliación de cauces.

5.1.1 Rectificación

En los Estados Unidos, miles de kilómetros de cauces fluviales han sido rectificados en un intento por controlar inundaciones, mejorar el drenaje de tierras agrícolas y realinear los cauces que interfieren con puentes y otras infraestructuras. A menudo en estos proyectos no se toman en cuenta los procesos de transporte de sedimentos, lo cual es una de las razones por las que frecuentemente fracasan o provocan graves perjuicios fuera de las obras.

En el modelo Emriver podemos rectificar un canal meandriforme estable para observar procesos típicos que ocurren en ríos reales tras la rectificación.

Configuración para la demostración de rectificación de cauce. Vea también la Fig. 5.1 debajo.

(Pendiente máxima) S_{max}	Variable, aproximadamente 0.020 (2%)
(Pendiente de canal meandriforme) S_{mc}	Aproximadamente 0.015
Contorno de superficie de agua en reposo	Meandros suaves, al menos una longitud de onda de meandro completa, sinuosidad de aproximadamente 1.3; alternativamente, un canal recto
(Flujo) Q	De 45 ml/s a 60 ml/s
Condiciones iniciales	Continuidad bien establecida del transporte de sedimentos, meandros con barras de punto y accidentes de cauce bien definido.

Como antes, empiece con un canal meandriforme metaestable. Inspeccione visualmente la continuidad del transporte de sedimentos. La descarga deberá estar establecida aproximadamente entre 45 ml/s y 60 ml/s.

Seleccione una curva de meandro en la parte central del modelo. Usted deberá observar impactos de canalización tanto aguas arriba como aguas abajo de su rectificación. La Fig. 5.1 muestra una configuración típica. Use la varilla de control y soporte (accesorios opcionales en el kit académico Emriver) para marcar la elevación de superficie de agua aguas arriba del lugar de canalización. Coloque la punta de la varilla justo en la superficie del agua y manténgala allí durante toda la demostración.

Note la diferencia en la elevación del lecho de arroyo por encima y por debajo de su lugar de canalización propuesto (puntos H y J de la Fig. 5.1). También tendrá que anotar o medir la distancia de vaguada entre estos dos puntos. Estos dos valores le darán la pendiente de canal.

Luego, use un cucharón para excavar el nuevo canal. Coloque este material en el canal antiguo tal como se muestra en la Figura 5.1-C.

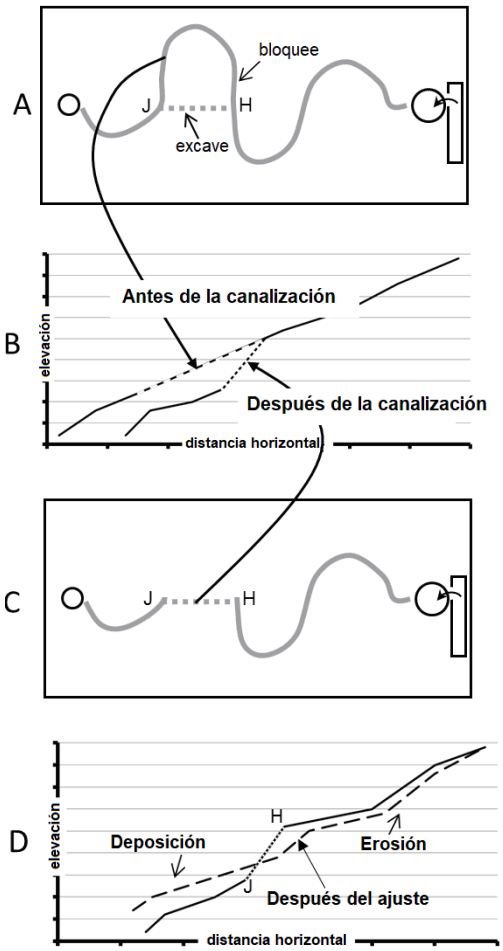
Tal como se muestra en la Fig. 5.1, el canal rectificado presentará el mismo desnivel, pero en una distancia menor. Por lo tanto el nuevo canal tendrá una pendiente más pronunciada, quizás el doble de la pendiente original. Este cambio en pendiente producirá una “caída” en el perfil longitudinal (tal como se ilustra en la Fig. 5.1-B). Esta sección de pendiente más pronunciada se encuentra en desequilibrio con los procesos de transporte de sedimentos aguas arriba y aguas abajo; por tanto es insostenible. El aumento de la pendiente dará lugar a mayores velocidades de flujo (lo cual suele ser la razón de la rectificación: incrementar la capacidad de recorrido de caudal de avenida) y a una erosión en el tramo canalizado. El perfil longitudinal tiende a ajustarse para lograr la continuidad del transporte de sedimentos, erosionando aguas arriba y depositando sedimentos aguas abajo del tramo rectificado.

