

Capítulo 2

Construcciones que forman parte de los sistemas fluviales con embalse de regulación: esquemas de implantación

Para definir las condiciones de implantación de un sistema fluvial, se debe adoptar una distribución de sus estructuras que permita cumplir de mejor manera con los objetivos del proyecto. En este sentido, los sistemas pueden incluir uno o más nodos que podrían estar implantados a considerable distancia uno de otro; por ejemplo, en Ecuador, el sistema hidroeléctrico Paute está constituido al menos de tres nodos: Paute Mazar, Paute Amaluza, y Paute Sopladora, el primero de regulación anual y generación hidroeléctrica, el segundo fundamentalmente de generación al igual que el tercer nodo. Por otra parte, los sistemas fluviales con embalse de regulación pueden ser de propósito específico o de propósito múltiple; por razones de viabilidad y eficiencia económica es importante tender a que sean de propósito múltiple; por ejemplo, en Ecuador, el sistema Daule-Peripa, en la cuenca hidrográfica del río Guayas, claramente es un sistema de propósito múltiple: desarrollo agrícola con riego, generación hidroeléctrica, control de inundaciones, abastecimiento municipal; el sistema Paute básicamente es energético, al igual que los sistemas Agoyán, San Francisco, Coca Codo Sinclair; los sistemas Tahuín en la provincia de El Oro y Poza Honda en Manabí son de desarrollo agrícola con riego.

Como se ha anotado, en la formulación de un sistema fluvial de regulación, normalmente se debe partir de la condición de aprovechamiento múltiple del recurso hídrico disponible en el sitio de intervención del cauce natural, para satisfacer, en forma segura y confiable, las nece-

sidades de agua del mayor número posible de los diferentes sectores del desarrollo (energético, agrícola, municipal, piscícola, ambiental, de transporte fluvial). Para el efecto, a más de la presa de regulación, forman parte del sistema diferentes construcciones hidráulicas específicas, tales como:

- Central hidroeléctrica
- Obra de captación u obra de toma
- Aliviadero de excedentes
- Desagüe de uso actual y/o ecológico
- Desagüe de emergencia
- Desagüe de construcción
- Esclusa de navegación
- Instalaciones de protección piscícola

Las particularidades de la implantación están relacionadas en primer lugar con las características del régimen hidrológico de los ríos, con las condiciones topográficas y geológico-geotécnicas en la zona, así como también con el grado de regulación del aporte hídrico y su uso actual, al momento de la construcción del nuevo proyecto.

Dependiendo de los objetivos y de las condiciones naturales los SHF pueden ser: sin generación de carga, con generación de carga pequeña (hasta de 10 metros), con generación de carga mediana (de 10 a 50 metros) y con generación de carga grande (de 50 metros y más).

2.1. Sistemas fluviales sin generación de carga

Son los puertos fluviales y las captaciones directas sin presa.

2.2. Los sistemas fluviales de carga pequeña

Pueden ser implantados en cualquier *macizo natural de cimentación*, rocoso o no rocoso, tanto en ríos de montaña como en ríos de llanura, generalmente donde no existen las condiciones físicas que permitan formar un reservorio o embalse de almacenamiento con volumen suficiente para regular los caudales naturales, pero existe la necesidad de satisfacer la demanda de agua para diferentes usuarios (energéticos, agrícolas, muni-

cipales, ambientales) así como de mejorar las condiciones de navegación fluvial. El frente de contención de estos sistemas a más de las presas ciegas y presas con vertido incorporado (presas vertedero), puede incluir, en caso de necesidad, esclusa de navegación, captaciones superficiales, elementos de protección piscícola, centrales hidroeléctricas, muros hidráulicos.

En los ríos pequeños, con frecuencia, a fin de satisfacer requerimientos de agua potable y riego, se adoptan pequeños sistemas de derivación que incluyen una presa de hormigón con vertido incorporado (presa vertedero), la misma que, a más de la función de estructura de contención, cumple la función de evacuar los caudales excedentes en los periodos de crecida. En otros casos estos sistemas pequeños incluyen una presa ciega (sin vertido incorporado), con frecuencia de material del lugar; por consiguiente, en estos casos, el sistema debe incluir una construcción independiente que permita evacuar los caudales excedentes (aliviadero de excedentes) (Figura 2.1).

