

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA
XI CONGRESO CHILENO

EFICIENCIA DE ATRAPAMIENTO, TASA DE SEDIMENTACION ANUAL
Y VIDA UTIL DEL EMBALSE PANGUE

VICTOR AROS A. (1)
FRANCISCO GUINEZ H. (2)

RESUMEN

Como complemento a cálculos estimativos realizados por ENDESA para determinar los sólidos totales afluentes al Embalse Pangue, se plantean y aplican seis fórmulas empíricas para determinar la eficiencia de atrapamiento de los sedimentos que llegan al citado embalse, así como su tasa de sedimentación anual y vida útil.

(1) Ingeniero Civil, Prof. Asoc. Fac. Ingeniería U. de Concepción
(2) Ingeniero Civil. Universidad de Concepción

INTRODUCCION

La depositación de sedimentos en un embalse es un fenómeno de gran importancia en la ingeniería hidráulica, de tal forma que un adecuado conocimiento y evaluación de este proceso proporciona considerables ventajas y beneficios en el diseño y operación de un proyecto de embalse.

Cuando una presa es construida en un río para formar un embalse, la velocidad del flujo en la sección transversal del escurrimiento se reduce, teniendo lugar la depositación del sedimento transportado por la corriente. Una estimación de la tasa de sedimentación, de la cantidad y ubicación de los sedimentos es un aspecto muy importante de determinar ya que afecta la capacidad de almacenamiento y la altura de ubicación de las estructuras de descarga.

En general, la construcción de una represa altera el equilibrio natural del río donde se ubica a causa de los cambios que se originan en las características de las descargas y alteraciones en la capacidad de transporte de los sedimentos.

Para calcular cuál será la tasa de sedimentación anual o determinar el volumen de sedimento acumulado anualmente, primero se debe conocer la cantidad de sedimento que llega al embalse, ya sea como carga de fondo o como sedimento en suspensión. Todo el material proveniente del arrastre de fondo será retenido por el cuerpo de agua, en cambio sólo una fracción del sedimento en suspensión quedará en el embalse, la que se determina usando seis fórmulas empíricas para calcular la eficiencia de atrapamiento o porcentaje del sedimento total en suspensión que llega al embalse y que será retenido.

Finalmente, se calcula la vida útil del Embalse Pangue, entendida ésta como el tiempo durante el cual el embalse se llena con sedimentos hasta un punto tal que no le es posible cumplir con los objetivos para los que fue proyectado; en este caso, se considera el tiempo transcurrido hasta que los sedimentos ocupen la mitad del volumen total del embalse.

METODOLOGIAS

1) ESTIMACION DEL SEDIMENTO QUE LLEGA AL EMBALSE

La información referente al aporte del material sólido que llegaría a la Central Pangue, se obtuvo del estudio realizado por ENDESA (ENDESA, 1988) cuyas metodologías y resultados son los que se indican:

- El gasto sólido en suspensión se estimó por dos métodos, el primero utilizando la estadística sedimentométrica del río Bio-Bio en la estación de medición de San Pedro, obtenida a partir de muestras diarias tomadas en la orilla del río; y el segundo estableciendo una curva de descarga del sólido en suspensión empleando una medición conjunta, en la sección, del sólido y del líquido movilizados y de la curva de duración general del caudal medio diario.

El primer método arroja el valor promedio, $G_{ss} = 0.471 \times 10^6$ Ton/año y el segundo, $G_{ss} = 1.517 \times 10^6$ Ton/año. Este último ha sido considerado como más representativo en atención a las características de la hoya hidrográfica y a estudios realizados con anterioridad (ENDESA, 1988).

- El arrastre de fondo como promedio anual ha sido estimado por la conocida fórmula de Meyer-Peter y Müller, y la curva de duración del caudal líquido diario obteniéndose el valor de $G_{sf} = 0.238 \times 10^6$ Ton/año.