En resumen, usted generalmente notará que:

- La velocidad dentro de su tramo canalizado será más elevada que la de los tramos adyacentes debido a que el cauce suele ser más estrecho y a que su pendiente se ha incrementado considerablemente mediante la rectificación;
- Las tasas de transporte de sedimentos serán elevadas dentro del tramo, lo que lo convertirá en un exportador neto de sedimentos;
- Una erosión de cabecera se formará dentro del tramo y usualmente migrará una cierta distancia aguas arriba. A medida que la erosión de cabecera se mueve aguas arriba, los sedimentos se enviarán aguas abajo y se verán fallas en las riberas debido a que sus bases están siendo socavadas; y
- Los tramos aguas abajo están anegados de sedimentos. El canal gradualmente recuperará la continuidad de transporte de sedimentos al crear la forma de perfil longitudinal mostrada en la Fig. 5.1-D. En general, el tramo aguas abajo presenta un perfil nivelado, mientras que el tramo aguas arriba muestra incisión. Usualmente durante esta demostración usted observará tasas muy elevadas de exportación de sedimentos en la tubería vertical.

©2015 Emriver, Inc

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com



A. Forme un canal meandriforme con un tramo de canalización lejos de ambos extremos del modelo. Note la diferencia en elevación entre los puntos H y J. Excave el canal recto tal como se muestra y bloquee el canal antiguo.

B y C. El nuevo canal desciende la misma distancia entre H y J, pero es mucho más corto y, por lo tanto, más empinado. Se forma una "caída" insostenible en el perfil longitudinal del canal. El canal inalterado se representa mediante una línea continua.

Por lo general, se observará una mayor velocidad de la corriente y un mayor transporte de sedimentos en el tramo recto, y una erosión de cabecera se moverá aguas arriba.

D. A medida que prosigue el ajuste, el cauce logra la continuidad en el transporte de sedimentos mediante la erosión de los tramos aguas arriba y la deposición de sedimentos aguas abajo. Note que la "caída" ha sido eliminada.

Fig. 5.1. Canalización mediante la sustitución de una curva de meandro por una sección recta, y efectos y ajustes esperados en un canal Emriver.

5.1.1.1 Ejercicio avanzado de rectificación de cauce

Usando la varilla de control de la viga transversal (disponible para su compra con el kit académico de Emriver, Inc., usted puede hacer tres estudios (antes, durante y después de la canalización) para mostrar cómo cambia el perfil longitudinal cuando los ríos son rectificados. Los pasos esenciales son:

1. Establecer un canal meandriforme estable como se indica anteriormente.
2. Apague el flujo e inspeccione el perfil longitudinal. Esta será su condición "antes".
3. Rectifique el canal.
4. Vuelva a supervisar el perfil longitudinal, asegurándose de registrar los perfiles nuevo y antiguo del canal, tal como se muestra en la Figura 5.1. Esta es la condición "durante" o conforme a obra.

5. Restablezca el flujo y deje que el canal se ajuste.
6. Apague el flujo y vuelva a inspeccionar. Esta es su condición “después”. Sus resultados deben ser similares al diagrama de la Figura 5.1, aunque muchas variaciones son posibles. Por ejemplo, se puede ver una incisión aguas arriba sin sedimentación aguas abajo.

5.1.2 Ensanchamiento

La canalización mediante el aumento de la sección transversal —generalmente el ensanchamiento— se lleva a cabo usualmente para incrementar la capacidad de conducción hidráulica. También puede ser usada en intentos (casi siempre infructuosos) de estabilización de canales. En áreas urbanas o alrededor de puentes, los canales ensanchados pueden ser revestidos con concreto o empedrado.

