

Planificación del uso de las aguas en pequeños aprovechamientos hidroenergéticos subordinados al régimen de explotación de un embalse

Por GUILLERMO SALÉ HERRERA

DIRECCIÓN DE INVERSIONES

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS

Un instrumento para la planificación

Dentro de los propósitos de desarrollo de la hidroenergía en Cuba se encuentra el incremento de la generación de energía eléctrica por medio de pequeños aprovechamientos hidroenergéticos (PAH) ubicados a pie de presa. Como método para planificar el aprovechamiento de las aguas del embalse con dicho fin se ha utilizado el Balance Hidroeconómico del Embalse (BHE); éste permite llevar a parámetros energéticos el posible volumen de agua a suministrar a las turbinas hidráulicas del PAH, al seleccionarse como variable de control la carga del embalse, ya que ésta permite conocer la hiperanualidad en el almacenamiento de las aguas, garantizándose así la eficiencia con que deben trabajar los hidrogrupos en los PAH.



Fig. 1. PCH "Los Asientos", provincia Guantánamo.

Para ilustrar este procedimiento se escoge la pequeña central hidroeléctrica (PCHE) “Los Asientos” (Fig. 1), ubicada en el municipio San Antonio del Sur, provincia de Guantánamo. Ésta posee un hidrogrupo para la generación de energía eléctrica con una potencia instalada de 500 kW, compuesto por una turbina “Francis” acoplada a un generador sincrónico de excitación independiente (Tabla 1). El motivo de esta selección se debe a que en esta instalación los criterios seguidos durante la planificación del uso de las aguas no permitieron aprovechar racionalmente las disponibilidades del embalse.

Tabla 1.
Datos generales de la PCHE “Los Asientos”

Parámetros	Magnitud
Caudal promedio (m^3/s)	2,03
Carga máxima (m)	34,30
Potencia disponible (kW)	683,00
Energía disponible (MWh)	2 704,90
Potencia de la turbina (kW)	530,00
Potencia del generador (kW)	500,00

Las deficiencias fundamentales detectadas durante la planificación de la explotación de las PCHE a pie de presas que trabajan en régimen subordinado son:

–El plan de generación se confecciona sin considerar el escurrimiento real de la cuenca, los niveles del embalse ni las entregas comprometidas de acuerdo a la demanda de los usuarios.

–No se confecciona el espectro de eficiencia del hidrogrupo para la generación de energía eléctrica, donde se especifiquen los rangos de cada una de las variantes hidrotécnicas.

–No se elabora el plan diario de generación de energía eléctrica en correspondencia con los datos operativos de explotación del embalse para las condiciones particulares del día en cuestión.

Aplicación del Balance Hidroeconómico del Embalse

La PCHE “Los Asientos” tiene asociado el embalse de la presa del mismo nombre, cuyas características son:

- Nivel normal de agua – 173 m
- Nivel de aguas muertas – 149 m

- Nivel de azolve – 139 m
- Volumen total – $17,5 \times 10^6 m^3$
- Volumen útil – $17 \times 10^6 m^3$
- Volumen de azolve – $0,50 \times 10^6 m^3$
- Escurrecimiento medio anual – $30,7 \times 10^6 m^3$
- Pérdidas de carga en la tubería – 2,7 m
- Pérdidas hidráulicas – $1,35 \times 10^6 m^3$
- Entregas netas – $23 \times 10^6 m^3$
- Demanda contratada por los usuarios de la región – $20 \times 10^6 m^3$

Debido al régimen de subordinación de la PCHE, la cantidad de agua a suministrar a las turbinas depende de varios factores, entre ellos el escurrimiento de la cuenca, las pérdidas totales del embalse y las entregas comprometidas con los usuarios. El BHE se realiza efectuando una distribución no uniforme del volumen de agua a suministrar a las turbinas, en correspondencia con el escurrimiento anual, de forma tal que se garantice el almacenamiento hiperanual de las aguas de la cuenca, recomendándose que durante la explotación del embalse no se sobredimensionen las entregas de agua, debido a que el escurrimiento real de la cuenca es difícil de pronosticar en el año en cuestión, utilizándose para la planificación el escurrimiento de la cuenca para una probabilidad del 75 % según el estudio hidrológico de la presa. Una operación así garantiza, aunque no se conozca el escurrimiento real de la cuenca en el período estudiado, que el embalse mantenga los niveles adecuados sin comprometer las entregas planificadas. El agua posible a suministrar a las turbinas se calcula como:

$$V_g = \{ [(V_i + W_m) - \dot{A}P] - V_f \}$$

donde:

V_g : Volumen de agua para la generación (m^3)

V_i : Volumen inicial del embalse (m^3)

W_m : Escurrecimiento medio de la cuenca (m^3)

$\dot{A}P$: Pérdidas totales del embalse (m^3)

V_f : Volumen final del embalse (m^3)

Los valores de la distribución mensual de los escurrimientos de la cuenca con los valores de las entregas planificadas a los usuarios (Tabla 2) constituyen complementos básicos para los cálculos hidroeconó-

micos. El BHE considera la distribución mensual del escurrimiento de diseño para una probabilidad del 75 %, como el escurrimiento utilizado mensualmente para la planificación, en correspondencia con las entregas. Estos valores son modificados en la hoja de cálculo, cada mes, en función de los valores reales del escurrimiento de la cuenca, así como de los volúmenes de agua almacenados, obteniéndose a partir del balance de cada mes el agua posible a suministrar a las turbinas.

