



# LOS EMBALSES LATERALES Y SUS ASPECTOS SEDIMENTOLÓGICOS

## APLICACIÓN AL RESERVOIRIO DE PALO REDONDO

**Arturo Rocha Felices**  
Consultor de Proyectos Hidráulicos

*El presente texto constituye una versión ampliada de la conferencia dictada con motivo del IV Congreso Internacional HIDRO 2011 Obras de Saneamiento, Hidráulica, Hidrología y Medio Ambiente organizado por el Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG) en mayo 2011.*

### 1. Tipos de embalses

Como resultado del balance entre la oferta y la demanda de agua que se hace al estudiar un proyecto (de riego, energía, abastecimiento poblacional, o de cualquier otra finalidad) puede aparecer un déficit, en ciertos meses o años. Una de las formas de resolverlo es mediante embalses de regulación. La función de estos embalses es efectuar la corrección temporal de las descargas fluviales. Es decir, almacenar agua en épocas de abundancia y usarla en tiempos de escasez. Esta corrección puede ser anual o plurianual. Se proyecta también pequeños embalses para la regulación horaria o diaria de caudales. En algunos lugares se recurre a embalses, especialmente laterales, con el objeto de mejorar la calidad del agua. En el río Rímac (en La Atarjea) hay un pequeño embalse lateral para el suministro de agua a la ciudad durante algunas horas, en las que el río está cargado de sedimentos y se decide no captar agua.

En general hay dos tipos de embalses. Los llamados frontales (en inglés, on-stream reservoirs) que están ubicados sobre el lecho fluvial, como Poechos sobre el río Chira, Gallito Ciego sobre el Jequetepeque, o Tablachaca sobre el Mantaro, y los ubicados fuera del cauce fluvial, a los que se denomina laterales (off-stream reservoirs). Entre estos últimos se encuentra operando desde hace unos cuarenta años el embalse del Proyecto Tinajones, lateral con respecto al río Chancay-Lambayeque.

En general, los embalses laterales tienen un volumen de regulación menor que el de los embalses frontales. Son varios los factores que llevan a escoger el tipo de embalse. Se podrá mencionar los siguientes:

- La existencia y capacidad de vasos apropiados para uno u otro tipo.
- La cantidad y características de los sedimentos fluviales.
- El volumen de regulación requerido.
- Las características del río.

e) Muchas otras más, como podrían ser el costo involucrado, las características del valle aguas abajo del embalse y la cantidad y calidad de la información disponible.

Uno de los problemas principales que se presenta en los embalses de regulación es la pérdida de volumen útil por acumulación de sedimentos con el paso del tiempo. A este fenómeno se le denomina azolvamiento, atarquinamiento, o sedimentación del embalse. Es necesario precisar, desde el punto de vista de la sedimentación, algunas características de los embalses frontales y su consiguiente pérdida de volumen útil. Hay dos clases de embalses frontales. Unos, que requieren un volumen adicional para almacenar los sedimentos y conservar así el volumen útil durante un cierto número de años, asociado a la llamada vida útil del embalse (Poechos y Gallito Ciego, por ejemplo). Otros que, por existir condiciones favorables para ello, tienen los dispositivos para la eliminación de los sólidos depositados (Tablachaca, por ejemplo) por medio de una purga hidráulica (limpieza, eliminación de sólidos) que se efectúa, por lo general, una vez al año, siempre que las condiciones hidrológicas lo permitan.

La presente exposición se refiere a los embalses laterales, en los que, en general, por las razones que se señala más adelante, la pérdida de capacidad por sedimentación es menor. Desde el punto de vista sedimentológico, un embalse lateral debería cumplir las dos condiciones siguientes:

- Que sólo ingresen a él los caudales excedentes del sistema de aprovechamiento; es decir, que el embalse no sea un elemento de paso para caudales que no necesitan regulación, y
- Que el embalse esté convenientemente protegido por un adecuado sistema de desarenación.

Si se cumplen estas dos condiciones se podrá analizar el funcionamiento de un embalse ubicado fuera del cauce fluvial, considerándolo sedimentológicamente como lateral.

Más adelante se discute detalladamente este punto.