El ensanchamiento causa cambios abruptos en la continuidad de los procesos. El flujo que entra en la sección transversal ampliada invariablemente se reduce y se depositan sedimentos. El tramo ensanchado se convierte en un sumidero de sedimentos y usualmente empieza a recuperar sus dimensiones originales. Esto, por supuesto, anulará todos los beneficios del proyecto. Si la ampliación altera un tramo estable y arbolado, el tramo resultante, tras llenarse de sedimentos, puede ser mucho menos estable que antes.

También se observa un cauce menos estable tras el proceso de sedimentación ya que los sedimentos bien consolidados de las riberas —que pueden haber contenido materiales cohesivos como arcilla y limo— suelen ser sustituidos por arenas y gravas mucho menos resistentes a la erosión fluvial y que no son colonizadas tan fácilmente por plantas leñosas.

La interrupción de la continuidad de los sedimentos y el efecto de “agua hambrienta” pueden provocar una erosión neta del lecho y de las riberas en los tramos aguas abajo tras la ampliación del cauce.

La ampliación del cauce implica muchos de los mismos procesos y respuestas que la extracción minera en el cauce, por lo que la demostración es bastante similar. Dadas las condiciones iniciales semejantes, usted puede notar efectos menos drásticos con el ensanchamiento. Al igual que en la demostración de extracción de grava, los impactos negativos en el canal se generan en gran medida por la interrupción de la continuidad de transporte de sedimentos.

Al igual que en la extracción minera en el cauce, el área de sección transversal del canal aumenta considerablemente. La respuesta puede ser compleja pero, en términos más simples, el tramo ensanchado mostrará una capacidad de transporte de sedimentos reducida ya que la velocidad del flujo para una descarga dada se reducirá. Dado que la velocidad del flujo en un canal está directamente relacionada con esta área (mediante $V = Q/A$, donde V es la velocidad del flujo, Q es la descarga y A es el

©2015 Emriver, Inc

área de la sección transversal), la velocidad promedio en el tramo ensanchado casi siempre disminuirá en comparación con la del tramo no modificado situado aguas arriba. Generalmente, los sedimentos son depositados hasta que el tramo esté en equilibrio (respecto al transporte de sedimentos) con sus tramos adyacentes. En los ríos muy regulados, este proceso se mantiene controlado retirando periódicamente los sedimentos depositados; no es una condición sostenible de forma natural.

Para comenzar con esta demostración, empiece con un canal metaestable y una continuidad consistente de transporte de sedimentos. Seleccione un tramo en el centro del modelo y ensánchelo usando un cucharón, un tamiz o su mano.

Usted generalmente observará varios procesos:

- La velocidad de corriente promedio se reduce considerablemente en el área ensanchada. La continuidad de los sedimentos es totalmente interrumpida a medida que el área ensanchada se vuelve un sumidero para la carga de fondo.
- Una línea de gradiente hidráulica más pronunciada, provocada por el aumento del área de la sección transversal, puede favorecer un mayor transporte de sedimentos aguas arriba de la zona ensanchada, causando la formación de una erosión de cabecera que migre aguas arriba.
- A veces se erosionarán las riberas y el lecho del canal aguas arriba de la zona ensanchada. Esta parte del canal mostrará una exportación neta de sedimentos. Al igual que en la demostración de extracción minera en el cauce, usted puede notar tasas de transporte de carga de fondo relativamente altas en este tramo en comparación con las de los tramos aguas arriba. Usted puede por tanto observar los cambios aguas abajo en las tasas de transporte de sedimentos que indican la discontinuidad.
- En el área de ensanchamiento se pueden formar una o más dunas, con taludes aguas abajo. Sin embargo, lo más probable es que se observe la formación de una o más barras a medida que el canal recupera su área de sección transversal original.
- El extremo aguas abajo de la zona ensanchada sufrirá erosión a medida que el canal retire sedimentos para recuperar la continuidad del transporte de sedimentos.

5.2 Protección de riberas

Es probable que la protección de riberas sea tan antigua como la civilización. Cuando la gente se establece o construye estructuras cerca de ríos, se enfrenta a desplazamientos de cauces a través de planicies aluviales que amenazan dichas estructuras. La migración de cauces es, naturalmente, parte del proceso que da lugar a

llanuras aluviales fértiles y planas, pero el ser humano mantiene un conflicto constante con ella.