2) ESTIMACION DEL SEDIMENTO RETENIDO EN EL EMBALSE

La acumulación de sedimento en un embalse dependerá de la proporción de sedimento afluente que será retenido. Esta variable puede ser estimada a través de la llamada "eficiencia de atrapamiento" que se define como la relación entre la cantidad de sedimento depositado y el total del sedimento que llega al embalse. Depende básicamente de la velocidad de caída de la partícula y del flujo de agua a través del embalse. Otros factores que también afectan a la eficiencia de atrapamiento son el tamaño y edad del embalse, tipo de estructuras de desagüe y forma de operación. Los métodos desarrollados para la estimación de la eficiencia de atrapamiento tienen un carácter netamente empírico y están basados en las mediciones efectuadas en un gran

número de embalses. A continuación se describen seis métodos:

(i) Metodo de Brown

$$EA = 100 \left[1 - \frac{1}{1 + 0.1 V/AD} \right] \quad (1)$$

EA : eficiencia de atrapamiento (%)

V : capacidad del embalse (m³)

AD : área drenada regulada por el embalse (há)

(ii) Metodo de Brune. Basado en información recopilada de 44 embalses Brune (U.S.Bureau of Reclamation, 1977) desarrolló curvas envolventes semi-logarítmicas entre la eficiencia de atrapamiento y la relación volumen embalse/volumen afluente anual al embalse (Figura N^o 1).

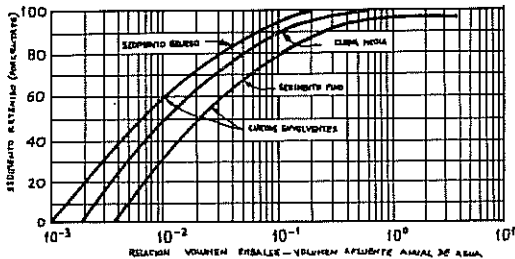


Figura N^o 1 Curva de Eficiencia de Atrapamiento Brune (Lopez, 1978)

(iii) Metodo de Churchill. Usando la información de los embalses del Valle de Tennessee (USA), M.A.Churchill desarrolló una curva logarítmica entre el porcentaje de sedimento que pasa a través de la presa y el índice de sedimentación, definido como el cociente entre el periodo de retención y la velocidad media a través del embalse (Figura N^o 2). El periodo de retención se obtiene como la capacidad del embalse dividido por el caudal medio diario afluente. La velocidad media a través del embalse se calcula dividiendo la sección transversal media por el caudal medio diario afluente. La sección transversal media se obtiene como el cociente entre la capacidad y la longitud media del embalse.

(iv) Metodo de Karaushev. (Lopez, 1978). A.V.Karushev desarrolló una fórmula para el cálculo de la eficiencia de atrapamiento:

$$EA = 1 - \left[1 - \omega \right] e^{\frac{-\phi}{1-\omega}} \quad (2)$$

EA : eficiencia de atrapamiento ($^{\circ}/\%$)

ω : relación volumen embalse/volumen afluente anual

$$\phi = \frac{V_c T_s}{H} \quad (3)$$

V_c : velocidad de caída del sedimento transportado determinada por:

$$V_c = F_1 \sqrt{\left[\left(\frac{\gamma_s}{\gamma} \right) - 1 \right] g d} \quad (4)$$

en que:

$$F_1 = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36 \nu^2}{g d^3 \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)}} - \sqrt{\frac{36 \nu^2}{g d^3 \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)}} \quad (5)$$

γ_s : peso específico de la partícula de sedimento

ν : viscosidad cinemática del agua

d : diámetro medio del sedimento que entra al embalse

H : profundidad media del embalse

T_s : periodo medio anual durante el cual funciona el vertedero, obtenido del balance de caudales entrantes y salientes al embalse, mensualmente, de acuerdo a la forma de operación que se puede lograr con el caudal medio mensual según la operación de la central.

ϕ : parámetro que depende de las características del flujo, del cuerpo de agua y del sedimento transportado.

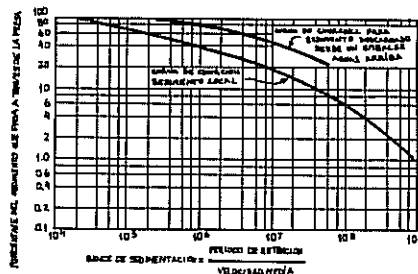


Figura N^o 2 Curva de Eficiencia de Atrapamiento Churchill, (Lopez, 1978)

(v) Metodo de Borland (Shen, 1971). Borland desarrolló un procedimiento para calcular la eficiencia de atrapamiento de un

embalse aplicando los resultados experimentales obtenidos por H. Einstein:

$$EA = 1 - e^{-\frac{1.055 \ell V_c}{V d}} \quad (6)$$

EA : fracción del material depositado en $\frac{0}{4}$.

