

Capítulo 11

Nociones introductorias

Los sistemas fluviales sin embalse de regulación, con presa vertedero de hormigón cimentada en suelo, están constituidos por un conjunto de estructuras hidráulicas e instalaciones destinadas fundamentalmente al aprovechamiento de los caudales naturales disponibles en el río intervenido, permitiendo, para el efecto, la generación de la carga o profundidad necesaria del agua sin ocasionar una inundación importante del territorio. En la mayoría de los casos, son sistemas de carga pequeña (con un máximo de 10 a 15 m) o mediana (en pocas ocasiones supera los 30 m).

Una particularidad importante de estos sistemas, que influye decisivamente en las características constructivas y en el costo, es que la presa vertedero cumple funciones no solo de estructura de contención, sino de aliviadero de excedentes, puesto que a través de su perfil son evacuadas las crecidas de diferente magnitud que se presentan durante la vida útil del sistema, incluida la crecida de diseño con probabilidad de ocurrencia que, para estos sistemas, normalmente fluctúa entre 0,01 y 0,001, dependiendo del nivel de importancia de la presa. Es decir, crecidas con periodo de retorno comprendido entre 100 y 1000 años, respectivamente, a diferencia de los sistemas con embalse de regulación en los cuales el periodo de retorno puede llegar hasta 10 000 años. Esto significa que la presa vertedero, a más de las condiciones de estabilidad y resistencia que debe satisfacer una presa ciega, también debe satisfacer las condiciones hidráulicas que permitan la evacuación de la crecida de diseño.

11.1. Campos de aplicación

Los campos de aplicación de los sistemas sin embalse son:

- *Uso energético.* Para centrales hidroeléctricas de carga pequeña ubicadas en el cauce o para centrales de derivación cuando los caudales captados son transportados (derivados) a un sitio distante, donde las condiciones físicas permiten disponer de cargas importantes como son los casos de las centrales Coca Codo Sinclair, Agoyán, San Francisco y otras en Ecuador.
- *Uso consuntivo del agua para producción agrícola o industrial y para consumo humano.* Por medio de estructuras de captación junto a la presa vertedero o en el interior de esta se derivan desde el cauce natural los caudales necesarios para satisfacer los correspondientes gráficos anuales de demanda hídrica, con los niveles de garantía en tiempo y magnitud previamente establecidos. Sistemas de este tipo se adoptan, principalmente, en los tramos de montaña y piedemonte de los ríos.
- *Transporte fluvial en los tramos bajos de los cauces.* Con ayuda de estructuras hidráulicas divisorias y de control-variación del nivel de agua, se posibilita la navegabilidad en los ríos de llanura.

11.2. Ventajas y desventajas

Entre los aspectos positivos o ventajas de los sistemas fluviales con presa derivadora (sin presa de embalse) cabe mencionar:

- *Nivel estable del agua en el tramo aguas arriba.* La presa permite elevar el nivel de agua hasta la cota que posibilite su ingreso a la obra de conducción (canal, túnel, tubería), en cualquier época del año.
- *Control del sedimento de fondo.* La ubicación altimétrica de la cresta de la presa y la inclusión en el sistema fluvial de orificios y galerías de purga, excluyen el ingreso a la estructura de captación de sedimento grueso (piedra, grava, arena). El control

del sedimento fino se realiza fuera del cauce natural, a continuación de la estructura de toma, con ayuda de desarenadores.

- *Menor inversión inicial.* El costo de construcción del sistema es inferior al de un sistema con presa reguladora y embalse. Esta particularidad no solo mejora la viabilidad financiera del proyecto, sino que puede dar lugar a opciones de inversión favorables como el uso de recursos propios exclusivamente o de cooperación externa no reembolsable, por ejemplo, a través de los fondos de contravalor.
- *Menor impacto ambiental.* El área de inundación de tierras es mínima y generalmente estos sistemas no demandan el reasentamiento de pobladores, hechos que excluyen el impacto social negativo, minimizan el impacto ambiental y disminuyen los costos por indemnizaciones.

Entre las desventajas de estos sistemas pueden ser mencionadas:

- *Dependencia del caudal natural.* Esta desventaja se traduce en la ausencia de un volumen de reserva. En los periodos de estiaje podría no ser posible satisfacer los caudales de demanda de los usuarios del sistema y en los estiajes extraordinarios podría no haber opción de captar ningún caudal de agua.
- *Sedimentación del tramo aguas arriba.* Debido al remanso, disminuye la velocidad del agua hacia la presa, hecho que origina la acumulación de sedimento en el tramo aguas arriba. Como consecuencia, es necesario la evacuación o lavado periódico de los sedimentos, con el consiguiente incremento de los costos de operación.
- *Obstáculo para el desplazamiento de peces.* Inclusive una presa de pequeña altura obstaculiza la migración de peces, hecho que hace necesaria la construcción de conductos para peces, con el consiguiente encarecimiento del sistema.
- *Riesgo de erosión del cauce.* La evacuación de las crecidas a través de la presa vertedero origina al pie de la misma flujos de alta turbulencia con velocidades que con frecuencia son muy superiores a las no erosivas. Esto puede originar la ero-

sión del cauce e inclusive la socavación de la cimentación de las estructuras.

- *Elevación del nivel freático.* La elevación del nivel de agua en el tramo aguas arriba puede originar la elevación del nivel freático, con el consiguiente anegamiento de los territorios colindantes.

En resumen, a partir de las ventajas y desventajas de los sistemas de derivación sin embalse, se podría mencionar que estos sistemas son ideales en los casos de ríos con caudales mínimos garantizados, cuando solo es necesario elevar el nivel del agua para su ingreso a la obra de conducción, pero son ineficaces en ríos caracterizados por tener sequías estacionales drásticas.