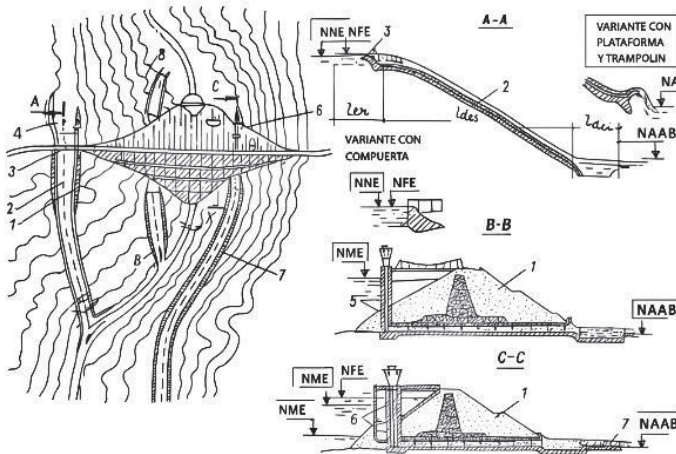


Figura 2.1. Esquema de un sistema fluvial con presa de material del lugar y aliviadero abierto (superficial) de margen.

1- presa; 2- aliviadero abierto de margen; 3- vertedero; 4- canal de acercamiento; 5- desagüe de operación; 6- desagüe de emergencia; 7- canal;

l_{en} — tramo de entrada; l_{des} — tramo de desfogio; l_{dis} — tramo de disipación.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: Presas ciegas. Rusia. AGROPROMIZDAT.

Esquemas de implantación análogos se adoptan también en los sistemas de cargas medianas, con la particularidad que, en casos de márgenes rocosos, los aliviaderos con frecuencia son cerrados, es decir en túnel (Figura 2.2).

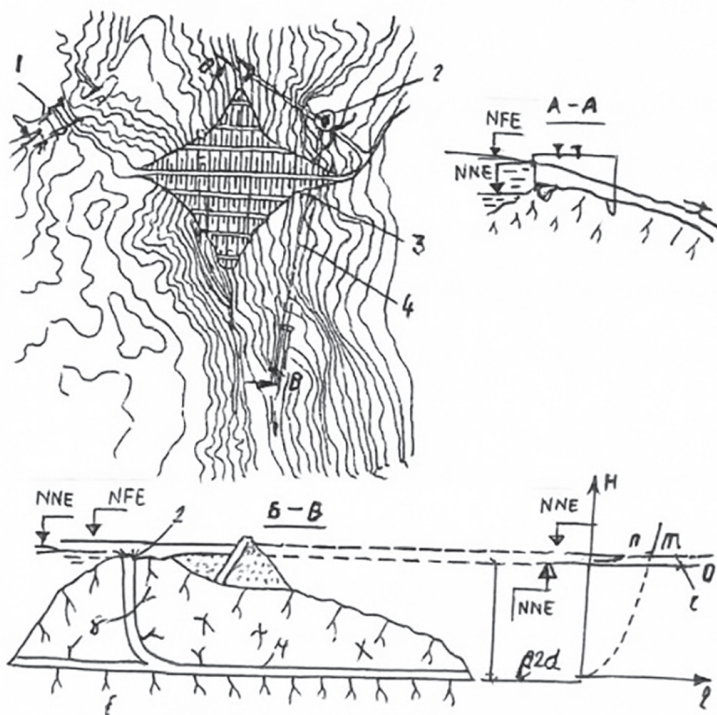


Figura 2.2. Esquema de un sistema fluvial con dos aliviaderos: uno de margen cerrado (con pozo) y otro abierto (en el sector de descenso natural del relieve).

1- aliviadero abierto; 2- aliviadero cerrado; 3- presa; 4- túnel de restitución; 5- tapón de hormigón (antes de su instalación, a través del túnel para evacuar los caudales de construcción); 6- pozo; 7- función $Q = m_b \sqrt{2gH}^{3/2}$; 8- función $Q = \mu_{0, \text{sal}} \sqrt{2gz}$.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: Presas ciegas. Rusia. AGROPROMIZDAT.