Las opciones de protección están limitadas solo por la imaginación, los recursos económicos y los materiales disponibles; abarcando desde autos viejos, chatarra y neumáticos arrojados a las orillas por algún propietario de terrenos hasta proyectos de ingeniería multimillonarios a lo largo de grandes ríos como el Mississippi. Los valores medioambientales pueden verse afectados por ambos tipos.

5.2.1 Protección blanda

La protección blanda involucra el uso de plantas vivas, ya sean solas o en combinación con estructuras de material natural, para resguardar las márgenes de un río contra la erosión. La vegetación plantada protege las riberas de los ríos de numerosas maneras, entre ellas, al mantener unido el suelo mediante sus raíces, absorber el agua de lluvia, disipar el impacto de las precipitaciones a través de sus hojas y ayudar a desacelerar el flujo de agua y fomentar la deposición de sedimentos que puedan contribuir a la formación de orillas en vez de erosionarlas. La bioingeniería es, por lo general, menos costosa que la protección rígida y favorece el hábitat natural de la fauna tanto terrestre como acuática; pero presenta limitaciones prácticas. Las riberas deben ser lo suficientemente estables como para sustentar vegetación; sin embargo, ni siquiera los árboles robustos logran resistir a veces los ciclos de congelación y descongelación, la abrasión del hielo o las inundaciones estacionales de gran magnitud.

5.2.2 Protección rígida

La protección rígida es una técnica de estabilización de riberas fluviales que consiste en nivelar la orilla hasta obtener un ángulo bajo y luego cubrirla posteriormente con materiales como empedrado o con cestas de alambre rellenas de roca, denominadas gaviones. La protección rígida puede ser apropiada en situaciones graves donde sea poco probable que una solución ecológica, como siembra o plantación de vegetación pueda resistir. La protección rígida puede resultar cara y no ser estéticamente agradable, pero es una muy buena protección para riberas de cauces. Una alternativa a la instalación de gaviones paralelos a la orilla consiste en construir espigones —una serie de muros perpendiculares a la orilla, anclados en la ribera y que se extienden hacia el río— para frenar y redirigir el flujo del agua.

5.2.3 Configuración para demostraciones de protección de riberas

Para la mayoría de las demostraciones de protección de riberas, puede comenzar con un canal meandriforme o formar un canal recto y permitir que se desarrollen pequeños

meandros. La mayoría de los observadores consideran que un canal meandriforme es algo normal y visualmente más interesante. En las demostraciones de protección de riberas, es posible que desee experimentar con descargas más elevadas, las cuales suelen acelerar los procesos de adaptación fluvial y de falla estructural. Si usted forma tres o más curvas de meandros y usa flujos relativamente bajos, puede ser capaz de contrastar la respuesta de curvas protegidas y no protegidas.

(Pendiente máxima) S_{max}	Variable, aproximadamente 0.02 (2%)
(Pendiente de canal meandriforme) S_{mc}	Aproximadamente 0.015
Contorno de superficie de agua en reposo	meandros suaves, al menos una longitud de onda de meandro completa (preferiblemente más), sinuosidad de aproximadamente 1.3; alternativamente, un canal recto
(Flujo) Q	De 35 ml/s a 110 ml/s
Condiciones iniciales	Continuidad bien establecida del transporte de sedimentos, meandros con barras de punto y accidentes de cauce bien definidos.

5.3 Empedrado de modelado

El modelo Emriver se suministra con pequeñas piedras de caliza que pueden usarse para simular empedrado. La densidad del empedrado calizo es de aproximadamente 2 g/cm³. Cabe señalar que las piedras calizas tenderán a erosionarse y a hundirse en el lecho del cauce; un proceso que ocurre en los ríos reales pero que normalmente no se produce con la misma facilidad que en el modelo Emriver. También se incluyen piedras acrílicas para simular empedrado hecho de diferentes materiales. El material acrílico de menor densidad permite demostrar que, con caudales de tormenta más elevados, el empedrado acabará fallando y se producirá la incisión de la ribera. Los objetos de acrílico y piedra ofrecen demostraciones muy útiles e interesantes de efectos y procesos relacionados con la protección de riberas.

Luego de construir un canal meandriforme estable, pruebe protegiendo una curva exterior con empedrado. Observe la respuesta con flujos bajos, y pruebe con flujos más elevados también.

