

Modelo de evaluación de curvas de niveles de un embalse

Assesment model of level curves in a dam

ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ

Profesor titular del Centro de Estudios Hidráulicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

alfonso.rodriguez@escuelaing.edu.co

En este proyecto también participaron los ingenieros Germán Santos G., Héctor Matamoros R. y Octavio Arrieta, del Centro de Estudios.

Recibido: 25/07/09 Revisado: 18/08/09 Aceptado: 30/08/09

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

Resumen

En este artículo se presentan la formulación de una metodología general y un modelo computacional que construye curvas guía de niveles de operación de un embalse, cuya referencia es una demanda constante o variable dada.

Así mismo, a partir de una serie histórica o sintética, que también puede generar el modelo, es posible hacer múltiples análisis que resultan útiles en el proceso de decisiones en la operación de un embalse.

Adicionalmente, el modelo está en capacidad de evaluar la garantía hidrológica de los niveles de un embalse para una demanda establecida –si se considera una nueva hidrología cuya extensión puede ser de uno o varios años–, así como evaluar la bondad de una curva guía, proceso en el cual se determina, para la demanda establecida, qué desembalses adicionales se pueden realizar, período a período, para atender otro propósito.

Finalmente es posible, mediante un proceso de tanteo, fijar una curva guía óptima que encuentra el caudal máximo que se puede suministrar para satisfacer una cierta demanda, de tal manera que no se supere un nivel máximo establecido para la operación del embalse.

Palabras claves: curva guía, nivel de operación, bondad, garantía de suministro.

Abstract

This paper shows a general methodology and a computational model that creates guide curves of operation levels in a reservoir by referencing a given variable or constant demand.

The model was conceived-through a historical or synthetic series, which can also create the model-to make several useful analysis in the process of making decisions to operate a reservoir.

The model is also able to assess the hydrological assurance of the levels in a reservoir, corresponding to a given demand, taking in account a new hydrology, whose duration may be one or more years. Likewise, the model assesses the quality of a guide curve, a process in which what additional quantity of water is necessary to release to serve another purpose should be determined-period by period, for the established demand.

Finally, an optimal guide curve to find the maximum flow that can be supplied to meet a demand that does not overpass the maximum fixed level to operate the reservoir is possible to establish through trial and error.

Keywords: guide curve, level of operation, quality, supply assurance.

INTRODUCCIÓN

En desarrollo del Convenio de Cooperación Inter-institucional 9-07-33100-258-2004, suscrito entre la Empresa de Acueducto y Alcantarillado ESP de Bogotá y el Centro de Estudios Hidráulicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, se realizó la formulación de una metodología general y un modelo computacional para la elaboración de curvas guía de niveles de operación de un embalse. En este artículo se hace una presentación general de conceptos teóricos sobre operación de embalses y una descripción de los productos desarrollados.

En la primera parte de los estudios se ha evaluado la información hidrológica e hidrotopográfica del embalse de Chuza, con el fin de precisar y definir la información disponible para alimentar el modelo de evaluación de niveles de operación. En la parte hidrotopográfica se han efectuado los análisis correspondientes sobre las curvas actualizadas de superficie y capacidad del embalse de Chuza.

En la segunda parte se ha realizado una recopilación y análisis de la metodología sobre operación de niveles de un embalse, principalmente en la definición de criterios y variables. Este trabajo ha permitido desarrollar y elaborar un programa de computador en el lenguaje Visual Basic, con un formato de ventanas y la plataforma de la hoja de cálculo Excel. El programa elaborado consta fundamentalmente de nueve módulos estructurados de manera secuencial, con los cuales es posible construir, con base en una información hidrológica e hidrotopográfica, una o varias curvas guía de un embalse a nivel mensual, para atender una ley de demanda constante o variable, según el criterio de almacenamiento que se defina. A partir de las curvas guía calculadas, el modelo está en capacidad de evaluar la garantía hidrológica de los niveles de un embalse para una demanda establecida y considerar una nueva hidrología, cuya extensión puede ser de uno o varios años.

En la parte hidrológica se ha incorporado un módulo en el que es posible generar series sintéticas, con el propósito de hacer análisis a partir de una curva guía dada o para construir una nueva curva guía.

OPERACIÓN DE UN EMBALSE PARA SUMINISTRO DE AGUA

Un embalse que hay que operar con el fin de atender demandas para suministro de agua potable de ciudades, riego o producción de energía firme, usualmente se mantiene en niveles tan altos como sea posible, de tal manera que durante los períodos secos o muy secos este volumen de agua almacenada pueda utilizarse y se pueda garantizar el suministro exigido durante todo el tiempo.