Los sistemas de carga pequeña, implantados en zonas montañosas para aprovechar con fines energéticos ríos de pequeño caudal, generalmente, son diseñados como sistemas de derivación de dos nodos: de

cabecera (que incluye la presa de derivación con sus estructuras anexas) y de generación (que incluye la central hidroeléctrica). Este tipo de implantación con frecuencia permite obtener cargas suficientemente altas, para lograr el objetivo energético previsto.

En los ríos caudalosos y relativamente caudalosos con valles anchos, los sistemas de carga pequeña y, en ocasiones, los de carga mediana (especialmente con usuario municipal o agrícola), son diseñados con *aliviaderos naturales o diques fusibles*, cuando las condiciones físicas, en particular las topográficas lo permiten.

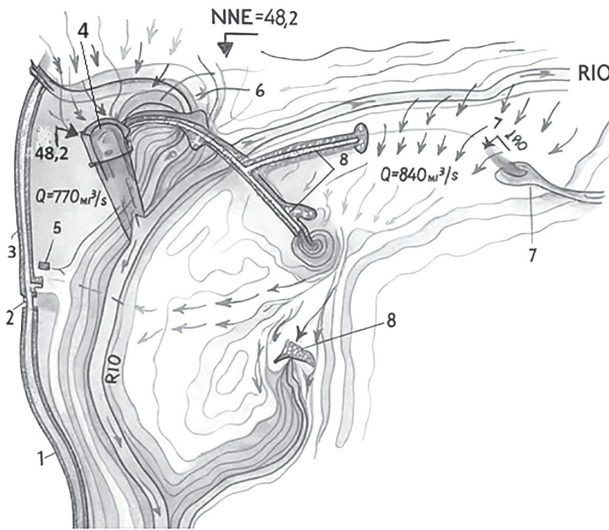


Figura 2.3. Esquema de la alternativa de un sistema fluvial con dos aliviaderos: de hormigón para un caudal de $770 \text{ m}^3/\text{s}$ y aliviadero fusible o natural para un caudal de $840 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondiente a crecidas de baja probabilidad de ocurrencia que se evacuan a través de la llanura de inundación.

1- canal principal; 2- elemento de control; 3- canal de acercamiento; 4- aliviadero de hormigón; 5- desagüe de emergencia; 6- presa; 7- carretera (cresta del vertedero de ingreso al aliviadero natural o dique fusible); 8- diques de protección. En Ecuador el sistema Tahuín, en el río Arenillas, incluye un dique fusible de 12 metros de altura (dique de Pénjamo, ubicado en la cola del embalse). Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: Presas ciegas. Rusia. AGROPROMIZDAT.

2.3. Los sistemas fluviales de carga mediana

Generalmente son implantados en los ríos de planicie y de pie de monte con llanuras de inundación relativamente grandes que, al ser inundadas, permiten la formación de embalses de regulación estacional o anual de los caudales afluentes. Este tipo de sistemas tienen amplias posibilidades como proyectos de propósito múltiple. Las estructuras componentes son cimentadas tanto en macizos rocosos como semi-rocosos, pero también no rocosos; en cualquier caso, las estructuras hidráulicas de hormigón deben ser cimentadas sobre los estratos naturales del macizo de cimentación. Las centrales hidroeléctricas (casa de máquinas) pueden formar parte del frente de contención; las estructuras de captación pueden ser superficiales y profundas; las esclusas de navegación pueden ser de una o dos cámaras, rara vez de más cámaras. Para evacuar los caudales de crecida se adoptan aliviaderos de diferente tipo, incluidos los desagües instalados en la casa de máquinas de las centrales hidroeléctricas. La implantación en el cuerpo de la presa de hormigón de estructuras hidráulicas de diferente objetivo (generación hidroeléctrica, navegación fluvial, captaciones, protección piscícola, así como puentes viales) se sujeta a las normas y especificaciones establecidas en cada caso, por razones de operativas y constructivas.

2.4. Los sistemas fluviales de cargas grandes

Son implantados sobre macizos rocosos en ríos que fluyen en cañones profundos; en estos casos, los embalses formados por presas altas de hormigón o de material del lugar, con frecuencia tienen volumen suficiente no solo para la regulación anual, sino multianual de los caudales naturales afluentes al sitio de intervención.

