

LA BOCATOMA, ESTRUCTURA CLAVE EN UN PROYECTO DE APROVECHAMIENTO HIDRÁULICO

Dr.- Ing. Arturo Rocha Felices
*Consultor. Profesor Emérito de la
Universidad Nacional de Ingeniería*

*El presente artículo constituye un resumen y adaptación de algunos capítulos de un trabajo integral en preparación sobre **Bocatomas**, que viene realizando el autor, y fue presentado en forma de conferencia en agosto del 2003 al **XI Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Civil (CONEIC)** celebrado en Piura y reproducido en la "Revista Ingeniería Civil" de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI, Año 01-Edición N° 2-2003.*

CONTENIDO

- *¿Qué es una bocatoma?: Definiciones. Finalidad, 2*
- *Problemas especiales que presentan las bocatomas, 4*
- *Aspectos del planeamiento de obras de captación superficial, 8*
- *Condiciones de diseño, 10*
- *La ingeniería civil en el diseño de una bocatoma, 11*
- *Las bocatomas y el Fenómeno de E Niño (FEN), 13*
- *Características generales de la bocatoma de captación lateral, 15*
- *Bifurcaciones, 18*
- *Funciones adicionales de una bocatoma, 18*
- *Bocatoma tirolesa, 19*
- *Reflexión final, 20*
- *Figuras, 21*

¿QUÉ ES UNA BOCATOMA? : DEFINICIONES. FINALIDAD

Definiciones

Las obras de toma o bocatomas son las estructuras hidráulicas construidas sobre un río o canal con el objeto de captar, es decir extraer, una parte o la totalidad del caudal de la corriente principal. Las bocatomas suelen caracterizarse principalmente por el Caudal de Captación, el que se define como el gasto máximo que una obra de toma puede admitir. Así por ejemplo, el caudal de captación de la bocatoma Los Ejidos, sobre el río Piura, Proyecto Chira-Piura, es de 60 m³/s.

El tema de las bocatomas es siempre actual. En el Perú hay en operación un gran número de obras de toma para aprovechamiento hidráulico. El diseño de estas estructuras es casi siempre difícil y debe recurrirse tanto a métodos analíticos como a la investigación en modelos hidráulicos. La observación y análisis del comportamiento de las obras de toma en funcionamiento es muy importante. Los problemas que se presentan en una bocatoma son mucho más difíciles cuando se capta agua desde un río que cuando se hace desde un cauce artificial (canal). Es al primer caso al que nos referiremos principalmente de acá en adelante.

Es necesario tener presente que la bocatoma es una estructura muy importante para el éxito de un proyecto. Si por una razón u otra se produce una falla importante en la obra de toma, esto significaría la posibilidad del fracaso de todo el Proyecto de Aprovechamiento Hidráulico. En consecuencia, tanto el diseño como la construcción, la operación y el mantenimiento de una obra de toma deben ofrecer el máximo de seguridad.

El diseño de una obra de toma puede ser un problema muy difícil, en el que debe preverse la interacción estructura-naturaleza. La obra de toma, cualquiera

que sea su tipo, es un elemento extraño en contacto con el agua. Es decir, que la estructura va a producir inevitablemente alteraciones en el medio natural circundante y, a la vez, la naturaleza va a reaccionar contra la obra. Esta interacción que se presenta al construir la obra, y en el futuro al operarla, debe ser prevista y contrarrestada oportuna y debidamente. La estabilidad y la vida de una bocatoma están asociadas al concepto de Avenida de Diseño. Tradicionalmente se ha usado el concepto de Avenida de Diseño para designar el máximo caudal del río que una bocatoma puede dejar pasar sin sufrir daños que la afecten estructuralmente. Más adelante se ampliará esta definición de acuerdo a la experiencia de las últimas décadas.

Finalidad

La finalidad es uno de los muchos criterios que existen para la clasificación de las obras de toma. Desde el punto de vista de su finalidad las obras de toma se clasifican en función de las características del proyecto al que sirven. Es así como se tiene:

- a) Obras de toma para abastecimiento público
- b) Obras de toma para irrigación
- c) Obras de toma para centrales hidroeléctricas
- d) Obras de toma para industria y minería
- e) Obras de toma para otros propósitos
- f) Obras de toma para uso múltiple

La clasificación anterior se refiere al uso predominante del agua. Si bien es cierto que hay bocatomas que tienen una finalidad específica, también lo es que casi siempre las bocatomas tienen, aunque sea en pequeña proporción, algún otro uso. En el Perú hay numerosas bocatomas para atender las finalidades antes señaladas.

El abastecimiento de agua a la población es la primera necesidad de agua que debe ser cubierta. El aprovechamiento de las aguas superficiales, en especial las de un río, constituye una de las formas más antiguas de uso del agua. En los tiempos antiguos las ciudades se ubicaban en las orillas de los ríos para

poder aprovechar sus aguas fácilmente. El crecimiento de la población, la expansión urbana, el aumento de las demandas y otros factores determinaron la necesidad de construir proyectos de abastecimiento de agua para la población. Estos proyectos empiezan por una bocatoma para captar el agua de un río, o de otra fuente de agua, y conducirla luego al área urbana.

Las obras de toma para abastecimiento poblacional pueden ser muy pequeñas, con un Caudal de Captación de apenas unos cuantos litros por segundo, o muy grandes como la de La Atarjea, que abastece a varios millones de habitantes de la Gran Lima. Esta bocatoma, cuya función predominante es el abastecimiento poblacional, sirve también para la satisfacción de algunas necesidades industriales ubicadas en el radio urbano. Cualquiera que sea su tamaño estas obras de toma tienen gran importancia y un enorme contenido social, pues el abastecimiento de agua poblacional es insustituible.

Si hablásemos de las prioridades tradicionales en el uso del agua tendríamos que luego del abastecimiento de la población viene el riego. En el Perú, donde hay importantes zonas áridas y semiáridas, la dependencia del riego es muy grande. Al no haber lluvia útil, el aprovechamiento de las aguas superficiales ha sido desde épocas ancestrales esencial para la vida y el desarrollo de las actividades humanas. La costa peruana con sus 800 000 hectáreas cultivadas es una inmensa obra de irrigación, que no podría existir sin la presencia de cientos de bocatomas.