### 2. Ventajas de un embalse lateral

Usualmente los embalses laterales no tienen purga, salvo los muy pequeños que pueden tener una purga mecánica. Por lo tanto, sólo queda la posibilidad de darles un volumen adicional (por lo general, no muy grande) para almacenar los sedimentos que provienen del Canal Alimentador y de las quebradas que puedan descargar directamente en el embalse. En consecuencia, los embalses laterales tienen también una determinada vida útil, que es mucho más larga que la de los embalses frontales. Dentro de las numerosas ventajas de los embalses laterales, en comparación con los frontales, se puede señalar las siguientes:

- A los embalses laterales sólo ingresa una parte de los caudales líquidos y de sólidos del río. En cambio, a los embalses frontales ingresa la totalidad de los caudales líquidos y de sólidos. Esta es, desde el punto de vista sedimentológico, la gran diferencia entre ambos tipos de embalse.
- Los embalses laterales pueden tener una vida útil bastante más larga que la de los embalses frontales. O, dicho con otras palabras, pueden tener la misma vida útil que un embalse frontal, pero con un menor volumen adicional para la deposición de los sólidos (Volumen Muerto por sedimentación). Evidentemente, los embalses laterales son una forma de atenuar los problemas de la pérdida de capacidad de los embalses por acción de los sedimentos, especialmente en lugares donde ocurre el Fenómeno El Niño.
- Los embalses frontales representan una fuerte agresión al escurrimiento fluvial, pues interrumpen y alteran fuertemente el tránsito del agua, de los sólidos y de los peces y de otras especies animales. Aguas arriba de la presa se produce sedimentación (agradación) y aguas abajo erosión (degradación), las que pueden ser muy

graves. En cambio, la bocatoma (presa derivadora) que abastece a un embalse lateral tiene mucho menor impacto en el escurrimiento fluvial y en el medio ambiente en general.

- d) Los aliviaderos de los embalses laterales tienen menor capacidad y complejidad. En una presa frontal el costo de los aliviaderos puede ser muy alto. Y también el riesgo involucrado debido a la incertidumbre hidrológica.
- e) Los embalses laterales representan una complejidad mucho menor en los aspectos constructivos de la presa, pues ésta no se encuentra ubicada sobre el cauce de un río importante (generalmente está sobre una quebrada).
- f) Los embalses laterales tienen obras de desvío más simples. En una presa frontal el costo de las obras de desvío puede ser muy alto. También puede serlo su influencia en la duración de la construcción y en el riesgo involucrado.
- g) Por lo general, los embalses frontales requieren de presas de gran altura que inundan áreas ribereñas, lo que obliga a su desocupación, a expropiaciones, al traslado de pueblos y a la afectación de instalaciones, tierras agrícolas, ruinas arqueológicas y otros espacios que pueden ser muy valiosos. En cambio, los embalses laterales suelen causar problemas menores.
- h) Otras, que deberían examinarse en cada caso específico.

### 3. Vida de los embalses

En el momento de elaborar un proyecto se establece la vida del embalse, cualquiera que sea su tipo, lo que debe hacerse en concordancia con sus fines y costos y, aceptan-

do desde el punto de vista de la pérdida de su volumen útil, un riesgo razonable de falla, que se denomina Riesgo Sedimentológico. La vida útil se expresa como el número de años que un embalse pueda satisfacer plenamente las necesidades del proyecto al que está asociado.

Todos los sedimentos que produzca la cuenca ingresarán al embalse frontal. La mayor parte de ellos, fácilmente más del 90%, depositará en el embalse. Para alargar la vida de los embalses se suele pensar en disminuir la erosión de la cuenca, es decir, la producción de sedimentos. Esto es teóricamente posible, pero costoso y difícil por una serie de circunstancias que el autor ha tratado en varios trabajos. De otro lado, la instalación de un sistema de purga sólo es posible en determinadas condiciones.

Pero, ¿qué significa el tiempo de vida de un embalse? ¿Puede admitirse que un embalse tenga una vida limitada? Evidentemente que depende del tipo de proyecto. Una central hidroeléctrica puede, después de un cierto número de años, reemplazarse por una central térmica y seguir dando el mismo servicio, aunque, probablemente, en diferentes condiciones de costo. Pero, si se tratase de una irrigación, es decir, de transformar el desierto en tierra verde, no se podría, al cabo de un cierto número de años, decir que el proyecto ya terminó porque ya se recuperó la inversión y que los colonos abandonen las tierras porque ya no van a tener agua. En consecuencia, luego de la experiencia vivida en el país no sería recomendable considerar, como se ha venido haciendo, una vida útil de cincuenta años para un embalse que abastece un proyecto de riego. En realidad, habría que tener un proyecto sustitutorio. En cambio, con un embalse lateral se puede pensar en una vida muy larga, para lo cual es necesario proveer al sistema de uno o más desarenadores. La vida de un embalse lateral dependerá de la eficiencia del o de los desarenadores que

lo protejan. Es decir, del sistema bocatoma-desarenador que se analiza a continuación.

### 4. La función del sistema bocatoma-desarenador

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. La bocatoma debe diseñarse de modo que no permita el ingreso de los sólidos gruesos al sistema, es decir, al desarenador y, por lo tanto, al embalse. Los sólidos gruesos deben seguir hacia aguas abajo en el río, lo que implica que haya en él un caudal remanente lo suficientemente grande como para arrastrarlos. Los sólidos finos sí ingresarán al sistema, pues la bocatoma no puede impedirlo. De hecho, la concentración de sólidos en suspensión es prácticamente la misma en el río y en el agua captada.

