

CONTROLADORES PARA DEFENSAS RIBEREÑAS

Ficha Técnica



Fuente: Andina Noticias

Muros de concreto armado en Pasco

En el Perú existen muchas zonas bajo el riesgo de inundación. En particular son vulnerables aquellas poblaciones de sierra y selva, que ven periodos de precipitaciones anualmente y que se han asentado cerca de los caudales de los ríos.

Como muchos fenómenos naturales, los ríos tienen un comportamiento de difícil proyección. Aquellos con tendencias a sufrir inundaciones suelen presentar comportamientos imprevisibles que solo sirven para maximizar el nivel del riesgo de las poblaciones que habitan cerca de ellos.

Las inundaciones no solo significan la pérdida de vidas humanas; afectan también los medios de vida y de soporte económico de las poblaciones bajo situaciones económicas marginales.

Una alternativa para lidiar con la realidad de las inundaciones en el Perú, mitigar sus efectos y prevenir el escalamiento de situaciones de desastre es mediante controladores ribereños, una forma de barrera de protección ante la subida del nivel de agua. Sirven no solo para evitar la destrucción material causada por las inundaciones, sino como alternativa ante la pérdida de vidas humanas.

La construcción de controladores es un proceso técnico que requiere de estudios técnicos (hidrológicos y geomorfológicos) de aquellos tramos de ríos que sufren erosión y desbordes.

USOS DE CONTROLADORES RIBEREÑOS

Los controladores para la defensa ribereña dependen de la cuenca de construcción, ya que la geomorfología de la costa no es la misma que la de la sierra o de la selva. Sin embargo, en general todos cumplen las mismas funciones:

- Reducir la velocidad de la corriente cerca de la orilla.
- Desviar la corriente de la orilla cuando ocurren desbordes.
- Prevenir la erosión de las márgenes del río.
- Establecer y mantener un ancho fijo para el río.
- Estabilizar el cauce fluvial.
- Controlar la migración de meandros.

Uso de gaviones

En el Perú los gaviones son usados como muros de contención; diseñados de tal manera que tienen distintos niveles y combinan funciones de sostenimiento y drenaje. Sin embargo, para la construcción de gaviones es necesario uniformizar el terreno donde se ubicarán, sin la necesidad de excavaciones.

Los gaviones protegen los suelos en contra de la erosión hídrica, que afecta el nivel de nutrientes de un suelo, sus características hidráulicas y el potencial agrícola.

Los gaviones también son usados como protección de obras transversales como espigones y diques, así como en el revestimiento de vertederos, protección de tomas de agua, etc.

Uso de los espigones

Se utilizan para desplazar las aguas y el cauce más hondo de un río hacia el centro. También sirven para reducir la capacidad hidráulica, generando sedimentación de partículas finas transportadas por el río y su anchura. Esto ofrece estabilidad a un tramo del cuerpo de agua.

Los espigones permiten la sedimentación, estancamiento o colmatación en ríos de poca pendiente que transportan materiales sólidos en suspensión.

¿CUÁLES SON LOS CONTROLADORES MÁS USADOS?

Los controladores ribereños, también llamados *defensas ribereñas*, son estructuras construidas en las márgenes de los ríos para evitar procesos de erosión y desbordamiento. En general pueden ser de dos tipos: no estructurales y estructurales.

Controladores no estructurales

Son desarrollados de forma artesanal y sin considerar criterios técnicos como una alternativa de bajo coste y rápida construcción. Por este motivo, no se realizan estudios previos de evaluación de la cuenca donde se construyen.

Cumplen la misma finalidad que los controladores estructurales pero son usualmente realizados por las poblaciones sin consultas de especialistas.

Una de las formas más comunes de control no estructural es el uso de zonificación para asignar terrenos con la tendencia a ser inundados (aluviales) a actividades no productivas o actividades no primarias, como la recreación. Sin embargo, su limitación es que no se previenen las inundaciones.

Es muy frecuente el uso de defensas vivas o naturales. En este modelo se utilizan especies de vegetación nativas o exóticas para crear una frontera natural contra la erosión y el desborde de los ríos. Existen experiencias nacionales de este uso, como por ejemplo, la aplicación de bambú como defensa implementado por el programa Sierra Exportadora. Pero hay un límite de caudal frente al que este tipo de barrera puede dejar de ser funcional.

Controladores estructurales

Controladores desarrollados utilizando herramientas y procesos técnicos, y bajo la supervisión de especialistas. Pueden utilizar materiales locales pero siempre cumplen ciertos estándares de técnicos. Se subdividen a su vez en dos tipos: flexibles (para suelos con deformaciones) o rígidos (para terrenos uniformes). Los controladores más populares son:

Gaviones

Estructuras construidas con alambre de acero galvanizado o recubiertos de PVC, a forma de malla, y rellenos de rocas redondeadas (cantos rodados). Los muros de los gaviones protegen las zonas aledañas y son capaces de tolerar grandes deformaciones sin perder resistencia.