Se tiene también obras de toma cuya función es captar el agua superficial para su conducción a una central hidroeléctrica. Así, en el río Mantaro se tiene una captación de 90 m³/s para generación de energía. Numerosas industrias y minas tienen sus propias bocatomas. Como el Perú aprovecha un porcentaje pequeñísimo de su enorme potencial hidroeléctrico, es de esperar que en el futuro se incrementen las respectivas obras hidráulicas para lograr un mayor aprovechamiento.

Existen también las bocatomas asociadas a un proyecto de propósito múltiple, como por ejemplo la del proyecto CHAVIMOCHIC, sobre el río Santa, cuyas finalidades son riego, generación de energía y abastecimiento poblacional.

PROBLEMAS ESPECIALES QUE PRESENTAN LAS BOCATOMAS

En los grandes aprovechamientos hidráulicos el costo de la bocatoma representa sólo un porcentaje muy pequeño del costo total del proyecto. La consecuencia práctica de este hecho es que no se debe escatimar esfuerzos ni tratar de obtener una “estructura económica”, sino que se debe buscar el máximo de seguridad. Para el estudio de una bocatoma es necesario tener en cuenta que un río transporta lo siguiente:

- a) Agua proveniente de la precipitación que ocurre en la cuenca
- b) Sólidos, también llamados sedimentos, provenientes de la erosión de la cuenca
- c) Hielo, en los lugares que existe, y
- d) Cuerpos extraños como árboles, plantas, basura y desperdicios.

Los tres primeros aspectos mencionados constituyen las funciones naturales de un río. El transporte de cuerpos extraños constituye una función no natural, pero que desgraciadamente es muy frecuente entre nosotros. En general, el diseño y operación de una bocatoma en muchos de los ríos de la costa peruana presenta problemas especiales debido, entre otras, a las siguientes cuatro circunstancias:

- a) Inestabilidad fluvial e irregularidad de las descargas
- b) Insuficiente información hidrológica
- c) Gran transporte sólido y de cuerpos extraños
- d) Aparición eventual del Fenómeno de El Niño (FEN).

A continuación se ofrece algunos comentarios sobre los cuatro problemas mencionados. Para que una obra de derivación sea estructuralmente estable es condición indispensable que el tramo fluvial en el que se halla ubicada lo sea. De acá la necesidad frecuente de obras de encauzamiento asociadas a la obra de toma. Durante las grandes avenidas ocurre frecuentemente que los ríos se desbordan, hay cambios de recorrido, aparición de brazos y otras

muestras de la inestabilidad fluvial propia de los ríos jóvenes. Ocurre algunas veces que al producirse uno de los fenómenos señalados la bocatoma se queda “en seco”, resulta burlada y, ciertamente, fuera de servicio aunque sin sufrir daños. En consecuencia, como parte del estudio de una bocatoma se suele hacer un cuidadoso estudio de hidráulica fluvial en el tramo comprometido.

Otro de los problemas serios que se presenta frecuentemente en el diseño de una bocatoma se origina en la presencia de eventos hidrológicos extremos: a veces grandes avenidas y otras veces gran escasez de agua. Las grandes avenidas crean una serie de problemas hidráulicos y estructurales que deben ser debidamente evaluados. Algunas cuencas tienen fenómenos particulares que no pueden dejarse de lado. Un buen ejemplo de esto es la cuenca del río Santa donde la ocurrencia de aluviones y las especiales características de geodinámica externa de la cuenca determinan que una estructura construida sobre el lecho fluvial sea muy vulnerable a eventos cuya frecuencia y magnitud no pueden calcularse. En estos casos el evento más desfavorable para la bocatoma no es necesariamente la avenida calculada con un periodo de retorno grande.

La escasez de agua también crea problemas, pues en esas oportunidades hay que captar gran parte, o la totalidad, del agua presente en el curso principal, lo que puede ser inconveniente. De otro lado, sabemos que para efectuar un diseño con alta probabilidad de éxito habría que tener, entre otras informaciones, un amplio y confiable registro de datos de campo. Es muy frecuente que en nuestros proyectos la información hidrológica sea escasa y de baja confiabilidad. Generalmente se tiene series históricas muy cortas, lo que da inseguridad en el cálculo de las grandes avenidas y, como consecuencia, en el cálculo del periodo de retorno de la avenida de diseño.

Por lo general los ríos transportan grandes cantidades de sólidos, sea como fondo o de suspensión. Durante las avenidas estas cantidades se incrementan enormemente y constituyen una serie de dificultades para el diseño y operación de las bocatomas en las que se debe captar agua con la mínima cantidad posible de sólidos. El estudio del transporte de sedimentos y de las maneras de

eliminar los sólidos en la captación son aspectos importantes del diseño de una bocatoma. Hay también muchos proyectos en los que la presencia de cuerpos extraños, como basura y desperdicios, causan un daño grande en las captaciones. El manejo de los sólidos es un asunto importante en el diseño de una bocatoma. En general, la bocatoma debe diseñarse de modo que no ingresen al sistema los sólidos de mayor tamaño. Será inevitable que los finos ingresen. Para su eliminación se dispone a continuación de la bocatoma un desarenador. Es por eso que el sistema bocatoma-desarenador conviene estudiarlo sedimentológicamente como una unidad.

El Fenómeno de El Niño (FEN) es un fenómeno natural que representa para la ingeniería, la economía y las actividades humanas en general, una modificación transitoria, eventualmente fuerte, y algunas veces desastrosa, del clima predominante en una parte importante del planeta. Las bocatomas de la costa peruana han sufrido en mayor o menor grado el impacto del Fenómeno de El Niño. Algunas han sido destruidas, otras han sufrido fuertes daños y han salido de servicio, y, muchas de ellas, han necesitado importantes reparaciones. El resultado de la falla de una bocatoma afecta todo el proyecto que depende de ella, con los consiguientes gastos de reconstrucción o rehabilitación de la estructura y los originados por la interrupción del servicio. Muchas veces la interrupción del servicio tiene consecuencias no sólo económicas, sino sociales, pues la falta de agua es mortal para los seres vivos. Por lo tanto, la relación entre el Fenómeno de El Niño y las bocatomas es un problema real de ingeniería civil que requiere de una atención especial. Luego del mayor conocimiento que en la actualidad tenemos acerca del FEN resulta evidente que sus efectos no pueden dejar de considerarse en el diseño de una obra de derivación importante.