El desarenador se ubica aguas abajo de la bocatoma y, junto con ésta, constituye sedimentológicamente el sistema bocatoma-desarenador. El desarenador debe encargarse de la eliminación (en realidad, de la disminución) de la cantidad de partículas finas. No hay un desarenador que logre eliminar el 100% de las partículas finas que ingresan a él y, como su estudio está estrechamente ligado al de la bocatoma correspondiente, el sistema bocatoma-desarenador debe concebirse como una unidad sedimentológica. La bocatoma, mediante sus sistemas de control y exclusión de sólidos, debe impedir el ingreso al sistema de las partículas sólidas más grandes, transportadas por el río como material de fondo. Otras estructuras, como los desripiadores, se encargan de las partículas medianas. A diferencia de lo que ocurre con algunas estructuras hidráulicas en las que los eventuales daños dependen, además de otros factores, del tamaño de las partículas sólidas, en un embalse, cualquiera que sea el tamaño de las partículas que ingresen a él producirán la pérdida de volumen útil.



Reservorio Tinajones



La concentración de sólidos así como el tamaño de las partículas en suspensión transportadas por un río son variables con el caudal y, en consecuencia, con el tiempo. Hay días, meses o años en los que se presentan concentraciones muy grandes. Eventualmente, durante algunas horas puede haber concentraciones muy altas como consecuencia de una avenida o de la aparición en la cuenca de un fenómeno de geodinámica externa, como por ejemplo, un huaco. Hay meses y años de altas y persistentes concentraciones, como cuando ocurren fuertes lluvias que pudieran corresponder al Fenómeno El Niño, o no. Hay ríos que usual y persistentemente tienen en ciertas épocas altas concentraciones de sólidos en suspensión que son producto de la erosión de la cuenca. La granulometría también es variable con el tiempo, aunque en mucho menor grado que la concentración. Depende de la erosión de la cuenca y de las descargas del río.

En general, el desarenador no debe recibir partículas de tamaño superior al escogido en las condiciones de diseño, pues esto dificultaría su operación. Eventualmente, se incluye entre la bocatoma y el desarenador una estructura especial, a la que de un modo genérico podríamos llamar sedimentador de partículas medianas, o predesarenador.

Desde el punto de vista hidráulico, el desarenador resulta ser una estructura muy interesante, pues se encarga de eliminar o disminuir del sistema hidráulico determinadas partículas sólidas y de esta manera garantizar la eficiencia operativa del proyecto y disminuir los costos de operación y mantenimiento. Muchas veces es fundamental para el éxito de un proyecto. En el Perú existen numerosos desarenadores en funcionamiento; algunos de ellos muy grandes, diseñados para eliminar partículas muy pequeñas.

Todo esto nos lleva a la conclusión que un desarenador debe definirse de acuerdo a la cantidad y al tamaño máximo de las partículas contenidas en el agua que sale de él. Estos son los valores de diseño. No se aconseja otro tipo de definición como "desarenador para irrigación" o "desarenador para hidroeléctrica", por la imprecisión que conllevan estos términos.

## 5. Ubicación y funcionamiento de los embalses laterales

La necesidad de disponer de un volumen de regulación y la presencia de grandes cantidades de sólidos y de otros factores antes señalados, llevan a la necesidad de buscar un embalse lateral en lugar de uno frontal. La gran diferencia entre uno y otro tipo de embalse reside, desde el punto de vista sedimentológico, como ya se dijo, en que a los embalses frontales ingresa la totalidad de los

caudales líquidos y sólidos del río, en cambio, a los embalses laterales, sólo lo hace una pequeña parte de ellos.

Un embalse lateral implica la existencia de una obra de toma (captación), uno o dos desarenadores y las estructuras complementarias como desripiadores, desgravadores o desempedadores y, ciertamente, una estructura de cierre (presa) y un aliviadero, generalmente pequeño.

En la captación debe respetarse los requerimientos de aguas abajo (riego, energía, población, etc.), además de las necesidades ecológicas, biológicas o sanitarias, que pueden estar sujetas a determinadas condiciones y exigencias; es decir, que debe evaluarse el impacto que producirá aguas abajo la extracción de una parte del caudal del río para abastecer al embalse lateral. Según las características del río y del proyecto podemos pensar en tres soluciones para la consideración de un embalse lateral.