ℓ : longitud de la cuenca de sedimentación.

V : velocidad media del flujo en el embalse.

d : profundidad media del agua.

V_c : velocidad de caída de la partícula.

(vi) Método de Raush-Heinemann (Petts, 1984). Utilizando la información de cuarenta y ocho tormentas y tres embalses, los autores desarrollaron una regresión múltiple para predecir la eficiencia de atrapamiento:

$$EA = \frac{100}{e^{15.6 e^{-0.48TR} + 0.92 \ln Q_p + 0.71 \ln V_t - 0.30 \ln PS - 1.01 \ln V - 0.49 \ln AD}} \quad (7)$$

EA : eficiencia de atrapamiento (%)

Q_p : caudal peak para el periodo en estudio (m^3/s).

V_t : volumen total que llega al embalse, por unidad de área drenada (cm), durante

PS : producción de sedimento (ton/há).

V : volumen de almacenamiento del embalse, por unidad de área drenada (cm).

AD : área drenada (há).

TR : tiempo de retención (días)

Este método se utilizará considerando parámetros mensuales.

3) PESO ESPECIFICO DE LOS DEPOSITOS DE SEDIMENTO

La información de la descarga de sedimentos está normalmente registrada en términos de peso, es decir, toneladas por día o por año. Para utilizar esta información en el cálculo de la pérdida de almacenamiento en los embalses, es necesario convertir los valores de peso a volúmenes.

Los factores más influyentes en el peso específico del sedimento que se deposita en un embalse son:

- La forma de operación del embalse
- La textura y tamaño de las partículas de sedimento
- La tasa de compactación y consolidación

- Acción de las corrientes densas, pendiente del cauce afluente y vegetación en la cabecera del embalse.

Basado en los resultados de los análisis del peso específico y distribución de tamaño de 1316 muestras, Lara y Pemberton (U.S.Bureau of Reclamation, 1977) desarrollaron un método para estimar el peso específico inicial de los depósitos de sedimento cuando se conoce el tamaño de los granos y la operación propuesta del embalse, de acuerdo al esquema mostrado por el Cuadro N^o 1.

Cuadro N^o 1 Formas de operación de un embalse

TIPO	FORMA DE OPERACIÓN DEL EMBALSE
1	sedimento siempre o casi siempre sumergido
2	moderado a considerable descenso anual del nivel
3	embalse normalmente vacío
4	sedimento del lecho del río

Fuente : U.S.Bureau of Reclamation, 1977

Una vez que se ha elegido el tipo de embalse, el peso específico inicial de los depósitos de sedimento se puede estimar de:

$$\gamma_i = W_c p_c + W_m p_m + W_s p_s \quad (8)$$

γ_i : peso específico del sedimento considerado un año después de su depositación.

p_c, p_m, p_s : porcentajes de arcilla, limo y arena en forma respectiva.

W_c, W_m, W_s : coeficientes de arcilla, limo y arena que pueden obtenerse del Cuadro N^o 2 propuesto por los autores:

Cuadro N^o 2 Coeficientes para el cálculo del peso específico

TIPO EMBALSE	W_c (Kg/m)	W_m (Kg/m)	W_s (Kg/m)
1	416	1121	1554
2	560	1137	1554
3	641	1153	1554
4	961	1169	1554

Fuente : U.S.Bureau of Reclamation, 1977

La ecuación (9) que se indica:

$$\gamma_T = \gamma_i + 0.4343 K \left[\frac{T}{T-1} (\log_e T) - 1 \right] \quad (9)$$

puede utilizarse para determinar el peso específico promedio de todo el sedimento depositado en los T años de operación en que:

γ_T : peso específico después de T años de operación del embalse

γ_i : peso específico inicial.

K : constante que depende del tipo de operación del embalse y

del analisis de tamaño del sedimento.

La constante K se obtiene del Cuadro N^o 3.