La rapidísima mención de los cuatro puntos anteriores nos da una idea de la gran cantidad y diversidad de problemas que hay que enfrentar y resolver para diseñar una obra de toma. En la Figura N° 1 se aprecia esquemáticamente el sistema bocatoma-desarenador.

ASPECTOS DEL PLANEAMIENTO DE OBRAS DE CAPTACIÓN SUPERFICIAL

Son numerosos los problemas que se presentan en el planeamiento de las Obras de Toma, debido principalmente a la interacción estructura-naturaleza. El planeamiento es el paso previo al diseño. El planeamiento correcto es sumamente importante para el éxito del proyecto. Es difícil establecer una metodología de planeamiento; sin embargo, se presenta a continuación algunos temas que deben tenerse en cuenta. Los temas deben tratarse mediante un proceso de aproximaciones sucesivas. El orden en el que se les presenta a continuación está determinado sólo por razones propias de la exposición. Su número puede ser bastante mayor. Como una forma de iniciación en el tema del planeamiento de una obra de toma se considera los siete temas de análisis siguientes:

- a) Comportamiento hidrológico
- b) Aspectos de hidráulica fluvial
- c) Transporte sólido
- d) Selección del tipo de toma
- e) Microlocalización de la obra de toma
- f) Geometría de la bocatoma, y
- g) Condiciones particulares de operación y mantenimiento

La Hidrología constituye la información de base indispensable para el proyecto. Los objetivos del estudio hidrológico son:

- a) Saber que en el río vamos a tener la cantidad de agua requerida y poder así garantizar el servicio.
- b) Conocer las grandes avenidas para el cálculo de la avenida de diseño y poder así garantizar la estabilidad de la estructura.

El estudio de Hidráulica Fluvial nos permitirá conocer las características del río, que son muy variadas, su estabilidad, y las obras que es necesario realizar para mantenerla. El estudio de Transporte Sólido sirve para conocer la cantidad y calidad de los sedimentos transportados por la corriente, tanto como material de fondo como en suspensión. Es conveniente recordar que el transporte sólido es una manifestación fluvial y depende de las características del río y de la cuenca. Sin una comprensión clara del comportamiento fluvial y del transporte sólido no es posible el diseño de una bocatoma. El conocimiento de la variabilidad del transporte sólido, de las cantidades involucradas y de la granulometría son herramientas valiosas para el diseño. La selección del tipo de obra de toma tiene que hacerse a partir del hecho de que existen diferentes tipos de bocatomas. Cada uno de ellos ha sido desarrollado para ríos de determinadas características. En este tema la consideración de los fundamentos teóricos y de la experiencia local resultan ser insustituibles. Una vez determinada la cota de derivación en la que se construirá la bocatoma, en función de las necesidades del servicio, se procede a la microlocalización. Es este un problema de Hidráulica Fluvial en el que juega un papel destacado la experiencia y los conocimientos teóricos del ingeniero proyectista. Dos tramos fluviales muy próximos pueden dar lugar a estructuras de toma de muy diferente comportamiento sedimentológico. Así por ejemplo, en un tramo en curva la margen exterior es en general una zona con tendencia a la erosión. Allí debe buscarse el lugar más conveniente para ubicar la toma.

La geometría de la obra, es decir, la disposición de los elementos, es el diseño mismo. Se debe determinar la altura de la presa derivadora, las longitudes de las partes vertedoras y fijas, el ángulo de captación, los muros guía y todos los elementos constituyentes de la obra. En todo esto desempeña una función muy importante el estudio en modelo hidráulico, el que tiene la enorme ventaja de constituir una representación tridimensional de las estructuras y de los fenómenos. Cada bocatoma tiene condiciones particulares de operación y mantenimiento que deben ser tomadas en cuenta en el momento del diseño. La concepción de la operación es inseparable del diseño. Cada bocatoma tiene un conjunto de Reglas de Operación a las que se llega mediante un proceso de aproximaciones sucesivas.

CONDICIONES DE DISEÑO

Son varias las condiciones generales de diseño que debe cumplir una bocatoma, cualquiera que sea su tipo o características. Entre las principales están las siguientes:

- a) Asegurar la derivación permanente del caudal de diseño y de los caudales menores que sean requeridos. En algún caso se admite una interrupción temporal del servicio.
- b) Proveer un sistema para dejar pasar la Avenida de Diseño, que tiene gran cantidad de sólidos y material flotante. En zonas sujetas al Fenómeno de El Niño es mejor utilizar un Hidrograma de Diseño.
- c) Captar el mínimo de sólidos y disponer de medios apropiados para su evacuación. Muchas veces esta es la clave del diseño eficiente.
- d) Estar ubicada en un lugar que presente condiciones favorables desde el punto de vista estructural y constructivo.
- e) Conservar aguas abajo suficiente capacidad de transporte para evitar sedimentación.
- f) Tener un costo razonable

LA INGENIERÍA CIVIL EN EL DISEÑO DE UNA BOCATOMA

En el diseño de una obra de toma se requiere emplear al máximo los conocimientos del ingeniero civil. Las cinco fases correspondientes a una bocatoma son:

- a) Planeamiento
- b) Diseño
- c) Construcción
- d) Operación, y
- e) Mantenimiento.