### Caso "A": Embalse lateral con respecto al río

El Caso "A" consiste en captar el agua del río mediante una bocatoma a la que se llamará, para efectos de esta exposición, bocatoma para embalse lateral (B.T.E.L.), especialmente diseñada para tal función (Figura N° 1). Sólo se capta la cantidad de agua ( $Q_{EMBALSE}$ ) necesaria para alimentar el embalse lateral y que sea excedente con respecto a los requerimientos ( $Q_{REQUERIMIENTOS}$ ) siguen de largo por el río y, en otra bocatoma, a la que se llamará bocatoma del proyecto (B.T.P.) ubicada aguas abajo, son captados para su uso en un proyecto determinado. Puede haber varios proyectos, en cuyo caso podría haber varias bocatomas. En épocas o meses de escasez de agua se libera desde el embalse lateral las cantidades necesarias para cubrir las demandas, las que son captadas en la bocatoma de aguas abajo (B.T.P.). En general se cumplirá que

$$Q_{EMBALSE} = Q_{RÍO} - Q_{REQUERIMIENTOS}$$

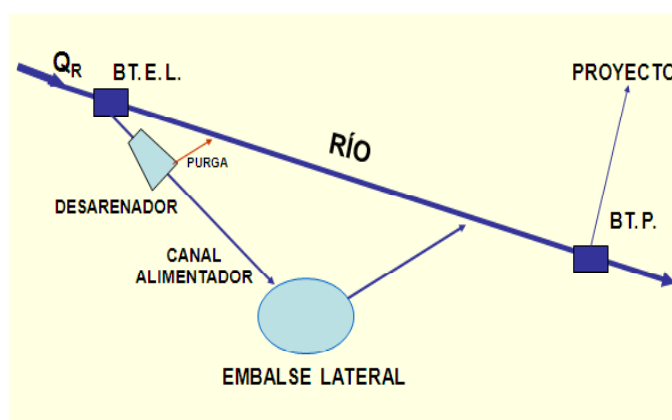


Figura N° 1. Caso "A": Embalse lateral con respecto al río

$Q_{RÍO}$  depende de la Naturaleza y  $Q_{REQUERIMIENTOS}$  de la consideración de las necesidades de aguas abajo (que podrían ser prioritarias con respecto a la alimentación del embalse). Existen diversas razones por las que debe dejarse en el río un caudal remanente ( $Q_{REQUERIMIENTOS}$ ), aguas abajo de la bocatoma del embalse lateral. Entre ellas están:

- Las demandas poblacionales, agrícolas, energéticas o de cualquier orden que pudieran existir en el tramo fluvial ubicado aguas abajo de la captación.
- El caudal requerido para operar la bocatoma, pues hay momentos en los que no se puede (o no se debe) captar el 100% del agua, ya que ello implicaría captar el 100% de los sólidos.
- El caudal ecológico, biológico o sanitario.

La bocatoma (B.T.E.L.) debe diseñarse de modo que no ingrese material sólido grueso al Canal Alimentador. Aguas abajo de la bocatoma se dispondrá un desarenador. En consecuencia, sólo ingresaría al embalse lateral la cantidad de sólidos asociada al caudal  $Q_{EMBALSE}$  que por estar constituida por partículas muy finas no pudiera haber sido eliminada por el desarenador.

### Caso "B": Embalse lateral con respecto al río y al canal.

El caso "B" consiste en una sola bocatoma (B.T.P.) desde la que se capta la cantidad de agua requerida para cubrir la demanda y, además, para llenar el embalse lateral, el cual a su vez es lateral con respecto al canal de derivación (que es también el Canal Alimentador) que arranca de la bocatoma antes mencionada. En esta bocatoma sólo se capta, para los fines señalados, la cantidad de agua que sea excedente con respecto a los requerimientos de aguas abajo. Para llenar el embalse lateral se requiere que en el canal de derivación se implante una bocatoma adicional que derive los caudales requeridos para llenar el embalse lateral y que sean excedentes con respecto a la demanda del Proyecto (Figura N° 2).

Para evitar que los sólidos finos ingresen al sistema, o para disminuir su cantidad, se coloca un desarenador en el canal de derivación. Además, podría colocarse, si la granulometría lo permite, un desarenador adicional en el Canal Alimentador, sólo para los caudales que ingresan al embalse lateral.