Existen muchos factores que hacen que el análisis de la operación de un embalse no sea un problema sencillo, principalmente por las características aleatorias de los procesos hidrológicos, y por la definición y cuantificación de los propósitos de la operación que llevan al planteamiento de un problema de optimización.

En general, se pueden establecer diferentes reglas de operación, pero todas deben incluir las afluencias del embalse y los caudales efluentes que se deben suministrar para atender un cierto propósito en determinados períodos de tiempo. Por ejemplo, entre las políticas de operación de un embalse se acostumbra dividir el volumen útil para atender determinados propósitos u objetivos, mediante su parametrización, simulación u optimización.

Cuando se opera un embalse para suministro de agua potable, es necesario establecer una regla de operación simple que asegure que durante todo el tiempo, independientemente de la hidrología, se entrega la demanda establecida, bien sea constante o variable. Esa regla simple debe ser una curva guía de los niveles del embalse, o curva de referencia, de modo que en la operación del embalse se garantice que, en principio, sus niveles estarán siempre por encima de este nivel mínimo de referencia establecido y con lo cual se aseguraría el suministro establecido.

Por lo regular, en los estudios de operación de un embalse se pueden determinar las descargas óptimas con base en los volúmenes almacenados en diferentes períodos de tiempo, se puede estudiar la operación del embalse para atender variaciones de la demanda, se pueden definir reglas de operación para los periodos de hidrología extrema o diferentes combinaciones de usos conflictivos, como suministro de agua potable y amortiguamiento de crecientes simultáneamente.

Una curva guía de operación de un embalse para suministro de agua potable está conformada por el conjunto de volúmenes mínimos (cotas mínimas del nivel

en el embalse) requeridos (niveles o volúmenes diarios, semanales, mensuales), para que con unas condiciones hidrológicas dadas (una serie histórica o una serie sintética) se asegure con un cierto grado de confiabilidad el suministro y no se presenten déficits en el sistema. En caso de que se lleguen a presentar durante la operación del embalse niveles inferiores a los establecidos por la curva guía, habrá que modificar la operación del embalse (disminuir el caudal demandado, por ejemplo) para evitar su agotamiento en el evento de que se llegara a presentar una hidrología más crítica que aquella con la que se construyó la curva guía.

MÉTODOS DE CÁLCULO DE UNA CURVA GUÍA. CRITERIOS PARA SU UTILIZACIÓN

La metodología que se utiliza para construir una guía o referencia de operación de un embalse se basa en la ecuación del balance hídrico, en el que se deben tener en cuenta los propósitos para los cuales se quiere realizar la explotación.

En el detalle de este proceso metodológico se plantea un modelo basado en el balance hídrico, en el que mediante la suma o resta de las variables involucradas (básicamente hidrológicas y de demandas) se obtendrán, al final de cada período de tiempo fijado y para la serie de datos utilizada, unos niveles en el embalse que se podrán comparar con unos especificados para verificar si se cumple o no con los requerimientos establecidos.

Modelo del balance hídrico

Para el modelo del balance hídrico se utiliza, en cada intervalo de tiempo, la forma discretizada de la ecuación de continuidad. En el procedimiento se calcula, para un período de tiempo, la evolución de los niveles del embalse, iniciando con el primer registro de cada una de las series involucradas. Es decir,

$$V_{t+1} = V_t + \frac{Q_{a_t} + Q_{a_{t+1}}}{2} * \frac{\Delta t}{10^6} - \frac{Q_{e_t} + Q_{e_{t+1}}}{2} * \frac{\Delta t}{10^6} - Pérdidas \tag{1}$$

expresión en la que $t+1$ es el tiempo actual (generalmente un mes), t es el tiempo anterior, y:

V_{t+1} y V_t : volúmenes del embalse en los instantes $t+1$ y t , respectivamente (Hm^3).

$Q_{a_{t+1}}$ y Q_{a_t} : caudales afluentes en los instantes $t+1$ y t , respectivamente (m^3/s).

$Q_{e_{t+1}}$ y Q_{e_t} : caudales efluentes en los instantes $t+1$ y t , respectivamente (m^3/s).

Pérdidas: corresponden a las sustracciones que se presentan en el embalse, como las pérdidas por evaporación en su superficie y que pueden determinarse como

$\frac{A_t E_{t+1}}{10^3}$, expresión en la que A_t (km^2) es el área del embalse para el intervalo t y E_{t+1} (mm) es el valor de la evaporación en la superficie del embalse en el intervalo $t+1$. También se pueden considerar como pérdidas las de la infiltración en el vaso.