Cuando un sistema fluvial con carga grande incluye una presa de hormigón, es deseable utilizarla para evacuar los caudales de construcción durante la ejecución de las obras del proyecto y los de excedentes durante la operación, para direccionar el agua hacia los bloques de la central hidroeléctrica, así como para desaguar los volúmenes de agua

requeridos en el río, aguas abajo de la presa, con el fin de cubrir las demandas existentes o usos actuales, antes de construir la presa, incluidas las sanitarias, ambientales, municipales y agrícolas.

En los sistemas con presas altas de material del lugar, los aliviaderos con frecuencia son superficiales e incluyen un orificio de entrada en forma de vertedero, generalmente de perfil práctico y una construcción de desfogue sea en forma de rápida, rápida escalonada o lámina lanzada (salto de esquí); cuando las condiciones geológico-geotécnicas y topográficas lo permiten, se adoptan aliviaderos con pozo vertical o inclinado, conectado a un túnel de evacuación en el que se mantiene flujo supercrítico.

En las figuras siguientes se presentan algunos esquemas de implantación de los sistemas fluviales con embalse de regulación.

2.5. Esquemas de implantación de sistemas fluviales con embalse de carga pequeña ($H \leq 10$ m)

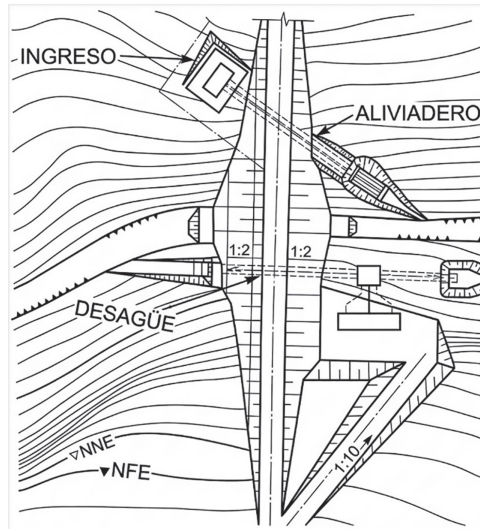


Figura 2.4. Planta de un sistema de carga pequeña con presa de material del lugar.
Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: Presas ciegas. Rusia. AGROPROMIZDAT.

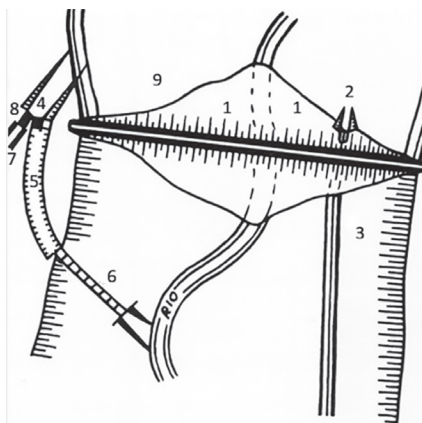


Figura 2.5. Planta de un sistema hidráulico fluvial de carga pequeña con presa de material del lugar.

1- presa de tierra; 2- obra de captación para abastecer a los usuarios del sistema; 3- canal de conducción; 4- canal de acercamiento al aliviadero de excedentes; 5- canal de transición del aliviadero de excedentes; 6- obra de desfogue del aliviadero de excedentes; 7 y 8- canal de inundación y esclusa de regulación; 9- embalse. Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: Presas ciegas. Rusia. AGROPROMIZDAT.

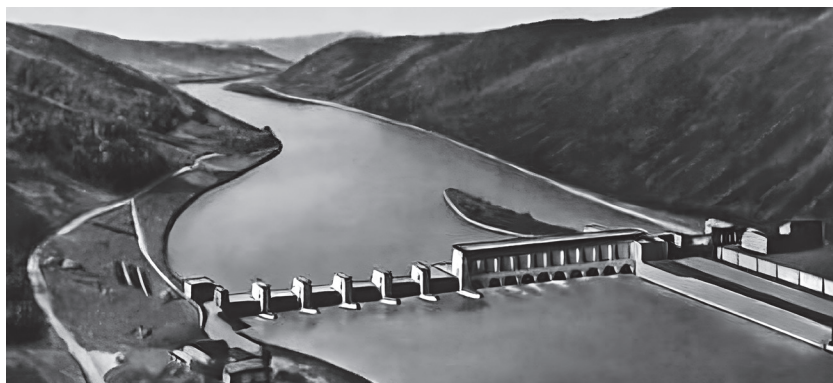


Figura 2.6. Vista general de un sistema hidráulico fluvial de carga pequeña.