En ellas se requiere el uso de prácticamente todos los aspectos de la ingeniería civil, tal como se demostrará más adelante. Son varias las fuentes de conocimiento que tenemos para el diseño de una bocatoma. En primer lugar están las consideraciones teóricas presentadas en los libros de texto, artículos especializados y diferentes publicaciones e investigaciones. De todo este material se obtiene una base teórica fundamental, que debe ser complementada con los otros dos puntos que se señala a continuación. La investigación en modelos hidráulicos es una valiosa herramienta para el perfeccionamiento de los diseños y constituye la segunda fuente de conocimiento. En el Perú se vienen realizando estudios en modelo en el Laboratorio Nacional de Hidráulica desde 1964. La tercera fuente está dada por la experiencia y por la observación del funcionamiento de estructuras en operación en diversas partes y circunstancias. Dentro de esta fuente de conocimiento se encuentra el análisis de las fallas, el que constituye un método valiosísimo de aprendizaje.

Son numerosos los aspectos de la ingeniería en general y de la ingeniería civil en particular que intervienen en el diseño de una obra de toma. Prácticamente debe emplearse a plenitud casi todas las especialidades de la ingeniería civil. Pero, además intervienen otros aspectos de la ingeniería. Sin pretender que la

relación sea limitativa se presenta a continuación una relación de los principales temas vinculados al diseño de una obra de toma. Ellos son:

- a) Estudio de la Demanda**
- b) Topografía**
- c) Meteorología**
- d) Hidrología**
- e) Transporte de Sedimentos**
- f) Hidráulica Fluvial**
- g) Geología**
- h) Geodinámica**
- i) Geotecnia**
- j) Sismicidad**
- k) Materiales de Construcción**
- l) Diseño Hidráulico**
- m) Diseño Estructural**
- n) Diseño Electromecánico**
- o) Procedimientos de Construcción**
- p) Modelos Hidráulicos**
- q) Costos y Presupuestos**
- r) Análisis Económico y Financiero**
- s) Estudio de Impacto Ambiental**

Resueltos los aspectos de planeamiento y diseño se pasa a la construcción. Este es un campo de acción típico y exclusivo del ingeniero civil. La construcción de una bocatoma importante es difícil y se requiere mucha experiencia, no sólo en procesos constructivos, sino también en el manejo del río durante la construcción. Para la construcción es necesario aprovechar los estiajes del río. Se construye ataguías aguas abajo y aguas arriba y una obra de desvío para aislar la zona de trabajo.

LAS BOCATOMAS Y EL FENÓMENO DE EL NIÑO (FEN)

De los numerosos problemas que tienen que enfrentar las bocatomas hay tres que se ven notablemente exacerbados durante el Fenómeno de El Niño, especialmente cuando tiene características de Meganiño y que están asociados a:

- a) La precaria estabilidad fluvial,
- b) Las avenidas extraordinarias, y
- c) Las grandes descargas de sólidos.

En los últimos cinco siglos han ocurrido diez Meganiños con un intervalo medio de 47 años y en los últimos 112 años se han presentado cuatro Meganiños con un intervalo medio de 36 años. Esto justifica ampliamente la actualidad e importancia regional y nacional del estudio del impacto del Fenómeno de El Niño y de la manera de mitigar sus efectos negativos. Las descargas de los ríos de la costa son muy variables en el tiempo. Hay una variación estacional muy marcada y variaciones también muy fuertes y de gran irregularidad, de un año a otro. Como consecuencia del cambio de clima característico del FEN y del incremento de las lluvias, aumentan inusitadamente las descargas de los ríos. Se producen así las grandes avenidas. Esto contrasta con lo que ocurre generalmente, y en especial en la costa peruana, donde las avenidas son breves. Precisamente una de las definiciones de una avenida es “elevación rápida y habitualmente breve del caudal de un río”. Una avenida puede medirse por el máximo nivel alcanzado por las aguas, por la descarga máxima instantánea o por el volumen descargado. Pero, las avenidas que ocurren durante el Fenómeno de El Niño se caracterizan por no ser breves, es decir, tienen una larga duración. Por lo tanto, además de alcanzarse valores instantáneos muy altos, se tiene un volumen descargado sumamente importante y dañino. Es así como se ha visto la necesidad de considerar un Hidrograma de Diseño en lugar de un valor puntual.

Las descargas extraordinarias van acompañadas de grandes cantidades de sólidos y frecuentemente causan alteraciones fluviomorfológicas, como erosión y sedimentación, y producen diversas manifestaciones de dinámica fluvial, como formación de brazos o cambios de recorrido. Durante el FEN también ocurren descargas inusitadas de quebradas consideradas erróneamente como secas y eventualmente, la formación de huaicos y de diversos fenómenos de geodinámica externa que pueden constituir una amenaza para la obra de toma.

La persistencia de caudales altos y su insuficiente consideración en los diseños suele conducir a la falla de numerosas estructuras hidráulicas. Durante el Fenómeno de El Niño las bocatomas se ven sometidas a la acción de avenidas fuertes y de larga duración y que además tienen un alto contenido de sólidos. En algunas oportunidades ocurre que las grandes descargas sólidas y líquidas causan daños importantes en las estructuras por erosión de las mismas (abrasión). A pesar de que en ríos de fuerte pendiente y gran volumen de sólidos de importante tamaño se protege las estructuras con revestimientos adecuados, siempre existe la posibilidad, como de hecho ha ocurrido, de desgaste de los elementos estructurales, tales como pilares, muros y solados. Algunas veces la erosión ha sido de tal intensidad que ha comprometido la cimentación y la estabilidad de toda la estructura.

En otras oportunidades ha ocurrido que como consecuencia de las grandes descargas, especialmente debido a su larga duración, se produce una erosión generalizada (degradación) en el lecho fluvial aguas abajo del colchón dissipador de energía de la presa derivadora. Esta degradación trae como consecuencia que los niveles aguas abajo sean menores que los supuestos en el diseño y, por lo tanto, el salto hidráulico no se forma dentro de la poza como se había previsto. El resultado es la destrucción del solado de la poza dissipadora de energía, y del lecho fluvial ubicado inmediatamente aguas abajo, y la puesta en peligro de toda la estructura.

Suele ocurrir también que la gran cantidad y tamaño de los sólidos, además de los cuerpos extraños, presentes en el agua, den como consecuencia la aparición de daños importantes en las compuertas, rejillas y otros elementos.

