

Capítulo 18

Captaciones directas desde los cauces naturales⁶

18.1. Criterios generales

Estas captaciones constituyen parte de los sistemas de derivación, los mismos que con frecuencia incluyen una presa de pequeña altura para elevar el nivel de agua (presa de derivación) y facilitar su captación. En este caso, se trata de una captación directa con presa. Cuando el sistema no incluye la presa de derivación, se trata de una captación directa sin presa.

Las captaciones directas, en la mayoría de los casos, son superficiales y, por consiguiente, el orificio de entrada es un vertedero, normalmente de pared ancha o de perfil práctico que entrega el agua a un canal que transporta el líquido al usuario o usuarios del sistema.

Una captación directa desde satisfacer las siguientes condiciones:

- Entregar el agua al canal de conformidad con el gráfico de demanda del usuario o usuarios del sistema.
- Evitar el ingreso al canal de objetos flotantes y sedimento de fondo; c) Permitir la suspensión del servicio en caso de necesidad.

6 El material de este tema será desarrollado con detalle en una publicación específica relativa a las estructuras de captación directa desde cauces naturales.

- La margen del río en el sitio de captación debe ser estable, de fácil acceso y no inundable.

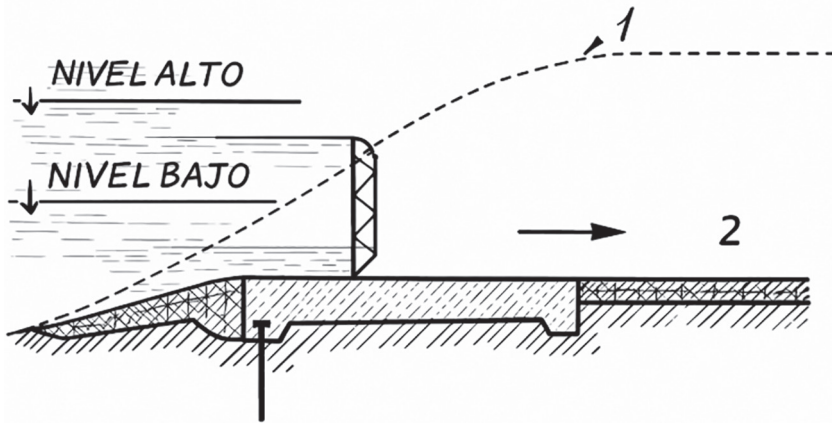


Figura 18.1. Esquema de una captación directa.

1- ladera; 2- canal.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGRO-PROMIZDAT.

En los casos cuando el río transporta gran cantidad de sedimento la captación con o sin presa es una construcción relativamente compleja. Para enfrentar el problema que representan los sedimentos la obra de captación tiene características constructivas especiales, incluye elementos como galerías de purga y, con frecuencia, un desarenador que generalmente se ubica aguas abajo de dicha obra de captación, aun cuando en algunos casos puede estar ubicado en el cauce natural, inmediatamente aguas arriba de la obra de toma.

Para el diseño de una obra de captación directa se requiere la siguiente información:

- Geológica y topográfica.
- Hidrológica y sedimentológica.
- Gráfico de demanda.

A continuación, serán consideradas las captaciones directas para satisfacer sistemas de riego y que operan en condiciones caracterizadas por la abundante cantidad de sedimentos. En este marco, se asumirá que los caudales requeridos por el esquema de demanda siempre pueden ser satisfechos en las condiciones naturales del río; en caso de que esta condición no se cumpla, se requiere recurrir a un sistema con regulación de caudales anual o multianual, con un embalse de regulación y una captación desde embalse.

18.2. Tipos de captaciones directas

18.2.1. Captación directa con presa

Se adopta cuando los niveles del agua requeridos durante el año en el cauce natural no son satisfechos. En este caso, el nivel de agua en el río se elevará mediante la implantación de una presa. Esta estrategia se adopta también para captar el agua en el sitio considerado, desde cotas más altas, para de esta manera poder trazar el canal de conducción a lo largo de un eje con mayor dominio de cota. En ocasiones se requiere captar el agua desde las dos márgenes del río, en estos casos la inclusión en el sistema de una presa permite distribuir el agua entre las dos márgenes, con mayor facilidad.