El volumen de agua posible a suministrar a las turbinas depende del volumen final que debe poseer el embalse al término del período analizado, tratándose en todos los casos que la carga de cálculo esté en correspondencia con los parámetros de eficiencia del hidrogrupo (Tabla 3), sin comprometer la demanda de los usuarios. En los casos que las especificaciones técnicas del hidrogrupo no se conozcan, se recomienda que la carga del embalse no sea inferior al 75 % de la carga nominal de las turbinas.

Especificaciones técnicas de la turbina instalada en “Los Asientos”:

- Carga máxima de la turbina: 35 m
- Carga nominal de la turbina: 30 m
- Carga mínima de la turbina: 17 m

- Gasto de diseño de la turbina: 2,03 m³/s
- Gasto mínimo de la turbina: 1,41 m³/s

Durante la confección del BHE se deben considerar los siguientes aspectos:

- Determinar los meses de mayor escurrimiento de la cuenca durante la explotación para incrementar el agua posible a suministrar a las turbinas sin comprometer el llenado del embalse.
- De mutuo acuerdo con los usuarios no se realizarán entregas de agua (gastos) inferiores al gasto de diseño de las turbinas instaladas en la PCHE en intervalos ininterrumpidos.
- Al concluir cada período evaluado se tomarán las medidas correctoras, en función del escurrimiento real, que permitan garantizar la característica hipe-ranual del embalse.
- La planificación hidroeconómica de la explotación del embalse debe asegurar que un por ciento de las aguas posibles a verter sean suministradas a las turbinas de la PCHE.
- Siempre que sea posible, las entregas de agua se realizarán de forma tal que coincidan con el horario donde la generación de energía cause más beneficios al sistema eléctrico.

Tabla 2.
Distribución de los escurrimientos con las demandas planificadas

Meses	Escurrecimiento (%)	Demanda (%)
Enero	4,89	9,69
Febrero	4,10	11,02
Marzo	3,89	11,47
Abril	3,00	9,37
Mayo	7,11	8,07
Junio	15,21	3,91
Julio	9,21	9,36
Agosto	6,11	8,07
Septiembre	7,58	6,07
Octubre	12,30	2,23
Noviembre	20,11	10,17
Diciembre	6,47	10,17

Tabla 3.
Eficiencia del hidrogrupo para diferentes estados de carga

Carga hidráulica (%)	Potencia instalada (kW)	Eficiencia de la turbina (%)	Eficiencia del generador (%)
100	530	89,40	93,80
90	477	89,10	93,75
75	398	87,00	93,70
50	265	79,00	93,00

Resultados obtenidos

En los resultados del BHE asociado a la PCHE “Los Asientos” (Tabla 4), aparecen los datos del balance para cada uno de los meses del año estudiado. El ciclo escogido corresponde con el año natural, aunque es común para los estudios hidrológicos comenzar el ciclo en el mes de noviembre, cerrándose sobre sí mismo. En el año estudiado el escurrimiento real se comportó de forma similar al escurrimiento medio anual de la serie hidrológica estudiada durante la tarea de proyección de la presa.

Con el volumen final e inicial del mes analizado se determina la carga promedio del embalse de la curva de cota contra capacidad. Conocido este valor, se calcula el agua posible a suministrar a las turbinas a partir del volumen total disponible en el mes, que se distribuye diariamente en función de las demandas de los usuarios para una entrega

Tabla 4.
Balace Hidroeconómico del Embalse asociado a la PCHE "Los Asientos" tomando como referencia el año 1999