Finalmente, puede ocurrir que los daños sean tantos, tan importantes y de tan diverso origen que traigan como consecuencia la destrucción total de la estructura o su puesta fuera de servicio durante un tiempo bastante largo. Este rápido recuento de las fallas que ocurren en las presas derivadoras nos invita a pensar en la importancia del diseño y de las medidas que debe tomarse para evitar o disminuir los daños.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA BOCATOMA DE CAPTACIÓN LATERAL

La bocatoma lateral es una obra de captación superficial y es la más empleada cuando se trata de captar el agua de un río. Es a este tipo de bocatoma al que dedicamos la mayor parte de esta exposición. La forma más simple de concebir una captación lateral es como una bifurcación. En primer lugar conviene presentar una breve descripción de los elementos constituyentes más frecuentes de una bocatoma de captación lateral, los que podrían clasificarse de la siguiente manera:

Elementos de encauzamiento y cierre. Su objeto es elevar el nivel del agua para permitir su ingreso a la toma y al canal de derivación e impedir el desborde del río.

Elementos de descarga de avenidas. Permiten el paso de las crecidas. Son órganos de seguridad.

Elementos de control de sedimentos. Tienen por objeto el manejo de los sólidos.

Elementos de control del ingreso de agua. Permiten regular la cantidad de agua que ingresa a la derivación.

Elementos de control de la erosión. Permiten disminuir la erosión y la abrasión

Elementos estructurales. Son los que dan estabilidad a la obra.

En la Figura N° 2 se aprecia una disposición típica de los principales elementos de una bocatoma de captación lateral a pelo libre. Ellos son:

Vertedero fijo o presa derivadora. El vertedero o presa derivadora es estructuralmente un azud. Es una presa vertedora. Suele llamársele barraje. Su función es la de elevar el nivel del agua para alcanzar el requerido por las necesidades de captación. El azud crea la carga necesaria sobre el canal de derivación para que pueda ingresar el Caudal de Diseño. Es decir, obliga al agua a entrar a la captación. En tal sentido es una presa derivadora, diferente a las presas de almacenamiento. En consecuencia, su altura sobre el lecho del río suele ser pequeña (algunos pocos metros). A su vez el azud debe permitir el paso de las grandes avenidas, específicamente de la Avenida de Diseño, la que como se ha dicho es el máximo caudal del río que puede soportar la estructura. El azud es, hidráulicamente, un vertedero. Se puede construir de los más diversos materiales.

Vertedero móvil o barraje móvil. Es una estructura compuesta por una o más compuertas que permiten el paso de las avenidas de líquidos y de sólidos y además tiene la función de eliminar los sólidos que pudiesen encontrarse aguas arriba y frente a las ventanas de captación. La longitud total de los vertederos fijo y móvil debe ser la necesaria para el paso de la avenida de diseño. Su proporción es variable.

Presa no vertedora. Al igual que los vertederos fijo y móvil es transversal a la corriente principal. Su función es la de cerrar el cauce, sin que el agua pase por encima de ella. Su longitud depende del ancho del río.

Las ventanas de captación. Constituyen la toma propiamente dicha. Se trata de uno o más vanos que permiten el ingreso del agua y que trabajan hidráulicamente, sea como vertederos o como orificios. La carga hidráulica que permite el ingreso del agua se origina como consecuencia de la altura de la presa derivadora. Las ventanas pueden tener compuertas o no y suelen

llevar rejillas de protección contra el ingreso de cuerpos extraños, las que pueden estar provistas de limpiarrejas.

Compuertas de captación. Son las que regulan el ingreso de agua al canal de derivación. Pueden estar ubicadas como parte de las ventanas de captación, o, si hubiese un elemento decantador ubicado inmediatamente aguas abajo de las ventanas de captación, podrían estar ubicadas más hacia aguas abajo, en el ingreso al canal. En las bocatomas pequeñas puede tratarse de una sola compuerta.

Pozas disipadoras de energía. Aguas abajo de los barrajes fijo y móvil es necesario disponer algún elemento que ayude a disipar la energía. Generalmente se disipa la energía mediante la formación de un salto hidráulico, para lo que es necesario disponer una poza. Inmediatamente aguas abajo, y como transición con el lecho fluvial, se coloca una protección de fondo a base de piedras a la que se le denomina rip-rap. En la Figura N° 3 se aprecia las deformaciones del lecho fluvial como consecuencia de la construcción de un barrage.

Muros guía. Son muros separadores que suelen ubicarse entre los barrajes fijo y móvil y aguas arriba de ellos. Pueden también extenderse hacia aguas abajo, separando ambas pozas disipadoras de energía.

Canal desripador. Es un pequeño canal paralelo a la corriente principal, ubicado junto a las ventanas de captación y que es normal a la dirección de la corriente que ingresa a la captación. Permite la eliminación de los sólidos cuando las circunstancias hidráulicas y topográficas lo permiten.

Diques de encauzamiento. Se ubican aguas arriba y aguas abajo del eje de la presa de derivación, en la medida en la que las circunstancias topográficas lo requieran. Para que una bocatoma sea estable es necesario que lo sea el tramo fluvial en el que está ubicada. De acá que en muchas oportunidades haya que realizar el encauzamiento del tramo de río en las inmediaciones de la obra de toma. Algunas veces los diques de encauzamiento se extienden a lo largo de varios kilómetros. Su costo puede ser importante, pero resultan absolutamente

necesarios. Es necesario recordar que al construir una bocatoma se implanta un barraje o presa derivadora, cuya altura generalmente es de unos pocos metros sobre el lecho del río. Esto determina una sobreelevación de niveles hacia agua arriba, especialmente durante los grandes caudales. Como parte del diseño, además de los trabajos topográficos, se requiere determinar el perfil hidráulico. Si las condiciones topográficas así lo exigen habrá que considerar un encauzamiento.