Cuadro N^o 3 Constante K para el cálculo del peso específico

TIPO DE EMBALSE	Arena (kg/m ³)	Limo (kg/m ³)	Arcilla (kg/m ³)
1	0	91	256
2	0	29	135
3	0	0	0

Fuente : U.S.Bureau of Reclamation, 1977

4) TASA DE SEDIMENTACION ANUAL Y VIDA UTIL DEL EMBALSE PANGUE

La tasa de sedimentación anual se calcula dividiendo el material que transporta el río por su respectivo peso específico como muestra la ecuación (10).

$$TS = \frac{G_{SF}}{\gamma_a} + \frac{G_{SS} \quad EA}{\gamma_s} \quad (10)$$

en que:

TS = tasa anual de sedimentación (m³/año)

G_{SF} = arrastre de fondo (Kg/año) = 0.238 X 10⁶ Ton/año

G_{SS} = sedimento en suspensión (Kg/año) = 1.517 X 10⁶ Ton/año

EA = eficiencia de atrapamiento

γ_a = peso específico del arrastre de fondo (Kg/m³) e igual a 2200 kg/m³ a los 100 años. Según recomendación de Vanoni (Vanoni, 1962)

γ_s = peso específico del sedimento en suspensión (Kg/m³) a los 100 años.

La vida útil de un embalse se define como el tiempo durante el cual el embalse es llenado con sedimentos hasta un punto tal que no puede cumplir con los objetivos para los que fue proyectado. Ven Te Chow (Chow, 1971) y Borland (UNESCO, 1985) coinciden en señalar que un embalse ha completado su vida útil cuando su capacidad o volumen total se ha reducido a la mitad, es decir:

$$VIDA UTIL = 0.5 \frac{V}{TS} \quad (11)$$

en que:

V = volumen total embalse (m³)

TS = tasa de sedimentación anual (m³/año)

INFORMACION BASICA Y PROCESADA UTILIZADA PARA LOS CALCULOS

Los valores numéricos utilizados para la determinación de la eficiencia de atrapamiento, tasa de sedimentación anual y vida útil del Embalse Pangue según los métodos anteriores son los siguientes:

Capacidad del embalse	$V = 175 \times 10^6 \text{ m}^3$
Area drenada por el embalse	$AD = 0.543 \times 10^6 \text{ há.}$
Caudal medio anual	$Q_a = 290 \text{ m}^3/\text{s}$
Volumen afluente anual al embalse	$V_a = 9.15 \times 10^9 \text{ m}^3$
Periodo de retención	$V/Q_a = 603448 \text{ s}$
Longitud media del embalse	$L = 14.9 \text{ Km}$
Sección transversal media	$A = V/L = 11745 \text{ m}^2$
Velocidad media	$V_m = Q_a/A = 0.00247 \text{ m/s}$
Indice de sedimentación	$I.S. = 24.4 \times 10^6$
Peso específico del sedimento	$\gamma_s = 2.65$
Diámetro medio del sedimento (Vanoni, 1962)	$d = 0.02 \text{ mm}$
Velocidad de caída del sedimento	$V_c = 3.6 \times 10^{-4} \text{ m/s}$
Periodo medio anual de funcionamiento del vertedero	$T_s = 1068 \text{ hr}$
Profundidad media anual del embalse	$H = 34.5 \text{ m}$

En el Cuadro N^o 4 se informan los parámetros para el cálculo de la eficiencia de atrapamiento según Raush-Heinemann:

Cuadro N^o 4 Parámetros para cálculo de eficiencia de atrapamiento

MESES	PRODUCCION SEDIMENTOS (miles)ton	PRODUCCION ESPECIFICA ton/ha	CAUDAL MEDIO m/s	VOLUMEN TOTAL cm	CAUDAL PEAK m/s	TIEMPO RETENCION dias
ABR	21.2	0.039	94	4.49	246	21.5
MAY	585.6	1.078	238	11.74	852	8.5
JUN	186.5	0.343	361	17.23	931	5.6
JUL	127.4	0.235	410	20.22	847	4.9
AGO	136.5	0.251	366	18.05	806	5.5
SEP	40.9	0.075	360	17.18	662	5.6
OCT	91.0	0.168	472	23.28	703	4.3
NOV	100.1	0.184	478	22.82	737	4.2
DIC	65.2	0.120	328	16.18	661	6.2
ENE	75.8	0.140	170	8.39	282	11.9
FEB	68.3	0.126	119	5.30	177	17.0
MAR	18.2	0.034	88	4.34	143	22.9

TOTAL = 1517.0

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

El Cuadro N^o 5 y la Figura N^o 3 muestran la variación mensual de la eficiencia de atrapamiento, donde se aprecia que el mayor porcentaje de retención ocurre durante los meses en que el caudal medio mensual es menor, según se indica en el Cuadro N^o 4. Esto también concuerda con la tendencia que sigue el tiempo de retención.

