

SEDIMENTACIÓN DEL EMBALSE DEL P.H. ANGOSTURA, ESTUDIOS Y EXPERIENCIAS

Oscar Jiménez Ramírez y Carlos Roberto Rodríguez Meza

Instituto Costarricense de Electricidad, San José, Costa Rica, tel. (506)2207631, email: ojimenezr@ice.go.cr

INTRODUCCION

En este trabajo se describen los estudios sedimentológicos realizados durante el planeamiento y diseño de la planta hidroeléctrica Angostura, así como los primeros resultados del seguimiento y control de la sedimentación. Esta planta, que inició su operación en octubre del 2000, se localiza en la cuenca media del río Reventazón, localizada en la vertiente atlántica de Costa Rica. Aguas arriba de esta planta se encuentran en operación las plantas Río Macho, y Cachí, así como una nueva central actualmente en construcción (La Joya). En la actualidad estas plantas tienen una capacidad de 400 MW y representan un 22% del Sistema Interconectado Nacional.

El P.H. Angostura ha sido concebido como una planta de filo de agua con regulación diaria. Esto significa que se debe contar con un embalse que sea capaz de almacenar agua diariamente (durante la noche u horas de baja demanda), para operar a potencias altas en las horas de mayor demanda. Para lograr esta regulación, y poder lograr la potencia de la planta durante la época seca, es necesario contar con un embalse útil de al menos 2.5 hm³. El volumen total del embalse es de unos 17 hm³, de los cuales unos 11 corresponden al volumen útil, entre las cotas 570 y 577 msnm.

El río Reventazón arrastra una carga de sedimentos en suspensión, en su paso por el proyecto, estimada en unos 3.0 millones de toneladas anuales. Si todos estos sedimentos se acumularan en el embalse, ocuparían un volumen aproximadamente igual a su tonelaje, y por lo tanto bastarían unos 6 años para que el embalse se llenara completamente. En la realidad, solo parte de los sedimentos se depositan en el embalse, y se estima que inicialmente la cantidad depositada será de alrededor del 60% del total de los sedimentos que ingresan, e irá disminuyendo conforme el embalse acumula sedimentos. Esto implica que el proceso de llenado tomará más años, pero aun así, se ha estimado que si no se toman medidas preventivas, el embalse terminará perdiéndose antes de 20 años.

Las cifras anteriores evidencian el importante problema que la sedimentación puede significar para la operación de la planta, por lo que desde las etapas iniciales de planeamiento se iniciaron estudios para evaluar el impacto del problema, así como para determinar medidas para alargar la vida útil del embalse.

OBJETIVOS

Entre los objetivos principales del estudio es primero mostrar la aplicación práctica de diversos métodos para la estimación del acolmatamiento de un embalse; la definición de estructuras para manejo de los sedimentos; la puesta en práctica de políticas de operación para disminuir el impacto de los sedimentos; y los resultados iniciales de la operación de la central.

ARRASTRE DE SEDIMENTOS

Las fuentes de sedimentos que ingresarán al embalse del P.H. Angostura se pueden clasificar en tres tipos:

- Sedimentos en suspensión.* Se trata de partículas con diámetros menores a 1 o 2 mm que la corriente arrastra en forma suspendida, y que provienen de la erosión de los suelos que forman la cuenca, así como de deslizamientos o movimientos en masa que la lluvia arrastra hasta los cauces.
- Sedimentos en suspensión debido a limpiezas del embalse de Cachí.* Se trata también de partículas finas que tienen su origen en las vaciados anuales que se realizan en dicha planta, localizada unos 15 km aguas arriba del embalse de Angostura.
- Sedimentos gruesos o carga de fondo.* Se trata de partículas de 2 mm en adelante que son arrastrados por la corriente y que esencialmente se deslizan por el fondo del río. En avenidas grandes, ríos de fuerte pendiente como el Reventazón son capaces de arrastrar gravas y bolones decimétricos.

De estas tres fuentes de sedimentos la última constituye alrededor del 10% del total. Estos sedimentos gruesos necesariamente se van a depositar en el embalse, en su parte aguas arriba, y es poco lo que se puede hacer para evitar su deposición, excepto por el eventual uso de medios mecánicos de remoción.