BIFURCACIONES

La forma más simple de concebir una obra de toma es como una bifurcación: del canal principal o del río, nace un canal lateral. Las tomas rústicas, es decir, las tomas más simples, son solamente bifurcaciones. En una bifurcación se distribuyen el agua y los sólidos transportados por la corriente. En general lo hacen en proporciones diferentes. El estudio teórico y experimental de las bifurcaciones es muy interesante e importante para el mejor conocimiento de lo que ocurre en una bocatoma. Más adelante, en la Figura N° 4 se observa una bifurcación, Q representa los gastos líquidos y Q_s los gastos sólidos. En la revista Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI N° 3/ Edición Noviembre 2005 aparece un artículo del autor titulado Análisis del Comportamiento de los Sólidos en una Bifurcación

FUNCIONES ADICIONALES DE UNA BOCATOMA

Las bocatomas tienen a veces funciones adicionales a la que les es propia. Ellas pueden ser:

- a) Reparto de Aguas
- b) Medición de Caudales
- c) Puente (Peatonal o Carretero)
- d) Embalse para recreación (Natación, Pesca)
- e) Minicentral Hidroeléctrica

BOCATOMA TIROLESA

Existen numerosos tipos de bocatomas. Sería muy largo, y escaparía a los fines de esta exposición, presentar los diferentes tipos de obras de toma que forman parte de los proyectos de aprovechamiento hidráulico. Sin embargo, para que no quede la idea de que sólo se construyen captaciones laterales como las antes descritas, se ofrece a continuación una breve información sobre un tipo particular de obra de toma: la toma tirolesa, también llamada caucasiana, alpina o sumergida. Se trata de una estructura típica de las partes altas de los torrentes de montaña. La captación se efectúa por medio de una rejilla de fondo cuyos barrotes se disponen en la dirección de la corriente. Ver Figura N° 5. La rejilla debe tener una fuerte pendiente, mayor que la del río. Los barrotes deben tener un perfil apropiado de modo que las piedras no se atraquen entre ellos.

Inmediatamente debajo de la rejilla se dispone una cámara decantadora en la que el material sólido captado deposita y es luego eliminado accionando una compuerta, llamada de purga, especialmente dispuesta para el efecto. El agua, libre de sedimentos, se capta por medio de un vertedero ubicado en la cámara decantadora. El agua así captada es conducida por el canal hacia la zona de aprovechamiento. Ver Figura N° 6. Este tipo de captación es bastante simple y ha dado buenos resultados en torrentes con material grueso. Se utiliza generalmente para captar caudales pequeños. Algunas tomas ubicadas en los Alpes han dado muy buenos resultados para caudales de captación comprendidos entre 0,1 y 5 m³/s. Las pendientes de las rejillas variaron entre 1:10 y 1:5. En algunos proyectos se ha incorporado la automatización de las compuertas, con muy buenos resultados. Este tipo de captación fue estudiado extensamente en Turquía por el profesor Çeçen, quien realizó varias investigaciones en modelo hidráulico. Dos bocatomas importantes, para 4 y 8 m³/s, funcionaron bastante bien. Debe, sin embargo, recordarse que en varios lugares se ha construido este tipo de toma, pero el resultado fue un completo fracaso. Esto se debió a que no existían las condiciones adecuadas.

REFLEXIÓN FINAL

El tema de las bocatomas no es sencillo. Se requiere la consideración de muchos aspectos entre los cuales están los teóricos, experimentales y prácticos. En esta exposición se ha presentado no sólo una visión general del diseño de bocatomas, sino que también se ha enfatizado su importancia en un proyecto de aprovechamiento hidráulico. Debe tenerse presente que en el planeamiento, diseño, construcción, operación y mantenimiento de una bocatoma la ingeniería civil tiene un papel muy importante, pues se emplea a plenitud.