Parámetros del embalse	Meses											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Volumen disponible primer día de cada mes ($10^6 m^3$)	16,898	16,592	16,055	15,455	14,594	14,940	16,538	17,500	17,138	16,752	16,447	17,129
Escurrimiento calculado para el año medio ($10^6 m^3$)	1,501	1,259	1,194	0,921	2,183	4,669	2,827	1,876	2,327	3,782	6,174	1,986
Entregas planificadas según régimen de explotación ($10^6 m^3$)	0,423	0,423	0,424	0,425	0,421	0,421	0,422	0,423	0,423	0,423	0,424	0,425
Pérdidas totales ($10^6 m^3$)	0,129	0,126	0,122	0,115	0,114	0,121	0,131	0,133	0,131	0,128	0,129	0,133
Volumen disponible no comprometido con los usuarios ($10^6 m^3$)	1,318	1,318	1,317	1,316	1,320	2,445	1,319	1,732	2,188	3,497	4,797	1,103
Volumen disponible a turbinar por la PCHE ($10^6 m^3$)	1,741	1,741	1,741	1,741	1,741	2,866	1,741	2,155	2,611	3,921	5,221	1,528
Volumen disponible último día de cada mes ($10^6 m^3$)	16,529	15,984	15,386	14,520	14,922	16,622	17,493	17,088	16,723	16,485	17,271	17,454
Carga promedio mensual (m)	172,90	172,55	172,00	171,18	171,30	172,00	173,08	173,35	173,00	172,80	173,00	173,50

igual al gasto de diseño de la turbina. Con estos elementos se determina el número de horas diarias para la generación de energía eléctrica. Las fórmulas propuestas para los cálculos de la energía eléctrica a partir de los parámetros hidroenergéticos de la PCHE son:

–Energía eléctrica generada

$$E = 9,81 \cdot \zeta_t \cdot \zeta_g \cdot Q_d \cdot H_c \cdot T_h$$

–Horas diarias de generación

$$T_h = V_g / (N_d \cdot Q_h)$$

donde:

E : Energía eléctrica generada por la PCHE (kW/h)

ζ_t : Eficiencia de la turbina hidráulica (pu)

ζ_g : Eficiencia del hidrogenerador eléctrico (pu)

H_c : Carga hidráulica de trabajo de la turbina (m)

T_h : Número de horas diarias de generación (h)

N_d : Número de días de generación

Q_h : Gasto de diseño de la turbina (m^3/s)

Los resultados fueron posibles porque el balance permitió que la carga real del embalse se comportara aproximadamente igual a la nominal del hidrogrupo y no se efectuaron entregas de agua a los usuarios inferiores al gasto de diseño de la turbina, siendo en todos los casos las entregas de forma ininterrumpida. La explotación del embalse fue tal que la eficiencia del hidrogrupo se comportó por encima del 75 %, además de eliminarse los posibles vertimientos. Desde el punto de vista práctico reducir los vertimientos por encima de un 70 % es una tarea difícil debido a la aleatoriedad del régimen de escurrimiento de la cuenca, que a su vez depende de las características de las precipitaciones en la región. Se debe destacar que los meses de mayor escurrimiento son utilizados como reguladores del volumen de las aguas embalsadas.

Para un llenado inicial del embalse de $16,9 hm^3$ en el período analizado, operando el hidrogrupo con una eficiencia de un 83,8 %, la energía eléctrica generada pudo haber sido de $1,34 GW/h/año$, para un incremento del 42,7 % en relación a la real generada (si se toman como referencia los datos reales de la explotación del embalse durante el año 1996 cuyas entregas se efectuaron en 1 963,7 ho-

ras), y una potencia instantánea promedio superior al 13 % de la obtenida, valor que asciende a 480 MW. Este incremento en la generación de energía eléctrica es posible porque la PCHE trabaja con una carga pro-

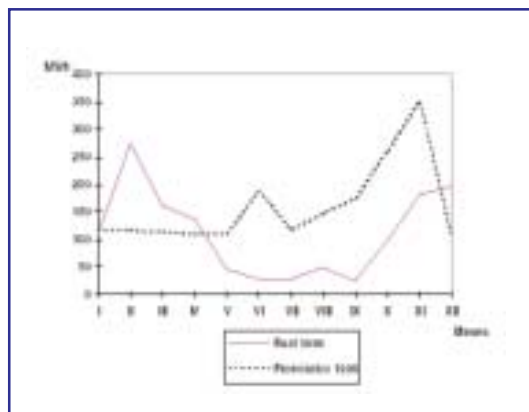


Fig. 2.
Gráfico de la generación de energía de la PCHE "Los Asientos".

medio de 29,0 m, siendo el gasto suministrado a las turbinas superior a 1,9 m³ (Fig. 2).

El estudio de la aplicación del BHE en "Los Asientos" ha demostrado que esta herramienta para la planificación de la explotación de las PCHE a pie de presa permite alcanzar un aumento en la eficiencia de éstas. **VH**

Bibliografía

- Behrens, W.Y y H. Wawranek (1994). *Manual para la preparación de los estudios de viabilidad industrial*. Viena, ONUDI.
- ELECTROBRAS (1990). *Manual de mini centrales hidroeléctricas*. Ministerio de Minas y Energía de Brasil, DNAEE.
- Taller Internacional de Hidroenergía (1996). *Conferencia sobre gestión empresarial de las pequeñas centrales hidroeléctricas*. Ciudad de La Habana, INRH.