De interés principal para efectos de este estudio son los sedimentos en suspensión del tipo a) y b). En cuanto a los sedimentos en suspensión del punto a) una estimación de la cantidad de sedimentos en suspensión histórica en el sitio de la estación Angostura, para el período 1967-2000, obtenida a partir de muestreos de sedimentos y su correlación con los caudales líquidos.

Los arrastres en suspensión alcanzan entre 0.6 y 20 millones de toneladas. Este se debe a que el arrastre en suspensión es una función potencial del caudal, y en años muy húmedos, tales como el 69-70 y el 70-71, el arrastre resulta 4 o 5 veces mayor que en años promedio. De hecho, 1 o 2 avenidas extraordinarias, como las ocurridas en dichos años, son capaces de arrastrar en pocos días tantos sedimentos como los que ocurren en todo un año de escorrentía normal. Los caudales líquidos más frecuentes oscilan entre 50 y 130 m³/s (el caudal medio es 101 m³/s), y constituyen más del 67% de la escorrentía anual. Sin embargo, estos caudales prácticamente no aportan arrastre sólido, pues contribuyen con apenas un 25% del arrastre. Este arrastre empieza a ser significativo para caudales mayores a 100 m³/s. Los lavados de Cachí contribuyen en cerca de un 22% de los sedimentos en suspensión.

Como se mencionó anteriormente, los vaciados de limpieza del embalse de Cachí contribuyen en casi 500,000 toneladas anualmente de sedimentos en suspensión. En octubre de 1973 se decidió vaciar el embalse utilizando la descarga de fondo. Esta operación fue muy exitosa, por lo que se ha continuado realizándola casi todos los años, durante la época lluviosa. Hasta el año de 2002, el embalse se había vaciado en 24 ocasiones. Esto ha permitido descargar una gran parte de los sedimentos acumulados, y mantener el volumen del embalse, que se estima es actualmente de unos 48 millones de m³.

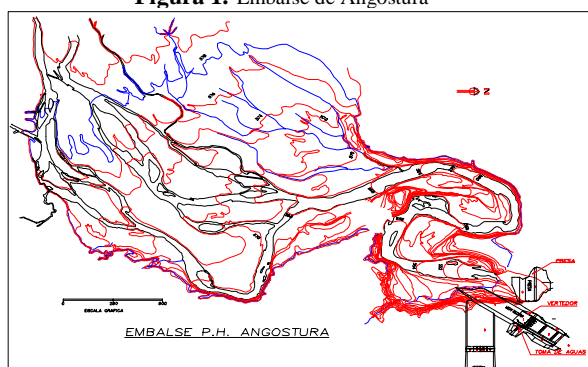
Durante estas operaciones de vaciado, se descarga una onda de sedimentos después del vaciado completo del embalse

durante un lapso de 3 a 5 horas, cuando la concentración de sedimentos alcanza un pico del orden de los 300 000 - 400 000 ppm. Esta onda toma unos 220 minutos en llegar desde la presa de Cachí a la Estación Angostura. Sin embargo, a lo largo de este trecho el pico de sedimentos se amortigua, y la concentración disminuye a valores del orden de 150 000 ppm. Aún así, durante las primeras 12 horas luego de vaciado de octubre de 1993, llegaron a la Est. Angostura casi 300 000 toneladas. Después de este pico de sedimentos, el arrastre continúa de forma importante por 1 o 2 días, aunque con concentraciones menores.

SEDIMENTACION EN EL EMBALSE

La Fig. 1 muestra una planta del embalse. Como se observa, una gran parte del embalse útil se encuentra en la zona plana aguas arriba, en donde de forma natural el río ha formado ramificaciones. Esta zona se encuentra en su gran mayoría entre las cotas 570 y 577 msnm. A su vez, es la parte del embalse en la que el flujo disminuye su velocidad, y en donde con más certeza se depositarán los sedimentos que ingresen al embalse.