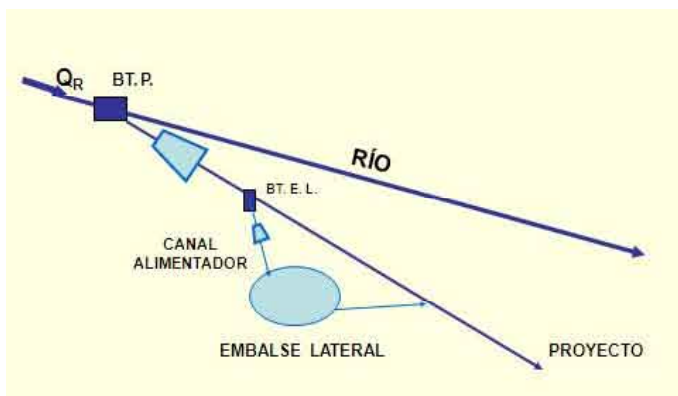


Figura N° 2. Caso "B": Embalse lateral con respecto al río y al canal

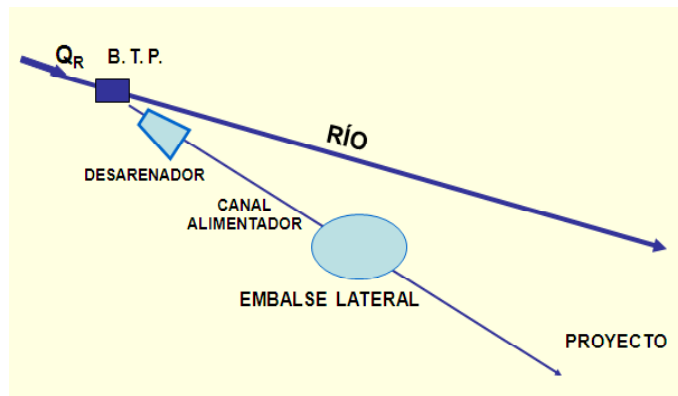


Figura N° 3. Caso "C": Embalse lateral con respecto al río, pero frontal con respecto al canal

El proyectado embalse de Palo Redondo del proyecto CHAVIMOCHIC fue concebido, acertadamente, en el Estudio de Factibilidad de 1983 como un embalse lateral, tanto con respecto al río como al canal de derivación, al que sólo ingresarían los caudales que requerían regulación y que fuesen excedentes con respecto a la demanda en un momento dado. Esta concepción se debió a la gran cantidad de sedimentos del río Santa. Su vida útil debe revisarse a la luz de informaciones más recientes.

#### Caso "C": Embalse lateral con respecto al río, pero frontal con respecto al canal

Excepcionalmente, y cuando en el río haya muy poco transporte sólido, se podría pensar en ubicar un embalse, que sea lateral con respecto al río y frontal con respecto al canal de derivación (Figura N° 3).

En estas condiciones el caudal total del Proyecto ingresaría al embalse lateral. Por lo tanto,

también ingresaría a él la totalidad de los sólidos que no sean retenidos en el desarenador. En consecuencia, sólo se debe pensar en este tipo de solución cuando la cantidad de sólidos sea muy pequeña y cuando no pueda implementarse la solución expuesta en el caso "B". Exáminese al respecto el Anexo sobre el reservorio de Palo Redondo.

La consideración de la calidad del agua en el curso del río, aguas abajo de la bocatoma (B.T.E.L.), puede ser un factor determinante para limitar las captaciones. Así por ejemplo, Jiang y otros desarrollaron, considerando las necesidades del estado de Georgia, U.S.A., un modelo sofisticado (a partir del HEC-5 existente) para evaluar el impacto de un embalse lateral.

Naturalmente que para la concepción y diseño de un embalse lateral debe recurrirse a una simulación del sistema. Los tres casos presentados son sólo ilustrativos y puede haber otras posibilidades según las características de cada proyecto.

## 6. Conclusiones y Recomendaciones

- I. Los embalses laterales tienen la gran ventaja de que a ellos sólo ingresa una pequeña parte de los sólidos transportados por la corriente fluvial; en cambio, a los embalses frontales ingresa la totalidad de los sólidos.
- II. Como consecuencia de la anterior conclusión la vida útil de un embalse lateral puede ser muy grande y depende en gran medida de la eficiencia sedimentológica del sistema bocatoma-desarenador.
- III. A un embalse lateral solo deberían ingresar los caudales excedentes del sistema de aprovechamiento; es decir, que el embalse no debería ser un elemento de paso para caudales que no necesitan regulación.
- IV. Los embalses laterales tienen muchas ventajas con respecto a los frontales, como se señala en el texto, y deben examinarse comparativamente en el momento de decidir el tipo de embalse.