18.2.2. Captación directa sin presa

Esta opción se adopta cuando los niveles de agua en el río durante el año son suficientes para satisfacer la entrega de agua en la cota requerida por el usuario, en la abscisa inicial del canal de conducción. Sin embargo, cuando la pendiente del fondo del río es alta, este tipo de captación se adopta también si los niveles de agua del río en el sitio considerado no son suficientes. En este caso, la elevación del nivel de agua en el río se logra con ayuda de un espigón (muro longitudinal de material del lugar) (Figura 18.2). Este es el caso de una captación con espigón.

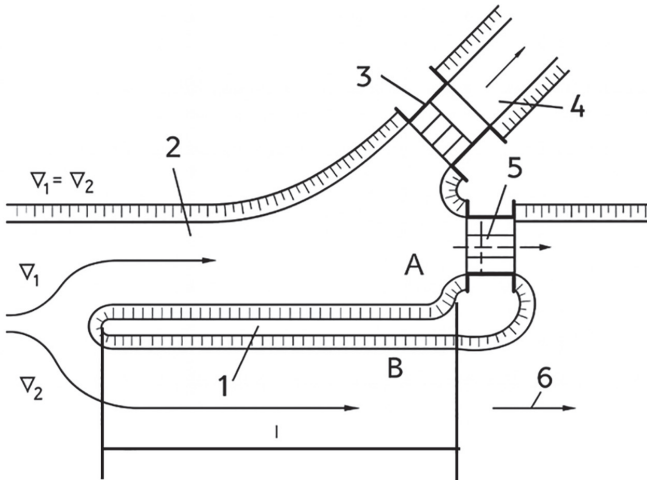


Figura 18.2. Captación directa con espigón.

1- espigón; 2- cámara de captación; 3- esclusa de captación (obra de captación); 4- canal de conducción; 5- esclusa de purga; 6- río.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGROPROMIZDAT.

El espigón da lugar a la formación de la cámara de captación, que tiene una longitud suficiente (l). Gracias a la pendiente relativamente pequeña de la superficie libre del agua en la cámara, el nivel de agua en el área A resulta ser mayor al nivel de agua en el área B. La diferencia de niveles es:

$$\Delta = (i_{río} - i_{cam})l$$

Donde:

$i_{río}$: pendiente del río.

i_{cam} : pendiente de la superficie libre en la cámara.

l : longitud del espigón.

La esclusa de purga sirve para evacuar los sedimentos acumulados en la cámara de captación.

En caso de pendientes pequeñas del fondo del río se obtienen longitudes grandes del espigón, lo que determina que por razones económicas sea excluida la alternativa de captación con espigón reemplazándola por la alternativa de captación con presa. En algunos sistemas con espigón la longitud de este llega a unos cuantos kilómetros.

18.3. Captaciones directas sin presa

18.3.1. Captación directa sin presa con ingreso lateral del agua

Carácter del movimiento del agua en un tramo con curvatura. Selección del sitio de una captación directa sin presa.

Debido a la no uniforme distribución de las velocidades longitudinales en el acercamiento a un tramo con curvatura de un cauce con flujo de superficie libre surge un movimiento rotacional (vórtice) del agua debido a las fuerzas inerciales en el giro.

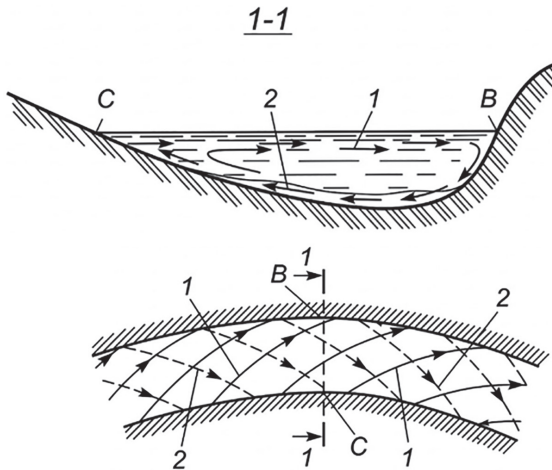


Figura 18.3. Esquema de del movimiento rotacional del agua en un tramo con curvatura de un cauce con flujo de superficie libre.

1- líneas de flujo superficiales; 2- líneas de flujo fondo.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGRO-PROMIZDAT.