En el Cuadro N^o 6 y en las Figuras N^o 4, 5 y 6 se indica un resumen de los resultados obtenidos según los diferentes métodos. Se puede apreciar una variación de hasta un 40 % entre los métodos de cálculo de la eficiencia de retención, lo que pone de manifiesto lo inadecuado de algunos de estos métodos empíricos para evaluar la sedimentación en el embalse Pangue.

Cuadro N^o 5 Eficiencia de atrapamiento mensual según R & H

MESES	PRODUCCIÓN SEDIMENTOS x 10 ⁹ ton	EFICIENCIA DE ATRAPAMIENTO %	SEDIMENTO RETENIDO x 10 ⁹ ton
ABR	21.2	98.9	21.0
MAY	585.6	91.8	537.5
JUN	186.5	73.7	137.5
JUL	127.4	64.8	82.6
AGO	136.5	70.8	96.7
SEP	40.9	61.2	25.0
OCT	91.0	56.0	51.0
NOV	100.1	56.9	57.0
DIC	65.2	70.0	45.7
ENE	75.8	94.4	71.5
FEB	68.3	98.5	67.3
MAR	18.2	99.3	18.1

TOTAL = 1517.0

1211.0

Cuadro N^o 6 Resumen de resultados según los diferentes métodos.

INVESTIGADOR	EFICIENCIA ATRAPAMIENTO %	SEDIMENTO RETENIDO (millones) ton/año	TASA DE SEDIMENTACIÓN (millones) m ³ /año	VIDA UTIL (años)
BROWN	97	1.475	1.32	66
BRUNE	60	0.91	0.86	102
CHURCHILL	87	1.32	1.20	73
KARASHEV	57	0.86	0.82	107
BORLAND	61	0.931	0.87	100
RAUSH & HEINEMANN	80	1.211	1.11	79