El frente de contención incluye esclusa de navegación, central hidroeléctrica y presa vertedero. Fuente: Soboll, S. V., Ezhkov, A. N. y Soboll, I. S., Estructuras de los sistemas hidráulicos fluviales, NNGASU, 2018.

2.6. Esquemas de implantación de sistemas fluviales con embalse de carga mediana ($10 \text{ m} < H \leq 50 \text{ m}$)

2.6.1. Implantación lateral o en llanura de inundación

En este tipo de implantación, la presa vertedero y la central hidroeléctrica se ubican en la llanura de inundación del río, juntas en la mayoría de los casos.

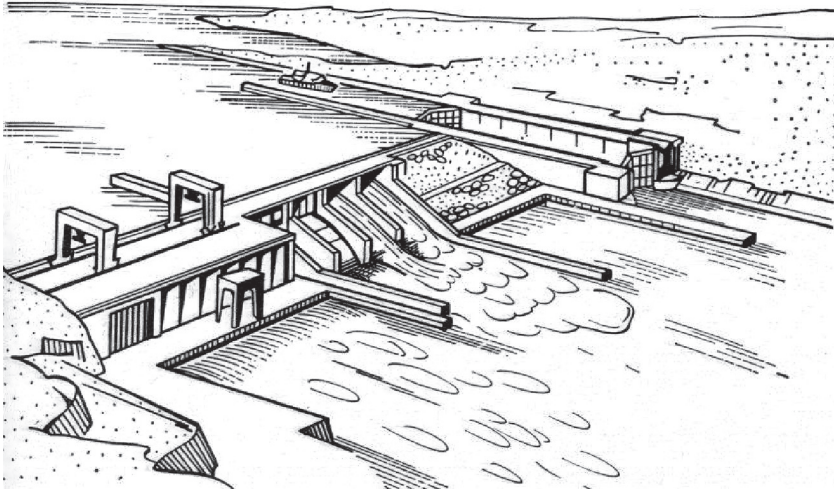


Figura 2.7. Vista general de un sistema fluvial de carga media.

De izquierda a derecha: central hidroeléctrica, presa vertedero, presa de material del lugar; esclusa de navegación.

Fuente: Soboll, S. V., Ezhkov, A. N. y Soboll, I. S., Estructuras de los sistemas hidráulicos fluviales, NNGASU, 2018.



Figura 2.8. Vista frontal de un sistema fluvial con frente de contención que incluye presa ciega de hormigón, central hidroeléctrica a pie de presa y presa vertedero.

Fuente: Soboll, S. V., Ezhkov, A. N. y Soboll, I. S., Estructuras de los sistemas hidráulicos fluviales, NNGASU, 2018.

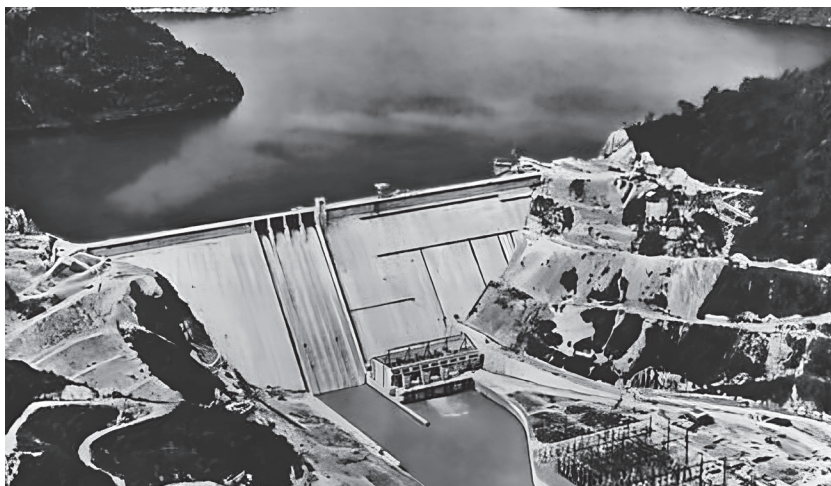


Figura 2.9. Vista frontal de un sistema hidráulico fluvial que incluye presa ciega de hormigón, presa vertedero y central hidroeléctrica a pie de presa.