## Referencias

1. AGÜERA Francisco y otros. **Minimising the earthwork cost in the construction of irrigation offstream reservoirs**. Universidad de Almería. Water Resources Management, 2007.
2. CORONADO DEL AGUILA Francisco. **El desarenador**. Universidad Nacional de Ingeniería, 2004.
3. CORPEI. **Estudio de Factibilidad del Proyecto CHAVIMOCHIC**, 1982.
4. JAIN Shubhra y otros. **Off-stream Reservoir: A Tool for Improving Yield and Water Quality Reliability**. Florida Water Resources Journal. February 2007.
5. JIANG FENG y otros. **Development of 5-HEC Model for Off-stream Reservoir Planning**. Proceedings of the 2009 Georgia Water Resources Conference. University of Georgia.
6. MORRIS, Gregory L. y otros. **Reservoir Sedimentation**. Sedimentation Engineering, Chapter 12, Manual ASCE, 2007
7. ROCHA FELICES Arturo. **Informe de Supervisión de aspectos de ingeniería hidráulica del Estudio de Factibilidad del Proyecto CHAVIMOCHIC**, elaborado por CORPEI. 1982.
8. ROCHA FELICES Arturo. **Sedimentación Acelerada de Embalses**, IV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Memorias del Congreso y revista El Ingeniero Civil, N° 25, Jul-Ago. 1983.
9. ROCHA FELICES Arturo. **Control del material sólido en el sistema de aprovechamiento del proyecto CHAVIMOCHIC**, por encargo de la Dirección Ejecutiva del Proyecto. Diagnóstico y Evaluación. 1999
10. ROCHA FELICES Arturo. **El Riesgo Sedimentológico (E.R.S.) en los proyectos de embalse**. XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Iquitos, 2003.
11. ROCHA FELICES Arturo. **La bocatoma, estructura clave en un proyecto de aprovechamiento hidráulico**. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Civil, UNI, Año 01, N° 2, Noviembre 2005.
12. ROCHA FELICES Arturo. **La Problemática de la Sedimentación de Embalses en el Aprovechamiento de los Ríos Peruanos, Aplicada al Embalse de Poechos**. Primer Congreso Internacional de Hidráulica, Hidrología, Saneamiento y Medio Ambiente. HIDRO 2006. I. C. G. Lima, enero 2006.
13. SOTO SALVADOR Miguel. **Capacidad adicional de los reservorios por efecto de la deposición de sedimentos**. Tercer Seminario Nacional de Hidrología, Lima 1983
14. ZEGARRA Eduardo. **Embalse Palo Redondo ¿La Gallina de los Huevos de Oro?** Comunicación Personal, 2010.

## APRECIACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS ASPECTOS SEDIMENTOLÓGICOS DEL RESERVORIO DE PALO REDONDO EN EL SISTEMA CHAVIMOCHIC

Este Anexo está basado en el capítulo 6 del Informe CONTROL DEL MATERIAL SÓLIDO EN EL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DEL R.E. CHAVIMOCHIC, que el autor preparó para el Proyecto CHAVIMOCHIC en octubre de 1999.

### Introducción

En este capítulo se examina la influencia del Reservoirio de Palo Redondo en los aspectos sedimentológicos del Proyecto CHAVIMOCHIC.

Como el reservoirio es un gran decantador (lo que no constituye su función natural) resulta que redundará en que disminuya la cantidad de sólidos que ingresa a los lugares de aprovechamiento hidráulico. Sin embargo, su vida útil es limitada y fue fijada en 50 años, por lo que ha sido necesario examinar los aspectos sedimentológicos involucrados, tal como se aprecia a continuación.

### El reservoirio de Palo Redondo

El reservoirio de Palo Redondo apareció como una necesidad de regulación al efectuarse el balance hidrológico del Proyecto CHAVIMOCHIC, durante el estudio de factibilidad realizado por CORPEI (1983). En aquella oportunidad se tuvo en cuenta los requerimientos de agua del proyecto CHINECAS, usuario también del río Santa, y de otros desarrollos a partir del mismo río. El proyecto CHINECAS había previsto también regulación lateral en el reservoirio de Cascajal y captación de las aguas del río Santa en el lugar denominado Tablonos (cota 320).

Con el objeto de analizar las implicancias de la ubicación de las bocatomas de ambos proyectos, así como para examinar el balance hidrológico, el proyecto CHAVIMOCHIC encargó a ARTURO ROCHA INGENIEROS ASOCIADOS S.A. la ejecución del estudio titulado "Análisis previo al estudio de alternativas de captación de los proyectos CHAVIMOCHIC y CHINECAS y balance global del sistema".

En dicho balance hidrológico global se consideró el embalse de Palo Redondo (200 MMC), tal como habría sido previsto por CORPEI, es decir, con un canal alimentador de 12 m<sup>3</sup>/s, que partía del canal de derivación.

Posteriormente, en el Estudio de Factibilidad del Embalse de Palo Redondo (CHIMU, 1990) se modificó la concepción del embalse, el cual fue diseñado para recibir íntegramente las aguas del canal de derivación. Su volumen útil resultó ser de 260 MMC. De esta manera el reservoirio dejó de ser lateral con respecto al canal. La puesta en servicio de este reservoirio está prevista para el momento en el cual el desarrollo hidráulico vinculado al uso de las aguas del río Santa así lo requiera.

La entrada en servicio de Palo Redondo, asociada al desarrollo total del Proyecto CHAVIMOCHIC, implicará desde el punto de vista sedimentológico que la mayor parte de los sólidos que se incorporan al sistema desde la salida del desarenador quede depositada en dicho reservoirio, ocupando el Volumen Muerto correspondiente en el número de años que se examina más adelante.