Fuente: Agencia de Prensa Lima Norte

Construcción de gaviones en el río Chillón

Pantallas de concreto armado

Estructura de contención similar a los gaviones, pero de mayor profundidad de excavación. No tienen espacios y son completamente impermeables. Como son construidas *in situ* pueden usarse pilotes para dar flexibilidad a la estructura y puntos adicionales de soporte.

Diques

Estructuras que controlan o impiden el paso del agua en un río. Existen dos tipos: artificiales y naturales.

- **Artificiales:** previenen la inundación pues encajonan al río y dan más fluidez a su cauce.
- **Naturales:** depósitos arrastrados por el río y depositados en sus márgenes.

Espigones o deflectores

Construcciones usadas a modo de rompeolas, permiten dirigir el cauce del río y aumentarlo en una dirección específica. Usualmente son construidos de hormigón o rocas de gran tamaño. Funcionan de tal manera que se dirige el sentido del agua, alejando el punto de máxima profundidad de la orilla (evitando desbordes).

Muros de concreto armado

Elementos estructurales de concreto, son construidos en ambas orillas de un cauce de agua para dirigirlo y controlar su flujo.

Muros de mampostería

Similares a los muros de concreto, pero se usan piedras o tabiques de madera, con cierta separación, dando a la estructura cierto grado de permeabilidad. Elementos de diseño.

ELEMENTOS DE DISEÑO

Para la construcción de cualquier sistema de controladores ribereños es necesario que antes se realicen estudios científicos que permitan determinar las características del río sobre el que se trabaja y las características de una posible inundación. Con esta información, será posible construir controladores adecuados a la dinámica específica de la cuenca. Los estudios más importantes a tomar en cuenta son: hidrológico, de hidráulica fluvial y de tipos de socavación.

Estudio de hidrología

Un estudio hidrológico debe tomar en cuenta aspectos de precipitación y climatología de la cuenca (precipitación media anual, tendencias mensuales, meses lluviosos y meses secos), de eventos extremos y de transporte de sedimentos.

Para determinar la precipitación, se debe recurrir a la información oficial (datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, para el caso de Perú). De no existir información disponible, se pueden realizar medidas a lo largo de un periodo prudencial o revisar información de proyectos de cooperación y desarrollo en la zona de trabajo.

Estudio de descargas máximas e hidrograma de avenidas

Este estudio consiste en observar los datos históricos de los caudales de un río, para determinar cuáles son sus cargas máximas. Para ello se debe observar la serie histórica de caudales obtenidos durante la estaciones de mayor aforo del río. En caso de que no existan datos, se pueden obtener aforos alejados del lugar donde se planea construir un controlador ribereño, pero en la misma cuenca. Luego, se deben corregir los datos de acuerdo a la superficie de las cuencas.

El método más útil para cuencas pequeñas, donde no se cuenta con datos de caudales, es el indirecto. Está basado en tres factores: intensidad de precipitación, área de la cuenca y coeficiente de escurrimiento. La siguiente ecuación permite calcular el volumen medio de un río:

$$V = A \times P \times C$$

Donde:

V: volumen medio anual escurrido (m³).

P: precipitación media anual (m).

C: coeficiente de escurrimiento.

A: área de la cuenca de captación (m²).

El área de la cuenca de captación debe ser delimitada a partir del sitio identificado para plantear la protección..

Estudio de distribución de eventos extremos

Es importante realizar un estudio de distribución de eventos extremos porque es una de las metodologías más usadas para el análisis de caudales de máximas avenidas anuales. Ello permite comprender cuántos eventos extremos ocurren en una cuenca y adaptar el diseño de los controladores para soportarlos.

La probabilidad de ocurrencia de un evento se determina conociendo el período de retorno; los usuarios también pueden usar datos de serie de caudales para la zona en estudio.

Distribución probabilística de las descargas anuales máximas

La serie anual de un río son los valores extremos de una serie de observaciones efectuadas durante un año. Conocer estos datos permite aplicarlos a las ecuaciones de distribución de extremos y hacer predicciones contando con la información de un cierto número de años.

En la práctica se usa el papel especial de probabilidades de extremos, denominado papel de Gumbel o papel Gumbel aritmético (figura 3). Para el ploteo de los valores de una serie de descargas anuales máximas, estas deben de ser ordenadas en forma decreciente (de mayor a menor) y luego calcular para cada valor ordenado su correspondiente tiempo de retorno usando la ecuación:

$$T_r = (n+1)/m$$

Donde:

T: período de retorno en años.

n: número total de máximas descargas anuales observadas.

m: número de orden de la magnitud dada cuando todas las descargas anuales observadas son ordenadas en forma decreciente.