La Fig. 5.2. ilustra un proceso que el modelo Emriver muestra particularmente bien: la interacción de protección rígida y estacionaria de riberas con meandros migratorios. Los efectos de un proyecto de protección de ribera particular en procesos fluviales son complejos, y sin duda se verán resultados diversos. En general, se pueden observar estos procesos:

- Aumento del esfuerzo cortante en el pie del empedrado y la consiguiente socavación del material del lecho, lo que puede provocar que las piedras rueden

hacia el lecho y aguas abajo. Cabe señalar que el empedrado tiende a concentrar la energía hidráulica en lugar de disiparla.

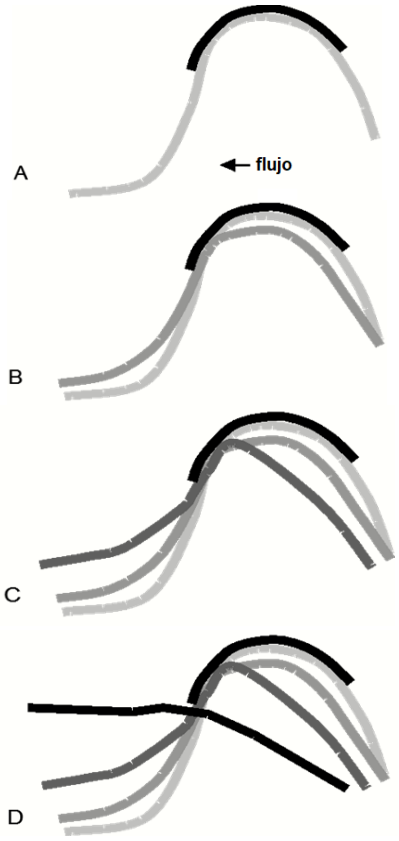
- A veces también se observa erosión en los rápidos situados aguas arriba y aguas abajo. Esto es consecuencia de la alteración de la transferencia de energía y sedimentos en el tramo protegido.

- La curva aguas abajo puede erosionarse por la misma razón.

  La migración de los meandros puede provocar sedimentación en el extremo aguas arriba del empedrado. Es posible observar cambios drásticos en la alineación del cauce a medida que la curva del meandro se desplaza por el sitio, tal como se muestra en la Fig. 5.2. Esta demostración muestra uno de los problemas con estructuras rígidas en cauces aluviales: a menos que el contorno de superficie de agua en reposo del canal nunca cambie, la estructura estará ciertamente condenada a la obsolescencia debido al desplazamiento del cauce a través de la planicie aluvial, por muy lento que sea este proceso. En el caso ilustrado en la Fig. 5.2, la erosión acelerada aguas abajo y la migración del cauce compensarían con creces cualquier beneficio derivado del área protegida con empedrado; a menos que dicho empedrado proteja una estructura de gran valor como una vivienda). Esto puede ser fácilmente visualizado con las casas del kit de estructuras Emriver.

©2015 Emriver, Inc

550 N. University Avenue,
Carbondale, Illinois 62901,
Estados Unidos
+1 (618) 529-7423
emriver.com



La curva de meandro está protegida. Los ingenieros argumentarán, con razón, que en este ejemplo debería protegerse una mayor parte de la curva.

A medida que la curva migra de forma natural, su extremo inferior queda fijado en su lugar por el empedrado Una barra se empieza a formar a lo largo del borde aguas arriba del empedrado.

La barra se agranda. En este punto, se intensifica la concentración de energía en el extremo aguas abajo del empedrado, se forma una profunda fosa de socavación, y el empedrado puede empezar a colapsar. Este proceso puede hacer que el cauce se desplace hacia la derecha (en dirección aguas abajo).

Aquí el proyecto de empedrado está mayormente enterrado bajo sedimentos depositados. La planicie aluvial inmediatamente detrás del proyecto ha sido protegida, pero el canal ha sufrido una grave desestabilización aguas abajo y una gran parte de la planicie aluvial ha sido remodelada con mucha mayor rapidez de lo que hubiera sido de otro modo.

Fig. 5.2. Respuesta hipotética de contorno de superficie de agua en reposo ante la protección con empedrado. Dependiendo de las características del cauce, los sedimentos y el régimen de flujo, son posibles muchas respuestas.

©2015 Emriver, Inc