Figura 1.-Embalse de Angostura



El cálculo de la forma en que se depositan los sedimentos a lo largo de los años de operación es bastante complicado, debido a la incertidumbre en cuanto al ingreso real de sedimentos, que como se expuso es muy variable año a año, y principalmente por la geometría del embalse, en el cual los flujos serán tridimensionales, y por lo tanto muy difíciles de modelar o calcular. A pesar de lo anterior, se aplicaron 4 tipos de cálculos para estimar como evolucionará el embalse, mediante los siguientes métodos:

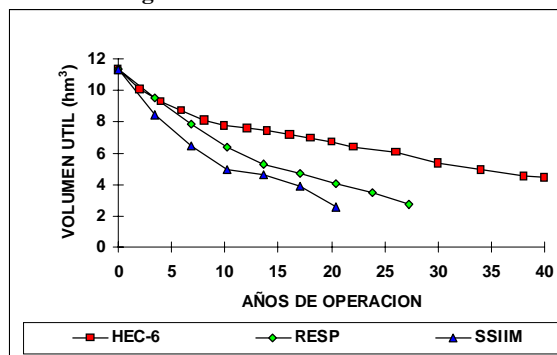
- Método semi-empíricos de Brune-USBR
- Método unidimensional HEC-6 del Corps of Engineers
- Método bidimensional RESP (Lovoll 1994)
- Método tridimensional SSIIM (Lovoll 1994)

Con diferencias lógicas por las diferentes metodologías, estos cálculos indican que si no se realizan limpiezas en el embalse, ni se opera de forma especial, el volumen útil se perderá en un tiempo que varía entre 12 y 25 años. La Fig. 2 muestra la variación del volumen útil, bajo la suposición de un arrastre anual de 1.5 millones de toneladas, valor que es apenas un 48% del promedio calculado para todo el registro, de 3.1 millones de toneladas, aunque similar al promedio que resulta de excluir los años 67 al 70, que son muy superiores al promedio.

OPERACIÓN DEL EMBALSE

Como resultado de la simulación se propusieron tres políticas de operación que deberán seguirse con el fin de minimizar el impacto de la sedimentación en el embalse:

Figura 2.-Variación del Volumen Util



- operación a niveles bajos durante la época húmeda,
- vaciado y limpieza del embalse, y
- establecimiento de un sistema de monitoreo continuo de la evolución de la sedimentación en el embalse.

El objetivo de la operación a niveles bajos en la época húmeda es minimizar la deposición de sedimentos en el volumen útil del embalse, entre las cotas 577 y 570 msnm, puesto que cuando se opera en estas cotas, las deposiciones ocurrirán en la zona aguas arriba del embalse, muy ancha y de poca profundidad. En esta zona las limpiezas anuales mediante el vaciado del embalse no serán efectivas para arrastrar los sedimentos que se depositen.

Según estimaciones, con esta política de operación se logra una disminución del 50% en la deposición de sedimentos en el volumen útil del embalse, su vida útil se extenderá por lo menos 30 años. Con esta operación, la deposición de sedimentos continuará en el volumen útil durante unos 10 a 15 años a un ritmo más o menos constante. Mientras tanto, el volumen muerto disminuirá rápidamente y eso ocasionará menor eficiencia de atrape en el embalse. Cierta evacuación de sedimentos ocurrirá durante los vaciados de limpieza, que se lleven a cabo en sincronía con las limpiezas de Cachí. Luego de cierto tiempo, será necesario hacer una limpieza anual adicional en Angostura, para proteger la toma contra la acumulación excesiva de sedimentos.

Para tratar de estimar la efectividad de la limpieza mediante las compuertas de fondo, se empleó un modelo semi-empírico de erosión retrogresiva cuya teoría se encuentra en detalle en Fan & Morris. Los cálculos indican que luego de unas 40 horas de limpieza, el cauce de erosión se extiende unos 2.0 km aguas arriba, y la cantidad erosionada excede las 400 000 toneladas.

CONCLUSIONES

Los estudios realizados permitieron definir una serie de medidas que extenderán la vida útil del embalse. Entre ellas se menciona la operación a niveles bajos en la época húmeda y la realización de vaciados de limpieza ("flushing"). Los sondeos realizados antes y después de estas operaciones han mostrado una evaluación satisfactoria de la pérdida de volumen. Entre octubre del 2000 y mayo del 2002, el embalse había perdido cerca de un 3% de su volumen total.

En el vaciado del año 2002, la carga final que se registró, una vez cuantificados todos los muestreos, fue 1,068,424 ton. En comparación, en el año 2000 la carga total fue de 329,000 ton y en el 2001 de 662,000 ton, lo cual evidencia el aumento que se ha venido dando en la cantidad desalojada.