En este caso la superficie libre del agua en la sección 1-1 se inclina: la cota del nivel de agua en el punto *B*, ubicado en la margen cóncava, es superior a la cota del nivel de agua en el punto *C*, ubicado en la margen convexa.

Debido a este movimiento del agua, en el tramo con curvatura de un río, los volúmenes de agua cercanos al fondo, conjuntamente con los sedimentos de fondo, se desplazan desde la margen cóncava *B* hacia la margen convexa *C*. En cambio, los volúmenes superficiales, relativamente limpios, se desplazan desde la margen convexa *C* hacia la margen cóncava *B*. Como resultado de este proceso se obtiene lo siguiente:

- La margen cóncava *B* puede erosionarse (pero no sedimentarse); esta margen es más escarpada y la profundidad del agua en ella es mayor.
- La margen convexa *C* puede sedimentarse (pero no erosionarse); esta margen resulta tener el talud más acostado, con la particularidad de que aquí la profundidad del agua es relativamente menor.

Considerando el carácter descrito del movimiento del agua en un tramo con curvatura de un río, resulta fácil concluir que el sitio de ubicación de una captación directa debería ser una margen cóncava, por cuanto en este caso: primero, no existe el riesgo de sedimentación o azolvamiento de la obra de captación u obra de toma; segundo, frente a una posible erosión la margen puede ser protegida mediante medidas constructivas; tercero, las profundidades relativamente altas permiten ubicar en la captación la cresta del vertedero de entrada en un nivel suficientemente alto para evitar el ingreso de sedimento de fondo.

Al ubicar la captación directa en la margen cóncava, es necesario lograr que la ubicación esté más aguas abajo que el punto medio de la curvatura. Al seleccionar el sitio de la obra de captación, es necesario también prestar atención a la estabilidad de los taludes de la ladera, así como la accesibilidad al sitio y su condición de no inundable. En caso de no disponer de tramos con curvatura aceptables la opción es ubicar la obra de toma en un tramo recto del río, pero jamás en una margen convexa.

18.3.2. Ubicación en planta de una captación directa sin presa.

Ángulo de captación

Para seleccionar el sitio de ubicación de una captación directa, es necesario analizar el régimen hidráulico del río en estado natural y en el estado posterior a la implantación del sistema de derivación del que forma parte la obra de toma. Para el efecto, en casos importantes es necesario realizar investigaciones en modelos físicos. Cuando el régimen en estado natural sea favorable, cabe tratar de conservarlo en el nuevo sistema; caso contrario, se recurre a la inclusión de elementos reguladores especiales en el cauce del río.

La presencia de la captación divide el flujo del río en dos partes: una se dirige a la esclusa de captación y la otra parte, que se ensancha bruscamente, continua en el cauce natural.

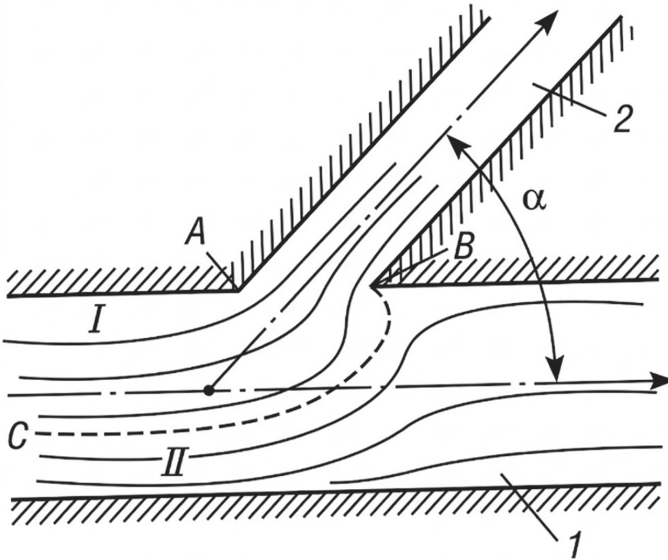


Figura 18.4. Captación directa sin presa.

1- río; 2- canal de conducción.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGRO-PROMIZDAT.