Para el proceso operativo se conocen la serie de afluencias, que puede ser la serie histórica de caudales que alimentan el embalse, o una serie sintética; la serie de efluencias, es decir, los consumos o demandas, que debe tener la misma extensión de la serie de afluencias y que puede ser constante o variable, y las pérdidas (evaporación o infiltración) que se van a considerar para el embalse. Se acostumbra iniciar el proceso de cálculo del balance hídrico con los datos más recientes de las series y realizar el proceso hacia atrás, hasta llegar al primer registro de cada una de las series involucradas. Adicionalmente, se debe suponer que al principio de este proceso de cálculo el volumen del embalse es el mínimo posible, es decir, el volumen correspondiente al embalse muerto. Se establece de esta manera que el proceso de cálculo del balance se inicia con la mínima disponibilidad de agua en el embalse, empezando con los datos más recientes de las series de afluencias y demandas. En estas condiciones, y definido un volumen mínimo del embalse para el último período, lo que se determina es el volumen que debe tener almacenado en el embalse en el lapso anterior para satisfacer la demanda del siguiente período, teniendo en cuenta que en ese intervalo llegará al embalse un volumen de agua de acuerdo con la hidrología disponible. Si en el proceso de cálculo se obtiene que el volumen es el volumen mínimo del embalse o uno menor, significa que no es necesario almacenar agua para satisfacer el suministro del período siguiente porque llegó al embalse más agua de la que se requería para satisfacer las necesidades. De acuerdo con lo anterior, el proceso de cálculo establecido obliga a plantear la ecuación (1) de la siguiente manera:

$$V_t = V_{t+1} - \frac{Q_{a,t} + Q_{a,t+1}}{2} * \frac{\Delta t}{10^6} + \frac{Q_{e,t} + Q_{e,t+1}}{2} * \frac{\Delta t}{10^6} + \text{Pérdidas} \quad (2)$$

En la expresión anterior, y para iniciar el proceso de cálculo, V_{t+1} es un volumen mínimo en el embalse (volumen del embalse muerto o un volumen cercano a él) y corresponde al volumen que tendría el embalse al final del período de simulación.

Al completar el proceso de cálculo se obtiene una serie de datos (diarios, semanales, quincenales o mensuales) correspondiente a los volúmenes o niveles que debe tener el embalse, durante todo el período, para garantizar las demandas o suministros de agua establecidos en la modelación. Como se mencionó, el proceso de cálculo se inicia con los datos más recientes disponibles (datos del último año de las series hidrológicas utilizadas) y con un nivel para el embalse que, en principio, puede ser el nivel mínimo de operación. Como en el proceso de cálculo se partió de un nivel mínimo, muy desfavorable, al continuar el proceso de cálculo hacia atrás, y de acuerdo con la hidrología seleccionada, para algunos períodos de tiempo se necesitarán volúmenes almacenados muy altos, y en otros casos, cuando llega mucha agua al embalse, se obtendrán en el proceso de cálculo volúmenes cuyos valores están por debajo del nivel mínimo establecido; en este último caso debe mantenerse tal valor mínimo de volumen definido para continuar con el cálculo, ya que no es necesario disponer de agua almacenada para satisfacer el suministro exigido en el mes siguiente. También es posible que en el proceso de cálculo se obtengan valores por encima del máximo especificado (cresta vertedero de excesos, por ejemplo), en cuyo caso también se debe mantener este valor para continuar con el proceso de cálculo, ya que no es posible almacenar más agua. Si se presenta esta última situación, significa que en este período no se puede garantizar el suministro.

De acuerdo con lo anterior, y para la serie de volúmenes o niveles del embalse finalmente obtenidos en todo el proceso de cálculo, la curva guía de un embalse para abastecimiento se define, para la serie histórica, seleccionando para cada intervalo de tiempo (día, semana, quincena, mes) el valor máximo de volumen embalsado o de nivel del embalse alcanzado (figura 1).

Para la serie obtenida de volúmenes de embalse que satisface una demanda dada, finalmente se seleccionan

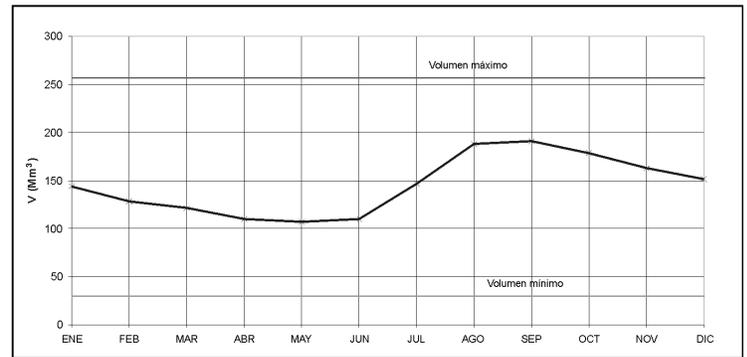


Figura 1. Curva guía de un embalse.

como valores de la curva guía de operación los valores máximos obtenidos para cada período. Por ejemplo, si el período de simulación se realizó mensualmente se tomará el valor máximo obtenido para cada mes. Significa que si se operara el embalse con niveles iguales o superiores a los de la curva guía, la demanda o suministro especificado durante todo el período analizado está garantizado. Por otra parte, también se concluye que para todo el período analizado (n años), si se está garantizando el suministro especificado, la *garantía de suministro* es del 100%, o lo que es lo mismo, se tiene una *confiabilidad* del 100%.