Fuente: Soboll, S. V., Ezhkov, A. N. y Soboll, I. S., Estructuras de los sistemas hidráulicos fluviales, NNGASU, 2018.

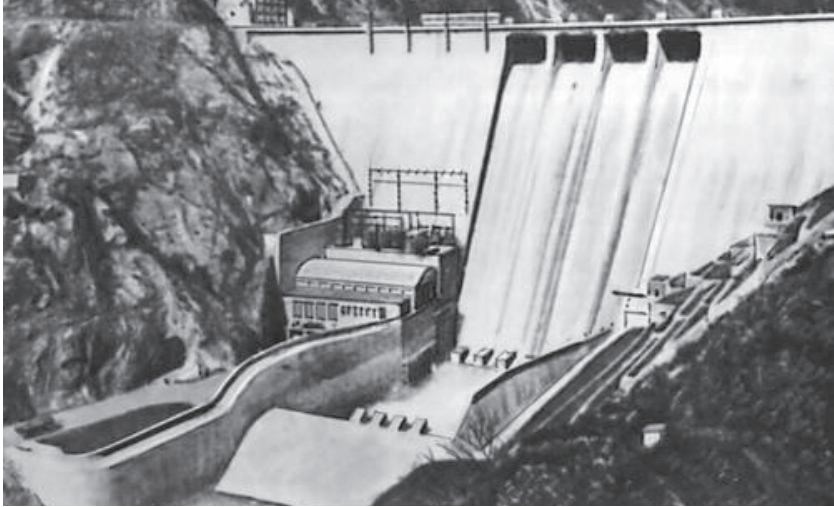
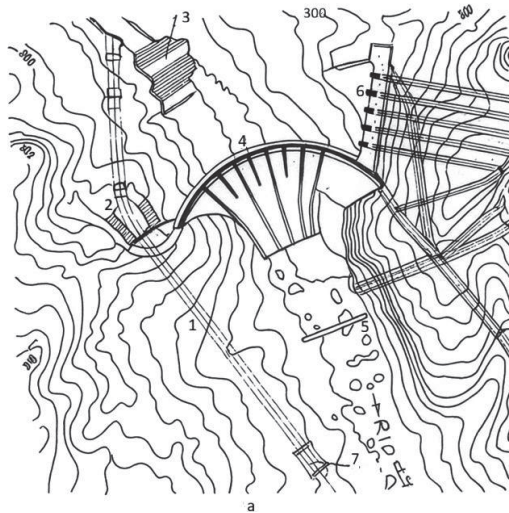


Figura 2.10. Vista frontal de un sistema hidráulico fluvial con frente de contención que incluye presa ciega de hormigón, presa vertedero, central hidroeléctrica a pie de presa. Fuente: Soboll, S. V., Ezhkov, A. N. y Soboll, I. S., Estructuras de los sistemas hidráulicos fluviales, NNGASU, 2018.

a) Planta



b) Corte en la zona de la presa vertedero

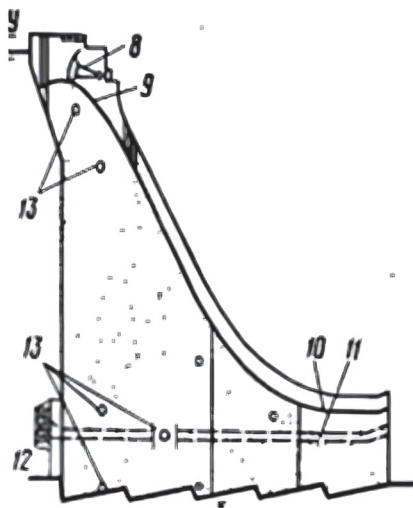


Figura 2.11. Sistema hidráulico fluvial aldea Dávila, España.