La cota del nivel de agua en el punto B puede ubicarse sobre la cota de dicho nivel en el punto A . Ante esta bifurcación del flujo se obtiene una superficie divisoria CB . En este tramo del cauce pueden surgir áreas con vórtices. Es frecuente suponer que, en los casos de captaciones directas sin presa, se puede captar desde el río no más del 30 % del caudal natural. En los casos de mayor demanda se puede optar por una solución que, por ejemplo, involucra dos captaciones secuencialmente ubicadas.

El ángulo α se denomina ángulo de captación. Al adoptar este ángulo cabe tender a obtener un enlace lo menos turbulento posible con el río, puesto que, caso contrario en el río pueden surgir vórtices importantes, sobre todo en presencia de altas velocidades; adicionalmente, la inobservancia de esta condición origina mayores contracciones laterales del flujo que ingresa en la esclusa de captación, aparte de que resulta no uniforme la distribución de los caudales unitarios en las secciones de los orificios del frente de captación.

Con frecuencia, el ángulo α en las captaciones directas sin presa se adopta entre 35° y 75° . Un ángulo de captación de 90° es posible adoptar cuando se deben captar caudales relativamente pequeños. Adoptar ángulos menores a 35° no es deseable puesto que en los casos de ángulos de captación pequeños se complica considerablemente la construcción de la esclusa de captación.

18.3.3. Algunos criterios de diseño de la esclusa de captación

La esclusa de captación incluye un vertedero de entrada que, desde el punto de vista constructivo es una presa de cresta baja. Una particularidad importante de la esclusa de captación es la presencia de compuertas de operación que permiten regular la magnitud de los caudales que ingresan al canal de conducción; con frecuencia se incluyen también compuertas de emergencia. Antes de las compuertas en algunos casos se instala una rejilla para impedir el ingreso de objetos flotantes y sedimento grueso.

Frente a la esclusa de captación se ubica la excavación de acercamiento que enlaza la captación con el río.

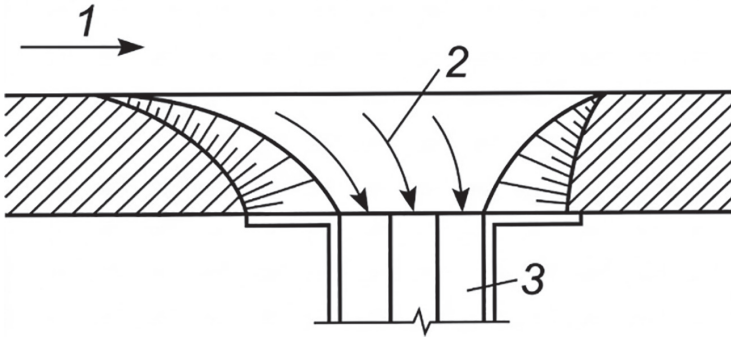


Figura 18.5. Excavación de acercamiento.

1- río; 2- excavación; 3- esclusa de captación.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGRO-PROMIZDAT.

Esta excavación debe posibilitar el acercamiento suave del agua al orificio de entrada; en planta dicha excavación no es simétrica, puesto que su talud aguas arriba tiene configuración con mayor desarrollo que su talud aguas abajo. El fondo de la excavación de acercamiento es horizontal o inclinado en dirección del río.

Con frecuencia se asume que la velocidad de acercamiento a la esclusa debe ser no mayor a 1,5 m/s, puesto que, velocidades mayores facilitan el ingreso de sedimento grueso. Por otra parte, velocidades de acercamiento menores a 0,8 m/s no son deseables por cuanto originan frentes de captación demasiado grandes.

Para evitar el ingreso de sedimento de fondo al canal, en el ingreso al vertedero de captación, se incluye un escalón. El alto del escalón depende del tamaño y cantidad de sedimento. La recomendación del alto del escalón es:

- En caso de sedimento arenoso $c = 1,5$ a $2,0$ metros.
- En caso de sedimento gravoso $c = 1,5$ a $2,0$ metros.