Figura 3 ATRAPAMIENTO MENSUAL segun Raush y Heinemann

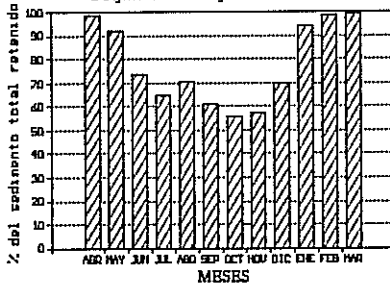


Figura 4 EFICIENCIA ATRAPAMIENTO embalse Pangue

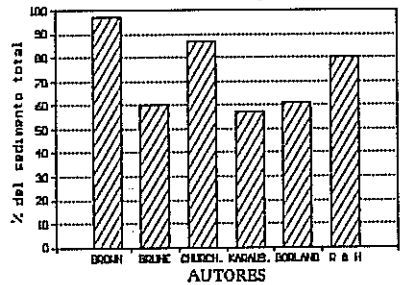


Figura 5 SEDIMENTO RETENIDO embalse Pangue

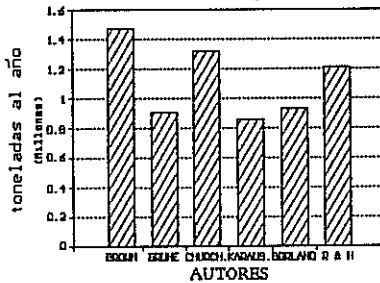


Figura 6 VIDA UTIL embalse Pangue

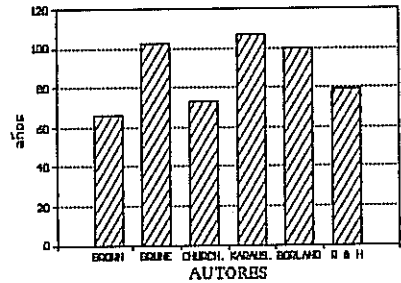


Figura 7

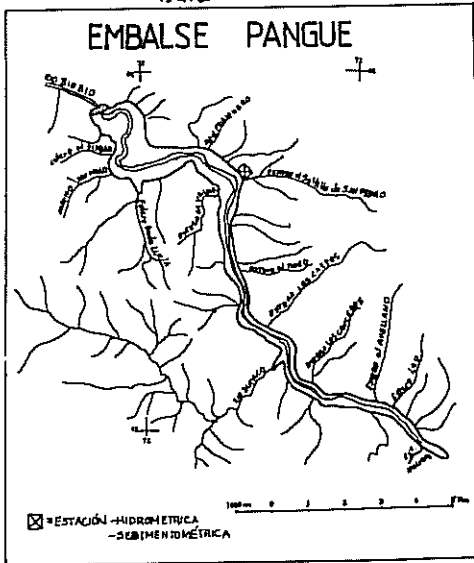
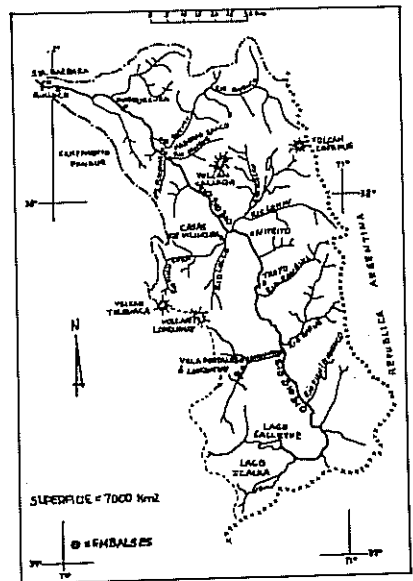


Figura 8 CUENCA DEL ALTO BIO-BIO



CONCLUSIONES

1. El fenómeno de la sedimentación en embalses ha adquirido una gran importancia a nivel mundial, ya sea desde el punto de vista económico como de conservación del ambiente, por lo cual en muchas partes del mundo se estudia en forma exhaustiva llegando a desarrollarse modelos matemáticos que pueden determinar la ubicación de los depósitos de sedimento dentro de la cuenca del embalse. Un embalse altera fundamentalmente el régimen de transporte de sedimentos: ocurriendo depositación en el embalse y aguas arriba de él, y erosión en los tramos del río aguas abajo de la presa, llegando a producirse socavamiento de las estructuras existentes en el cauce o bien se produce una alteración del nivel freático en el valle aguas abajo del embalse.

2. La pérdida de la capacidad de almacenamiento en el embalse a causa de la sedimentación debería ser evaluada e incluida en los estudios socio-económicos que justifican la factibilidad del proyecto, debido a que los impactos de que el embalse se llegue a convertir en un lago de barro serán sentidos solo hasta 80 o tal vez 100 años después de la construcción de la represa.

3. A pesar de que se conocen a ciencia cierta los fenómenos que regulan la distribución del sedimento dentro del embalse, aún no se han desarrollado modelos físicos o matemáticos que permitan determinar en forma cuantitativa la magnitud de los procesos. La aparición e influencia de las corrientes inducidas por el viento y las diferencias de temperatura que regulan las corrientes de sedimento que llegan al embalse, son los fenómenos que presentan un conocimiento más acabado llegando incluso a existir métodos de cálculo desarrollados para una estimación cuantitativa.

4. La información referente los depósitos de sedimento y a su calidad es importante para saber que medidas de recuperación de la capacidad de almacenamiento poner en práctica, tales como, dragado o lavado de los sedimentos. En el primer caso el uso de los depósitos de sedimento como abono para mejorar el terreno agrícola (sedimento fino) o bien su uso como material de construcción (material grueso) puede ayudar a reducir el alto costo que implica el dragado; en el segundo caso el impacto

ecológico de esta medida en los tramos del río aguas abajo de la presa, es el factor limitante.

5. El fin último de todo embalse es llegar a llenarse con sedimentos, excepto si su capacidad útil puede mantenerse, en el largo plazo, haciendo uso de las medidas adecuadas. Por lo tanto es importante determinar, en la etapa de planificación de la estructura, la vida útil del embalse, la que depende de la tasa de acumulación de la cantidad de sedimento y de la eficiencia de atrapamiento, la que a su vez depende del tamaño de este.

6. Los métodos de medición del sedimento aún son imperfectos: la carga de fondo no puede ser medida con precisión en cauces naturales, especialmente durante grandes crecidas que es cuando este sedimento se mueve. En cambio la carga suspendida se puede medir con apreciable precisión. Una determinación de la distribución del tamaño de granos del sedimento suspendido es esencial para los cálculos, pero este aspecto no se hace como una investigación rutinaria.