Con los datos resultantes se puede plotear en el papel de Gumbel cada valor, ordenado con su correspondiente período de retorno. Para determinar la recta teórica de distribución en el papel de Gumbel, se toman dos valores dentro del rango de los valores ploteados, y haciendo uso de las relaciones encontradas para y, se calcula P y su periodo de retorno. Con estos datos se tienen coordenadas de dos puntos a través de los cuales se trazará una recta teórica de distribución.

Estudio de transporte de sedimentos

El río trae consigo cargas de sedimentos que afectan directamente sus laderas, debilitándolas y permitiendo inundaciones con mayor facilidad. Para estimar la carga de sedimentos existen dos enfoques.

El primero toma en cuenta las características de la lluvia (pluviosidad media anual) y de la cuenca (cobertura vegetal, pendiente) y de la composición granulométrica del material del lecho del cauce del río. A estos valores se les asigna una carga específica de transporte de sedimentos (en toneladas por km² por año).

El segundo enfoque aplica fórmulas empíricas con datos de producción anual de sedimentos de más de 250 cuencas alrededor del mundo para obtener una ecuación general que tiene un error estimado de 50%. La ecuación es:

$$Q_s = a Q^n$$

Q_s : Tasa media anual de transporte en suspensión (t).

Q: caudal medio anual (pies cúbicos por segundo).

Estudios de hidráulica fluvial

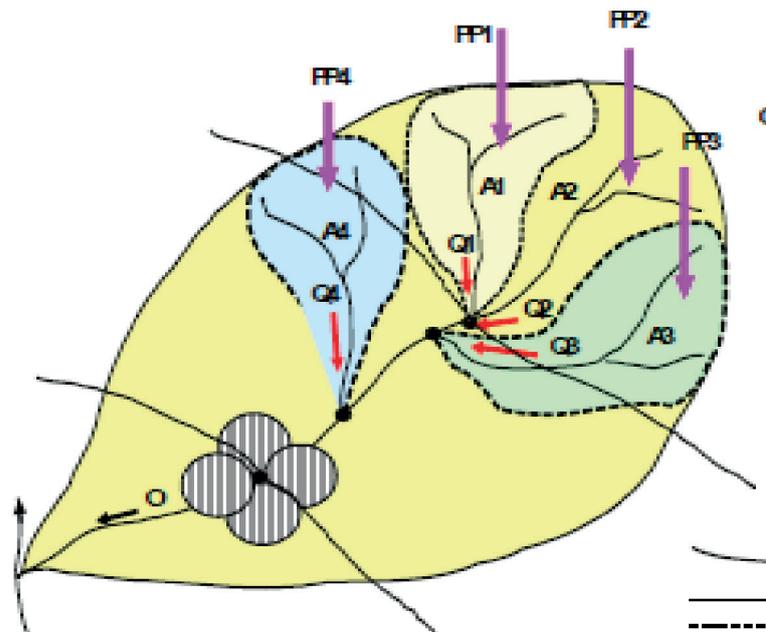
Los estudios de hidráulica fluvial son necesarios porque todos los ríos presentan variaciones, están sujetos a mayor o menor grado de erosión, equilibrio y sedimentación. Estos estudios brindan información necesaria para determinar el tipo de controlador que se va a construir.

Sistema fluvial

El sistema fluvial está conformado por la franja por donde transcurre un río, desde que nace hasta que muere en el mar, un lago o en otro río. Por simplicidad y conveniencia, el sistema fluvial se ha dividido en tres zonas por las que pasa un río al menos una vez a lo largo de su recorrido:

- **Zona 1, de montaña o de juventud de un río:** corresponde a la parte más alta de la cuenca hidrográfica en donde se originan el caudal y los sedimentos. Está caracterizada por tener fuertes pendientes, velocidades altas y caudales bajos. El cauce transcurre por relieves escarpados y estratos rocosos. La energía del río se consume en profundizar el cauce.
- **Zona 2, intermedia o de madurez de un río:** es la transferencia o transporte de agua y sedimentos de la zona 1 a la zona 3. La energía del río se consume en profundizar y ampliar el cauce. El río forma meandros y entrenzamientos.
- **Zona 3, aluvial o de vejez de un río:** corresponde a la parte baja en donde el sedimento se deposita. Se caracteriza por tener pendientes bajas, velocidades bajas y altos caudales. El cauce transcurre en estratos aluviales de gran espesor. La tendencia del cauce es a ampliarse.