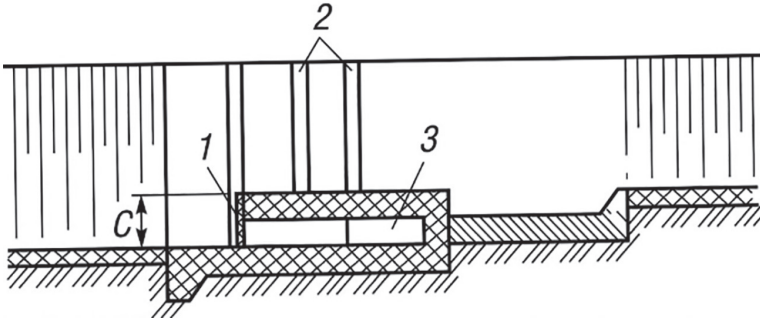


Figura 18.6. Vertedero de entrada de alto c de una captación.

1- compuerta de la galería de purga; 2- guías de las compuertas; 3- galerías de purga.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGRO-PROMIZDAT.

Como se puede advertir, tanto más pequeño es el tamaño del sedimento de fondo cuanto mayor debe ser el alto del escalón.

Para evacuar el sedimento que se acumula al pie del escalón, normalmente se incluyen galerías de purga.

Para diseñar la esclusa de purga es necesario tomar decisiones respecto al frente de captación B y al número de secciones del frente de captación N . Es recomendable incluir en la esclusa por lo menos tres secciones: en caso de un orificio se debe suspender el servicio mientras se realizan reparaciones o mantenimiento; en el caso de dos orificios, cuando se suspende uno de ellos surge un flujo asimétrico con distribución sensiblemente no uniforme de los caudales unitarios. En rigor el número de secciones debe ser establecido a partir de la comparación técnico-económica de variantes.

El frente de captación con frecuencia se adopta igual al ancho del fondo del canal de conducción o algo mayor; de esta manera se facilita el enlace de la esclusa de captación con el canal.

18.3.4. Consideraciones para el análisis hidráulico de la una captación sin presa

Para el análisis hidráulico y el dimensionamiento de la captación directa sin presa, ante todo, cabe construir las dos curvas siguientes:

- La curva que establece la dependencia del tiempo de la cota del nivel de agua en el canal de conducción, ∇_{CANAL} , inmediatamente después de la esclusa, $\nabla_{CANAL} = f_1(t)$; esta curva 1 (Figura 18.7) es fácil obtener al realizar el análisis hidráulico y dimensionamiento del canal de conducción, considerando el gráfico de demanda que debe ser satisfecho (es decir considerando el hecho que el caudal de demanda varía durante el año).
- La curva 2 que establece la relación de los niveles de agua en el río, frente a la esclusa de captación, para el año de diseño, del tiempo $\nabla_{RÍO} = f_2(t)$; para construir esta curva se utiliza la curva de descarga del río en el sitio de captación $\nabla = f(Q_{RÍO})$; para el efecto, en calidad de caudal $Q_{RÍO}$ se asume $Q_{RÍO} = Q_{RÍO}' - Q_{CANAL}$, donde $Q_{RÍO}'$ es el caudal en el río en condiciones naturales, en el instante dado de tiempo.

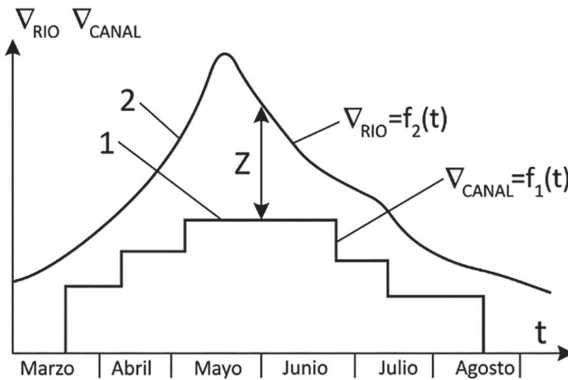


Figura 18.7. Variación anual de los niveles de agua en el río y en el canal de conducción, referidos al fondo del canal en su abscisa inicial.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGRO-PROMIZDAT.

Los niveles de agua tanto en el río como en el canal deben estar referidos a la cota del fondo del canal en su abscisa inicial.

Las diferencias de las ordenadas de los dos gráficos no son otra cosa que los desniveles o cargas en la esclusa de captación en los diferentes momentos de tiempo. Estos desniveles son diferentes en los diferentes momentos de tiempo. El caudal Q_{CANAL} que ingresa al canal también será diferente en los distintos instantes de tiempo, de acuerdo al gráfico de demanda.