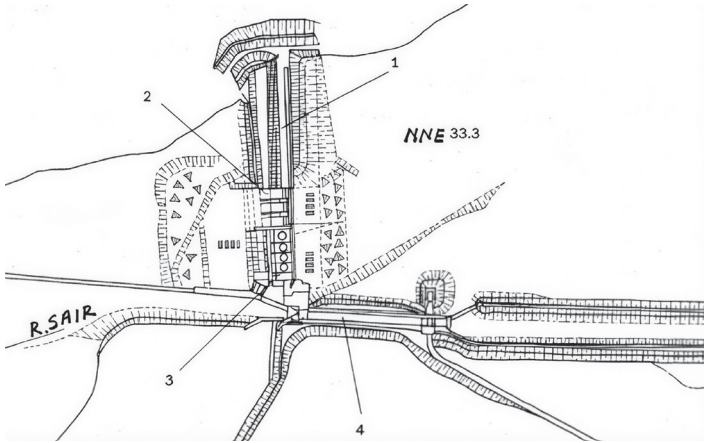
1- túnel; 2- vertedero superficial de ingreso a un túnel de descarga o alivio; 3- ataguía o dique de desvío durante la construcción; 4- presa vertedero; 5- ataguía y dique aguas abajo; 6- estructura de captación para la central hidroeléctrica subterránea; 7- portal de salida del túnel de alivio o descarga; 8- compuertas; 9- superficie de vertido; 10- plataforma del salto de esquí; 11- tubo de desagüe; 12- rejillas gruesas; 13- galerías de inspección y servicio.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: Presas ciegas. Rusia. AGROPROMIZDAT.

El esquema de implantación en cauce de las obras de los sistemas fluviales de carga mediana se adopta en casos de cañones estrechos con pequeño ancho de la llanura de inundación o cuando resulta relativamente costosa la excavación en dicha llanura, para cimentar las construcciones de hormigón.

Existen también ejemplos de implantaciones en cauce en casos de valle ancho del río.

a) Planta de un sistema fluvial de carga mediana. 1- presa de material del lugar; 2- presa vertedero; 3- central hidroeléctrica; 4- esclusa de navegación.



b) Vista del sistema desde aguas abajo. De izquierda a derecha: presa de material del lugar, presa vertedero, central hidroeléctrica, esclusa de navegación.



Figura 2.12. Implantación en cauce de un sistema fluvial con carga mediana.

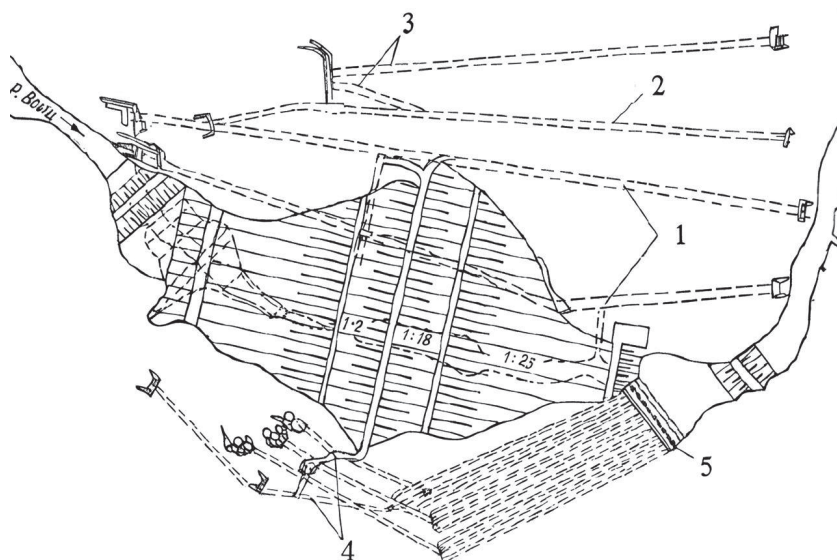
Fuente: Soboll, S. V., Ezhkov, A. N. y Soboll, I. S., Estructuras de los sistemas hidráulicos fluviales, NNGASU, 2018.

2.7. Esquemas de implantación de sistemas fluviales con embalse de carga grande ($H > 50$ m)

2.7.1. Implantación en cauces angostos

En este caso se presentan dos soluciones básicas: la primera, presa de material del lugar, aliviadero de margen, abierto o en túnel, central hidroeléctrica abierta o subterránea; la segunda, presa de hormigón, aliviaderos en la presa o en las márgenes, central hidroeléctrica a pie de presa o subterránea (caso del sistema hidroeléctrico de Chirkey, Dagestán) (Figuras 2.13 y 2.14).

a) Planta del sistema. 1 a 4- túneles; 5- central hidroeléctrica.



b) Vista general del sistema.