Mapa fluvial de una cuenca modelo



Fuente: Ministerio de Economía y Finanzas, 2006

Morfología fluvial

La morfología fluvial se facilita mediante el estudio del alineamiento del cauce y de sus secciones transversales. Las formas de las corrientes de agua son muy variadas y son el resultado de la interacción de muchas variables (caudal, velocidad, pendiente, ancho, profundidad, suelos, etc). El cauce de un río presenta tres formas básicas: recto, meándrico o entrenzado.

- **Recto:** se considera un estado de transición hacia cauces meándricos.
- **Meándrico:** el río se mueve transversalmente y origina la formación de curvaturas en forma de S, que en general se deben a procesos de erosión y sedimentación. Las velocidades son más bajas en la parte interna de las curvas, dando lugar a sedimentación o formación de barras.
- **Entrenzado:** consiste de múltiples canales que se entrelazan y separan en el cauce principal. Una causa del entrenzamiento es la gran cantidad de carga de lecho que la corriente no es capaz de transportar, siendo la cantidad de material más importante que su tamaño.

Estudios de socavación

La velocidad y las diferentes pendientes que se presentan en el cauce de un río generan socavaciones a lo largo del curso. Estas varían según cada caso y es necesario tomarlas en cuenta antes de diseñar un controlador ribereño. Los tipos de socavaciones más importantes son:

Socavación normal o general

Es el descenso del fondo de un río que se produce al presentarse una creciente y es debida al aumento de la capacidad de arrastre de material sólido que en ese momento adquiere la corriente en virtud de su mayor velocidad. Este fenómeno es usual en las partes altas y medias de la cuenca.

Socavación en estrechamientos

Se produce por aumento en la capacidad de arrastre de sólidos, es decir el río trae consigo material suelto de diferente tamaño que adquiere una corriente cuando su velocidad aumenta por efecto de una reducción del área hidráulica de su cauce. Se observa en obras construidas en el cauce de un río, como puentes, asentamiento de poblaciones y áreas agrícolas.

Socavación en curvas

Se forma cuando un río describe una curva por una tendencia en los filetes líquidos del centro de la curvatura a moverse más rápido que los situados hacia el interior. Por esto la capacidad de arrastre de sólidos de los primeros es mayor en la parte del cauce exterior a la curva que en la interior.

Socavación en pilas

Se forma cuando se coloca una pila de puente en la corriente de un río y se produce un cambio en las condiciones hidráulicas.

Estudio de socavación general del cauce

Para determinar la socavación general de un cauce es posible hacer una serie de estudios y clasificaciones, de acuerdo a:

Cauce definido

- **Material cohesivo:** distribución de materiales homogéneos, distribución de materiales heterogéneos.
- **Material no cohesivo:** distribución de materiales homogéneos, distribución de materiales heterogéneos.

Cauce indefinido

- **Material cohesivo:** distribución de materiales homogéneos, distribución de materiales heterogéneos.
- **Material no cohesivo:** distribución de materiales homogéneos, distribución de materiales heterogéneos.

BENEFICIOS DE LOS CONTROLADORES RIBEREÑOS

Los beneficios más importantes de los controladores son:

- Protegen cuencas, riberas y terrenos agrícolas de inundaciones y de procesos de erosión. También protegen la infraestructura de riego y centros poblados cerca de ríos.
- Aseguran la seguridad de puentes que atraviesan ríos.
- La construcción de los sistemas genera empleos temporales.
- Son estructuras relativamente simples: su construcción y mantenimiento no son procesos complejos y los materiales usados son fáciles de conseguir.

- Ofrecen gran durabilidad y resistencia al deterioro por causas ambientales.
- Algunos sistemas de controladores, como los espigones, fomentan la sedimentación y pueden formar cauces de aguas bajas.

RECOMENDACIONES

Antes, durante y después de la construcción de un controlador ribereño es importante tomar en cuenta que:

- Se debe evaluar cuidadosamente la zona donde se construirá un controlador. Es preferible evitar franjas marginales de ríos, donde la falta de espacio jugará en contra del sistema de control y a largo plazo la presencia de este incrementará el peligro para la población que vive cerca.
- Para las construcciones en ríos de la selva se debe recordar que es común que los flujos de las aguas puedan cambiar de dirección. Los estudios hidráulicos e hidrológicos deben cubrir este fenómeno.
- Para la evaluación económica de la construcción: hay un periodo de retorno que debe ser evaluado teniendo en cuenta los caudales máximos y eventos extraordinarios.

OBRAS CITADAS

Ministerio de Economía y Finanzas (MEF). *Guía metodológica para proyectos de protección y control de inundaciones en áreas agrícolas o urbanas. Informe final. Anexos*. Lima: MEF, 2006. Disponible en: www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/instrumentos_metod/agricultura/GuiaInundaciones-ax.pdf (visto por última vez: 23 de junio de 2015).