Considerando los diferentes momentos de tiempo t que se caracterizan por determinadas combinaciones de Z y Q_{CANAL} y distinguiendo entre estas combinaciones las menos favorables para la operación de la esclusa (cuando Z es relativamente pequeño y Q_{CANAL} relativamente alto), con ayuda de la correspondiente ecuación del vertedero se determinan los frentes de captación b que corresponde a las mencionadas combinaciones menos favorables de Z y Q_{CANAL} .

De entre los valores determinados del frente b se selecciona el más alto. Para la combinación de Z y Q_{CANAL} a la que corresponde dicho valor de b , las compuertas deben estar totalmente abiertas. Para las otras combinaciones de Z y Q_{CANAL} las secciones de la esclusa de captación del ancho adoptado deben cerrar parcialmente las compuertas.

18.4. Captaciones directas con presa

En el caso de una captación con presa, el objetivo de esta es elevar el nivel de agua. El sitio de ubicación de la presa debe ser seleccionado sobre la base de las condiciones topográficas y geológico-geotécnicas. Adicionalmente es necesario considerar los criterios que se formulan a continuación.

La obra de toma puede ser ubicada en diferentes ejes transversales del río (Figura 18.8) en la cual se muestran cuatro posibles sitios de implantación de la obra de captación 3.

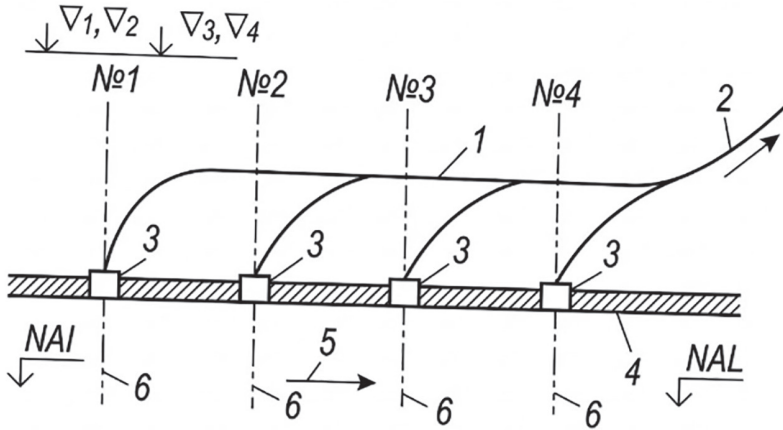


Figura 18.8. Selección del sitio de implantación de la presa de derivación.

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: presas con vertido incorporado. AGRO-PROMIZDAT.

Al comparar las variantes identificadas para ubicar la obra de derivación se constata lo siguiente:

- Al ubicar la captación en el eje 1, se obtiene un canal de conducción suficientemente largo; sin embargo, en este caso el nivel del agua en el río está en cotas relativamente altas y, por esta razón, podría no requerirse de una presa, es decir que sería posible optar por una captación sin presa.
- Al ubicar la captación en el eje 2, donde el nivel del agua en el río está en cotas más bajas que en el eje 1, puede resultar necesario elevar el nivel de agua (con ayuda de una presa) a una altura relativamente pequeña, a fin de posibilitar la entrega del agua al canal de derivación; en este caso la longitud del canal de conducción resulta más corta que para el eje 1 y, por consiguiente, menos costosa, pero en cambio es necesario implantar una presa.
- En el caso del eje 3, será necesario considerar la implantación en este eje de una presa relativamente alta y, por consiguiente, de mayor costo; por otro lado, en este caso disminuye la lon-

gitud del canal de conducción y, por tanto, también disminuye su costo.

- Al considerar la ubicación de la captación en el eje 4, el nivel natural del agua en el río puede estar tan bajo que resulte económicamente inviable entregar el agua al canal de conducción por gravedad, con ayuda de una presa alta, requiriéndose la implantación de una estación de bombeo, aun cuando, en cambio, la longitud del canal de conducción y, por consiguiente, su costo disminuiría substancialmente.

Tomando en cuenta lo indicado, finalmente la selección del eje de implantación dependerá de una comparación técnico-económica de alternativas.

Al conjunto de estructuras que forman parte de un sistema de captación pluvial se lo puede denominar nodo de captación.