11.3. Particularidades constructivas y operativas

A lo largos de los siguientes capítulos se verán las particularidades constructivas y operativas más importantes de los sistemas sin embalse con presa de derivación cimentada en suelo, mismas que pueden enlistarse en dos grupos:

Primero, para asegurar el cumplimiento de las condiciones de estabilidad y resistencia mecánica de la presa derivadora cimentada en suelo, así como para mantener la resistencia del suelo de cimentación a las deformaciones por filtración, se requiere la inclusión en el perfil transversal de la presa de los siguientes elementos constructivos:

- *Contorno subterráneo de la presa.* Constituido por elementos verticales y horizontales, puede ser definido como la línea impermeable que separa la base de la presa de hormigón del suelo de cimentación. Los elementos horizontales son las carpetas ubicadas al pie del paramento superior de la presa e implantadas en el fondo del cauce, son generalmente de hormigón armado, aun cuando en ocasiones pueden ser de suelo poco permeable (limo arcilloso o arcilla). Los elementos verticales son las tablestacas y los dentellones; las tablestacas son cortinas

verticales impermeabilizantes formadas generalmente con una o más filas de pilotes verticales de hormigón hincados en el suelo, a profundidades no menores de 2,0 a 2,5 m y la tablestaca de mayor uso es aquella que se ubica al pie del paramento superior de la presa; los dentellones, en cambio, son elementos verticales con los que los paramentos superior e inferior de la presa se incrustan en el suelo de cimentación, hasta profundidades generalmente no mayores a 2 m. Por su lado, la longitud del contorno subterráneo (suma de las longitudes de los elementos horizontales y verticales) debe ser la necesaria para, por una parte, disminuir hasta valores aceptables la magnitud de la subpresión que ejerce el flujo de filtración en la base de la presa de abajo hacia arriba y que, por consiguiente, es fuerza desestabilizadora y, por otra parte, disminuir la gradiente de filtración en el macizo de cimentación a fin de que no sea superada la resistencia del suelo a las deformaciones por filtración.

- *Losa de disipación.* Es una estructura de hormigón armado ubicada al pie de la presa vertedero, en el trayecto del resalto hidráulico. Debe tener el espesor necesario a fin de que no sea desestabilizada por las fuerzas actuantes, en particular, por la subpresión que actúa en la base de la losa desde el suelo de cimentación. La losa generalmente está atravesada por orificios verticales que actúan como drenaje vertical, cuyo objetivo fundamental es descargar la subpresión que actúa en la base la losa y están distribuidos en la superficie de la misma a manera de tablero de ajedrez, con intervalos, por ejemplo, de 3 a 4 m.
- *Drenaje horizontal.* Está ubicado por debajo la base de la presa y bajo la losa de disipación, constituido por material altamente permeable (por ejemplo, grava o piedra triturada). Está en contacto con los drenes verticales de la losa de disipación.
- *Filtro invertido.* Está ubicado entre el drenaje horizontal y el suelo de cimentación, actuando como protector de este.
- *Muros divisorios.* Separan la presa vertedero de otras estructuras que forman parte del frente de contención, por ejemplo, de la sección para lavado de sedimentos.

- *Muros de enlace.* Separan la presa vertedero de las laderas del cauce en el sitio de presa.

Segundo, a más de la presa derivadora, los sistemas sin embalse incluyen:

- *Obra de toma o captación.* Diseñada para permitir el ingreso de los caudales del río de conformidad con el gráfico anual de demanda del usuario o usuarios del sistema.
- *Compuertas metálicas.* Cubren el orificio de entrada a la obra de toma y tienen como función principal regular la magnitud de los caudales que ingresan; entre la obra de toma y la presa derivadora generalmente se ubica una compuerta que forma parte del frente de contención del río y cubre la sección rectangular (sección de lavado de sedimentos), a través de la cual, periódicamente, son evacuados hacia el tramo aguas abajo los sedimentos acumulados bajo el orificio de entrada a la obra de toma, misma que no opera durante el proceso de lavado.
- *Orificios con compuertas.* Con frecuencia, al pie del orificio de entrada de la obra de toma, se ubican para el ingreso de los sedimentos a las galerías de purga, que son estructuras de hormigón armado implantadas bajo la obra de toma, mismas que transportan los sedimentos hacia el tramo aguas abajo, sin que en este caso sea necesario suspender la operación de la obra de toma.
- *Pilas de hormigón.* Dividen el frente de captación en secciones y cuentan con ranuras a lo largo de las cuales se deslizan las compuertas rectangulares.
- *Dispositivos para la protección y paso de los peces.* Son estructuras o mecanismos destinados a reducir el efecto barrera que produce la presa derivadora sobre el desplazamiento natural de la ictiofauna. Entre ellos se incluyen escalas, canales laterales, rampas, pasos naturalizados, rejillas de protección y sistemas de guiado que impiden el ingreso de peces a la obra de toma o a zonas de alta velocidad.

En conjunto, estas particularidades evidencian que el diseño de los sistemas sin embalse exige una integración cuidadosa entre estabilidad estructural, control hidráulico, manejo de sedimentos, protección del cauce y continuidad ambiental. Cada elemento constructivo cumple una función específica dentro del funcionamiento seguro y eficiente del sistema, por lo que su dimensionamiento no puede analizarse de forma aislada. En los capítulos siguientes se desarrollarán estos componentes con mayor detalle, considerando los criterios técnicos que permiten garantizar la operación adecuada de las presas derivadoras cimentadas en suelo.