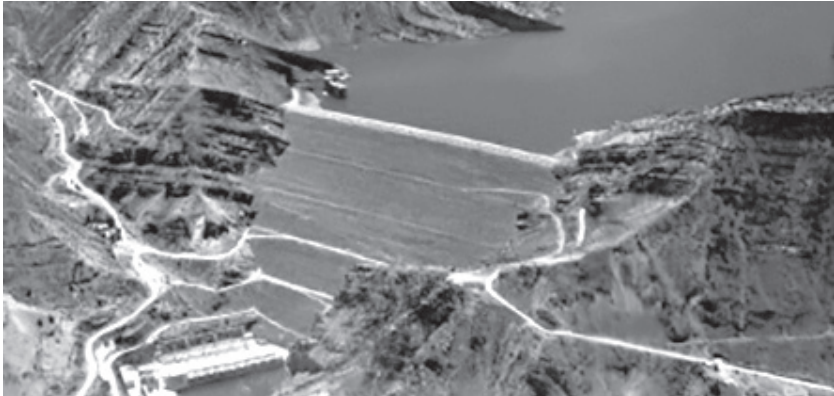
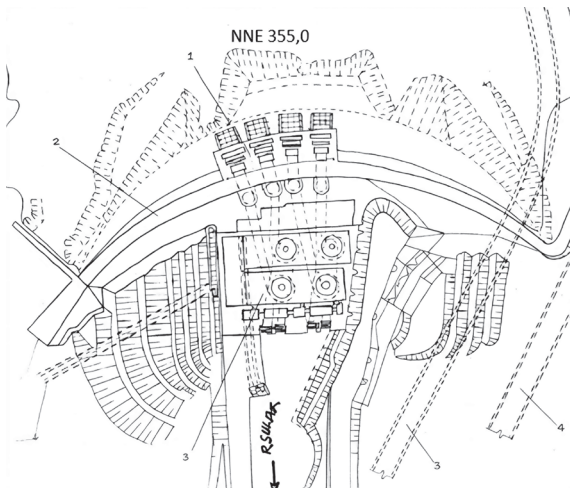


Figura 2.13. Implantación de un sistema fluvial con embalse de carga grande en un cañón estrecho y presa de material del lugar.

Fuente: Soboll, S. V., Ezhkov, A. N. y Soboll, I. S., Estructuras de los sistemas hidráulicos fluviales, NNGASU, 2018.

a) Planta de las construcciones del sistema. 1- obra de captación; 2- presa de arco; 3- central hidroeléctrica; 4- túnel de transporte; 5- túnel de construcción; 6- túnel del aliviadero.



b) Vista del sistema desde aguas abajo. En el centro: presa de arco; a la izquierda: ingreso a la casa de máquinas; a la derecha: tramo final del aliviadero de excedentes.



c) Corte transversal de la presa y central hidroeléctrica Chirkey.

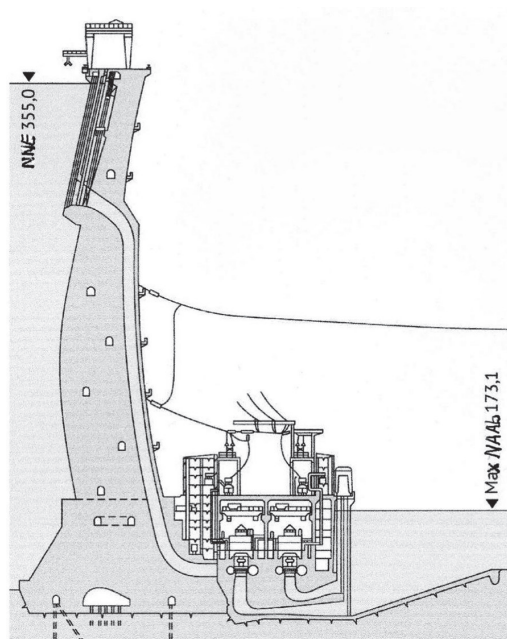


Figura 2.14. Implantación de un sistema fluvial con embalse de carga grande y presa de hormigón.

Fuente: Soboll, S. V., Ezhkov, A. N. y Soboll, I. S., Estructuras de los sistemas hidráulicos fluviales, NNGASU, 2018.