### Vida útil calculada en el estudio de factibilidad

El cálculo de la vida útil del reservoirio de Palo Redondo hecho en el estudio de factibilidad (1990) se basa en las siguientes consideraciones del Consultor CHIMU:

i) La cantidad de sólidos que ingresaría anualmente (valor medio) al reservoirio, proveniente de la salida del desarenador sería de 2,29 millones de toneladas (caso I) y 2,69 millones de toneladas (caso II). El caso I corresponde a la operación del sistema de modo de maximizar la producción agrícola (riego) y el caso II corresponde a la maximización de la generación hidroeléctrica en meses de avenidas, captando hasta el límite de la capacidad de conducción, el cual implica, como se aprecia, un mayor ingreso de sólidos.

ii) Para caudales iguales o mayores a 1000 m<sup>3</sup>/s, que ocurrirían 1 día al año, para los que habría altas concentraciones, se cerraría las ventanas de captación, en cuyo caso disminuiría la cantidad de sólidos que in-

gresaría al embalse a 2,17 millones de t/año (caso I).

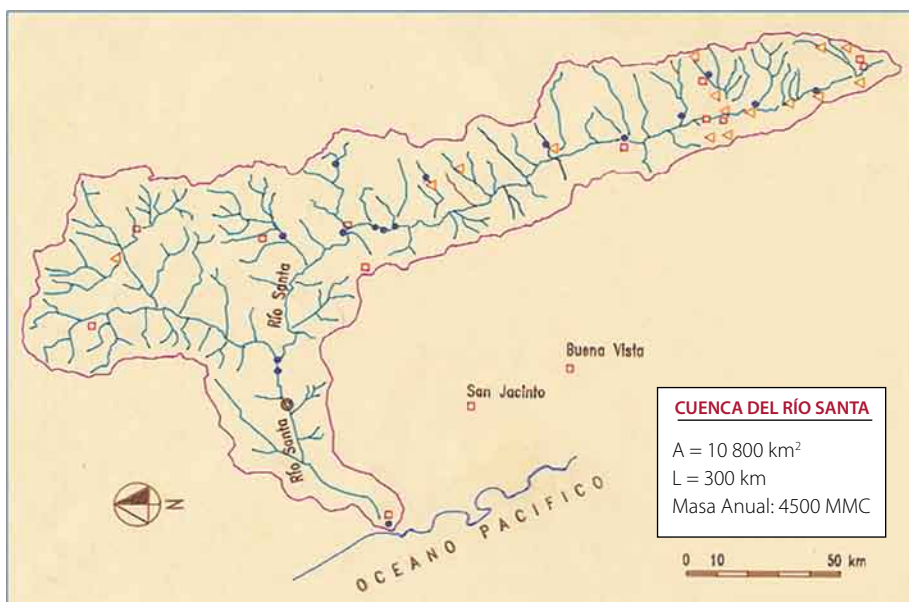
- iii) Para el cálculo de la eficiencia de retención del embalse (método de Brune) se supuso que el desarenador no existiese y luego se hizo la corrección respectiva al método de cálculo. Según dicho método de cálculo en el embalse depositaría el 65,5% del material sólido ingresante (caso I, 1,5 millones de t/año).
- iv) Que la vida útil del embalse sería de 50 años.
- v) Que el peso específico del material sólido compactado en el reservoirio sería de 1150 Kg/m<sup>3</sup>
- vi) Que los ingresos de sólidos de la quebrada de Palo Redondo serían casi 6 millones de m<sup>3</sup> (en 50 años)

Bajo los supuestos anteriores el Consultor CHIMU determinó para el reservoirio un Volumen Muerto (para depósito de sedimentos) de 71,1 MMC (caso I) y 85,5 MMC (caso II).

Luego de haber revisado este procedimiento de cálculo se encuentra dos diferencias o comentarios principales:

- a) Con un nuevo cálculo de la sedimentación en el reservoirio la vida útil resultante sería menor a la prevista por el Consultor CHIMU, pues la cantidad anual de sedimentos retenidos en el embalse sería mayor que la considerada en el estudio de factibilidad del reservoirio (1990).
- b) La forma en la que se ha aplicado el gráfico de Brune parece no ser la más adecuada. Sin embargo, el resultado final no sería fundamentalmente diferente.

En consecuencia, si todo funcionase como lo previsto, la incorporación de sólidos al Proyecto, aguas abajo del reservoirio, y bajo los supuestos de su estudio de factibilidad de 1990, sería de 480 000 toneladas anuales, en promedio, para el caso I.



El punto de discrepancia fundamental con el estudio de factibilidad reside en haber fijado como vida útil del embalse un periodo de 50 años (que se usó mucho en las últimas décadas del siglo pasado, pero que ha demostrado ser inconveniente).