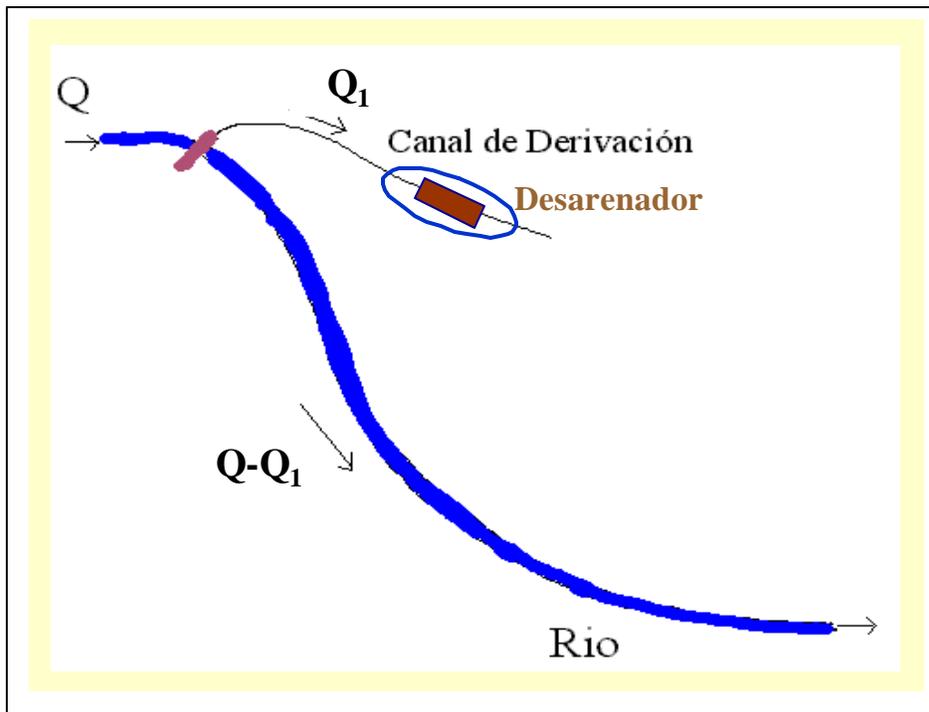


Figura N° 1 Representación esquemática del sistema bocatoma-desarenador

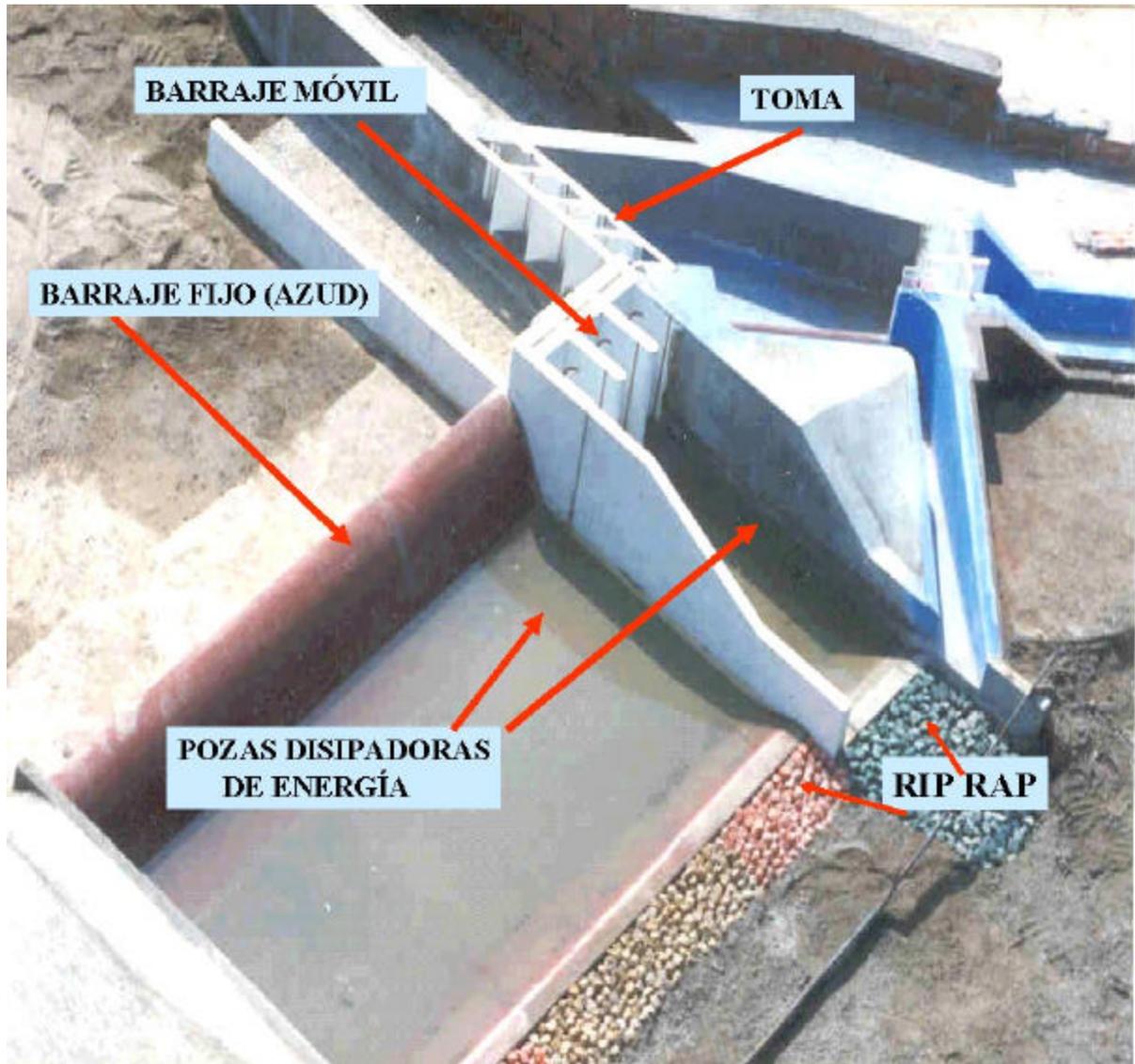


Figura N° 2 *Disposición típica de los principales elementos de una bocatoma de captación lateral*