7. Considerando que la tasa de acumulación de los sedimentos no puede ser predecida con exactitud, es recomendable que el volumen y peso de los sedimentos acumulados sea medido durante intervalos específicos de tiempo en el curso de la vida del embalse. Para lograr este objetivo es necesario que durante la etapa de diseño del proyecto del embalse se elabore un plan que permita llevar a cabo estas mediciones.

8. El procedimiento básico para la ejecución de una medición en un embalse a cambiado poco, pero se han producido grandes avances en cuanto a mejorar la precisión de los instrumentos (electrónicos) utilizados y a la cantidad de trabajo que requieren los métodos de levantamiento. Es importante que los procedimientos y técnicas usadas en cada medición sean cuidadosamente descritos y documentados con el fin de que trabajos posteriores puedan desarrollarse de manera similar, de tal forma de producir resultados comparables.

9. La predicción de la sedimentación es esencial para poder tomar decisiones en las etapas de planificación, diseño y operación del proyecto. La selección del método de predicción depende en gran medida de los objetivos de las decisiones para la cual la predicción es hecha.

10. Los métodos empíricos, basados en el concepto de la eficiencia de atrapamiento, sólo satisfacen los requerimientos de la etapa preliminar del proyecto del embalse. Ellos se limitan a estimar un volumen global de los sedimentos que quedarán retenidos durante un periodo de tiempo largo y en algunos casos proporcionan una posible idea de la ubicación de los depósitos de sedimento dentro del embalse.

11. Para el embalse Pangue se calculó la eficiencia de atrapamiento usando varios métodos empíricos, encontrándose valores de esta variable desde 97 % (método de Brown) a un 57 % (método de Karaushev). Esto se debe a que en el presente informe se aplicaron todos los métodos que determinan la eficiencia de atrapamiento, aunque algunos de ellos no fuesen convenientes de aplicar en este caso; como ser el método de Brown; el método de Churchill, que se recomienda principalmente para embalses semi-secos; los métodos de Karaushev y Borland necesitan un análisis preciso de la distribución del tamaño de granos del sedimento en suspensión.

12. Los métodos más recomendables para el cálculo de la sedimentación en el embalse Pangue son el método de Brune y el de Raush y Heinemann que entregan un valor de 60 % y 80 % de eficiencia de atrapamiento respectivamente. Sin embargo, se considera que el método de Raush y Heinemann es el más conveniente ya que hace uso de todas las variables que usan los demás métodos (tiempo de retención, volumen del embalse, área drenada por éste, producción de sedimentos y caudal entrante) además de entregar un valor más acorde con las características que presenta el río Bio-Bio, el cual a pesar de ser un cuerpo lótico presenta depositación del sedimento en suspensión de origen glacial los meses de verano a lo largo de su cauce.

13. Finalmente, se recomienda elaborar un plan que permita estudiar el fenómeno de la sedimentación en el embalse Pangue, a través de mediciones de terreno. Para ello se podrían definir secciones transversales (aprovechando que aún no se completa su construcción) de tal forma de medir los cambios de elevación que presenten con el objetivo de determinar tasas de sedimentación anuales (o para cada cinco años).

REFERENCIAS

- 1) Chow, V.T., (Ed.) 1971. "Handbook of Applied Hidrology". Ed. McGraw Hill, New York.
- 2) ENDESA, 1988. "Central Pangué". Estudio de los Recursos Hidricos. Informe DICOI N^o 8/88. División de Estudios Hidrológicos.
- 3) Lopez, J.L., 1978. "Mathematical Modeling of Sediment Deposition in Reservoirs". Hydrology Papers, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- 4) Petts, G.E., 1984. "Impounded Rivers: Perspectives for Ecological Management". Wiley, Chichester, U.K.
- 5) Shen, H.W., (ED.) 1971. "Rivers Mechanics" 2 Vols. Water Resources Publication, Littleton, Colorado.
- 6) UNESCO, 1985. "Methods of Computing Sedimentation in Lakes and Reservoirs". A contribution to the Hidrologycal Programme.
- 7) U.S.Bureau of Reclamation, 1977. "Design of Small Dams". Whashington: U.S. Govt.Printt off.
- 8) Vanoni, V., 1962. "Curso de Sedimentacion". Laboratorio de Hidráulica. Universidad de Chile.