### Opinión sobre la vida útil prevista para el reservorio

La sedimentación de los embalses (azolvamiento) es algo prácticamente inevitable con el paso del tiempo. En el Perú tenemos dolorosas y recientes experiencias al respecto, por lo que es necesario prestar la máxima atención a este punto.

Hay varios métodos de contrarrestar la sedimentación y alargar la vida de los embalses. Entre ellos están los siguientes:

- i) **Controlar la erosión de la cuenca.** Este es el método más eficaz y seguro, que debe formar parte del tratamiento general de la cuenca. El caso presente supondría el manejo integral de la cuenca del río Santa.
- ii) **Disponer de un desarenador efectivo** (para los embalses laterales). Este es el caso de Palo Redondo. Efectivamente se dispone de un desarenador, pero éste sólo retiene alrededor del 50% de los sólidos, o tal vez, sólo el 30%.
- iii) **Disponer de un volumen adicional muy grande para el depósito de los sólidos.** Esta es la metodología empleada en Palo Redondo, pero sólo para un periodo de 50 años. Este tema se discute más adelante.
- iv) **Incorporar a la presa sistemas de purga.** Este método no es aplicable a Palo Redondo.

v) **Construir presas de retención** (check dams). Aplicable en determinados casos.

vi) **Remoción mecánica de los sedimentos.** Por el alto costo involucrado este tipo de solución no es recomendable para un reservorio como Palo Redondo.

Examinaremos ahora el método al que se refiere el punto iii, específicamente al lapso de 50 años considerado. La vida útil prevista para un embalse depende de la finalidad del proyecto al que sirve y de la posibilidad de implementar un proyecto o embalse sustitutorio.

En los proyectos hidroeléctricos se relaciona mucho la vida útil con la vida económica. Al término de la vida útil, que se supone com-

patible con la vida económica, se puede implementar, por ejemplo, una central térmica y seguir dando servicio.

En un proyecto de riego la situación es diferente. No se puede al cabo de 50 años, o antes si los supuestos sedimentológicos no fueran del todo correctos, decir que el proyecto ha terminado.

Los cálculos sedimentológicos tienen usualmente un margen de error bastante elevado, más aún cuando la información de campo era tan escasa cuando se realizó el estudio de factibilidad del reservorio (1990).

En la actualidad no se debe aceptar un lapso de 50 años para la vida útil de un embalse que sirve a un proyecto de riego y al abastecimiento de agua potable y que no tiene un proyecto sustitutorio.

### Conclusiones

Con respecto a la función que desde el punto de vista sedimentológico tiene el Reservorio de Palo Redondo se llega a las siguientes conclusiones:

1. La vida útil de 50 años considerada en el estudio de factibilidad de 1990 no es admisible para un proyecto de riego y, en consecuencia, debe enfrentarse este problema.
2. La cantidad de sedimentos que ingresa al Reservorio de Palo Redondo es muy grande, a pesar del desarenador. Según nuestro cálculo alternativo dicha cantidad sería aún mayor, y, por lo tanto sería más corta la vida del embalse (inferior a 50 años). ■

### Referencias

1. CORPEI. **Estudio de Factibilidad del Proyecto CHAVIMOCHIC.** 1983.
2. ARTURO ROCHA INGENIEROS ASOCIADOS S.A. «Análisis previo al estudio de alternativas de captación de los proyectos CHAVIMOCHIC y CHINECAS y balance global del sistema».
3. INSTITUTO DE HIDRÁULICA DE LA UNIVERSIDAD DE PIURA. «Investigación sobre modelo hidráulico del desarenador CHAVIMOCHIC. Informe Final». Julio 1989.
4. CONSORCIO CHIMU. «Ingeniería de Detalle - Paquete A. Volumen VII: Desarenador» CHAVIMOCHIC. Agosto 1990.
5. CONSORCIO CHIMU. «Estudio de Factibilidad del Embalse de Palo Redondo. Volumen II: Hidrología y Sedimentos». Agosto 1990.
6. PROYECTO ESPECIAL CHAVIMOCHIC. «Análisis de sedimentos en suspensión. Canal Madre y Lateral 10». 1999.
7. PROYECTO ESPECIAL CHAVIMOCHIC. Anexo G (Tamaño de las partículas a ser decantadas). Acta de Reunión.
8. PROYECTO ESPECIAL CHAVIMOCHIC. «Caudales de entrada y salida del desarenador» (mes de marzo 1999).
9. PINTO Esmelín. «La calidad física del agua en el desarrollo de los proyectos de costa que empleen riego presurizado: Análisis de la problemática y alternativa de solución» del Proyecto CHAVIMOCHIC.
10. ROCHA FELICES Arturo. **Control del Material Sólido en el Sistema de Aprovechamiento del P.E. CHAVIMOCHIC. Diagnóstico y Evaluación.** Octubre 1999.