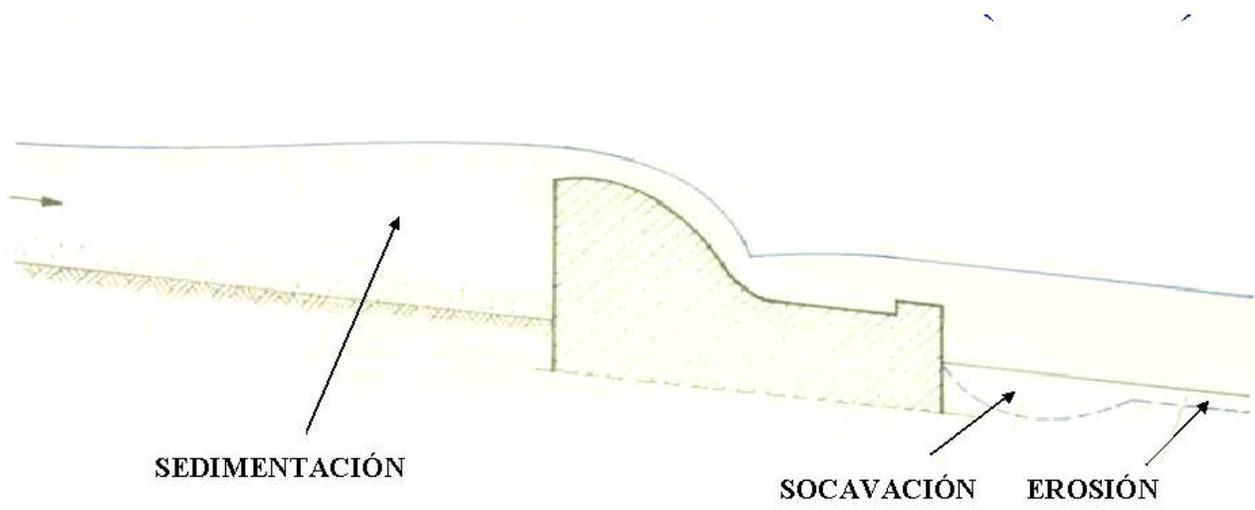


Figura N° 3 *Deformaciones del lecho fluvial*

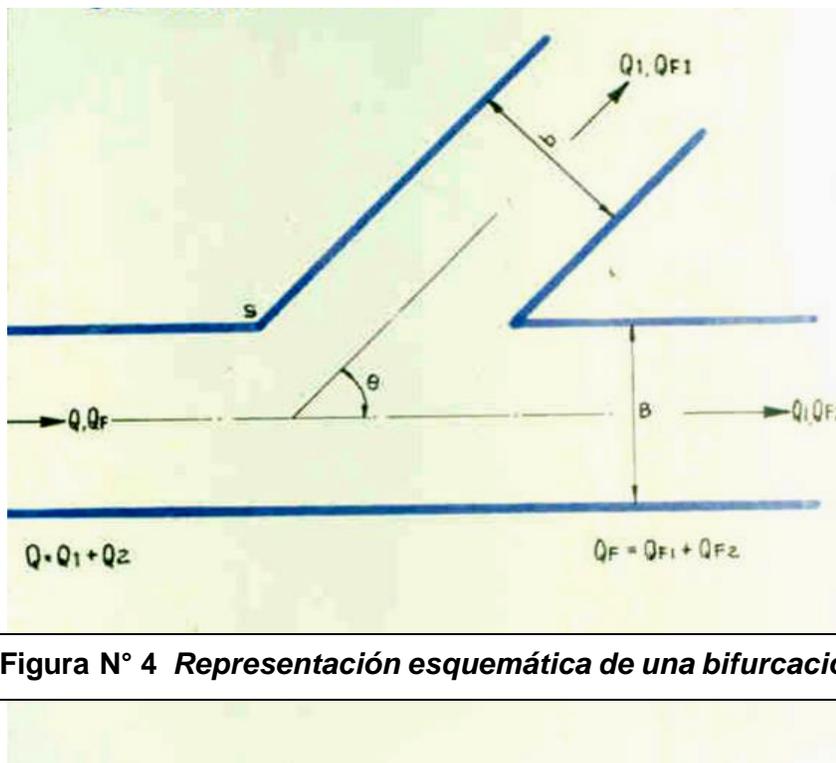


Figura N° 4 Representación esquemática de una bifurcación



Figura N° 5 *Captación tirolesa*

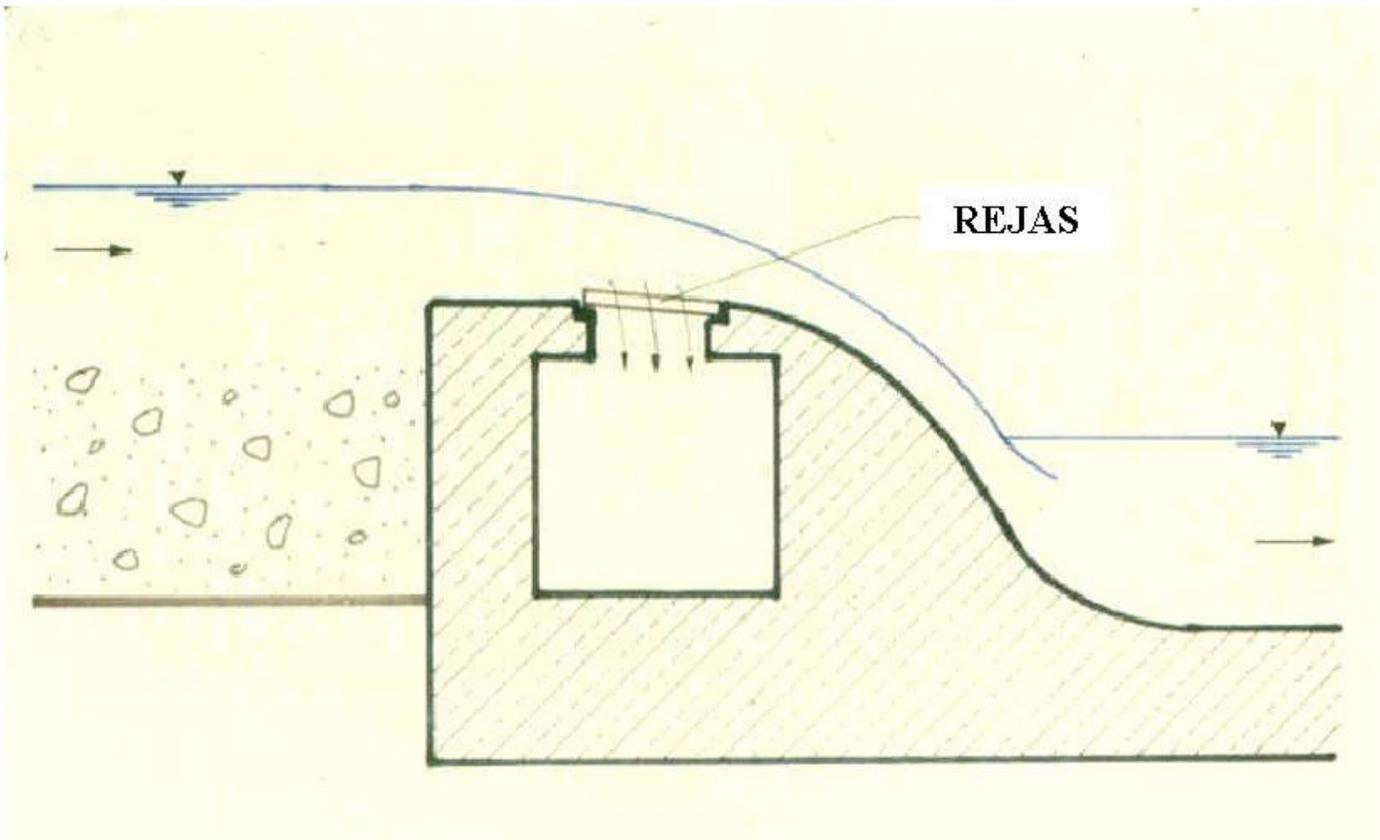


Figura N° 6 *Captación tirolesa (corte)*