Así, por ejemplo, si se realizara el proceso de cálculo del balance iniciando en cualquier período de cualquier año con el nivel del embalse igual o superior al definido por la curva guía, se observará que durante toda la simulación, para la misma hidrología, se garantiza el suministro y todo el tiempo el nivel del embalse estará por encima del mínimo establecido. El suministro se garantiza el 100% del tiempo.

Que el embalse se pueda operar por encima de estos niveles de referencia calculados y para las mismas condiciones de demanda ya dependerá de la nueva hidrología que se presente período a período (contabilizada mes a mes, generalmente) para el nuevo año o nuevos años de estudio. Si, para una nueva hidrología, el embalse no se puede operar por encima de estos niveles, significa que más adelante es posible no entregar el suministro especificado, pues se corre el riesgo de que el embalse llegue a sus niveles mínimos y no se tenga agua almacenada para dar el suministro especificado, excepto que la hidrología mejore de tal manera que permita que los niveles en el embalse suban e igualen o superen los

de la curva guía, situación poco probable cuando se presenta un ciclo hidrológico seco. En este caso habría que variar la operación del embalse (disminuir el caudal de suministro) y, por tanto, la curva guía de operación del embalse será otra.

Es importante mencionar que una vez definida la confiabilidad o garantía de suministro, se podrán calcular tantas curvas guía como caudales de operación, constantes o variables se definan.

Criterios de garantía de suministro o confiabilidad

Se define la garantía de suministro del 100% o confiabilidad del 100% de una curva guía de niveles, como aquella que garantiza un suministro especificado todo el tiempo. Al iniciar la operación del embalse sus niveles son iguales o superiores a los de esta curva guía. Los niveles máximos con los que se establece la curva guía se obtienen mediante el método del balance hídrico calculado para una serie de datos históricos o generados sintéticamente. Esta serie de niveles o volúmenes máximos se define como la curva guía de operación, con una garantía de suministro o confiabilidad del 100%.

Si se toma como referencia esta definición es posible, entonces, definir otras garantías de suministro o confiabilidades menores del 100%. El procedimiento de cálculo se puede realizar ordenando las series de datos de volúmenes de embalse obtenidas (generalmente series mensuales) de menor a mayor y determinando su correspondiente frecuencia de ocurrencia o probabilidad de excedencia $(n/N+1)$. En esta expresión, n es el número de orden del dato y N es el número total de datos de la serie. Una frecuencia del 100% de un dato, que corresponde al valor máximo de la serie, significa que cuando se tengan en el embalse datos superiores a este valor se asegura el suministro todo el tiempo.

Más adelante se muestran, para un caudal dado constante durante todo el año, las curvas guía típicas para diferentes garantías de suministro (figura 2).

Bondad de una curva guía

Una vez establecida la curva guía de un embalse, de acuerdo con la metodología propuesta, es posible determinar la bondad de dicha curva. Para ello se simula la operación del embalse para el mismo período con el que se obtuvo la curva guía y utilizando la misma serie

hidrológica. Se debe comenzar el proceso de cálculo de volúmenes disponibles en el embalse (ecuación 1) en el inicio del período considerado (primer dato de la serie histórica) con un nivel del embalse igual al establecido en la curva guía y continuando hasta el final de la serie.

En este proceso se debe determinar, para la demanda establecida, qué desembalses adicionales se pueden realizar, período a período, para atender otro propósito. Para ello, en el proceso de cálculo se determina, período a período, el volumen adicional que hay que extraer, tomando como referencia la diferencia entre el nivel o volumen del embalse (que estará por encima del nivel de la curva guía) y el volumen de la curva guía, continuando entonces, para el siguiente mes, con el volumen de la curva guía. En este proceso en general se podrán hacer desembalses adicionales (suministros adicionales a la demanda establecida) en los años húmedos y sólo se podrá satisfacer la demanda en los años más secos. La bondad podrá establecerse como el número de períodos en los que se pueden realizar desembalses adicionales del total de períodos utilizados en la simulación. También podrá determinarse, para un período de tiempo, cuál es el volumen total adicional desembalsado.

Como para este proceso se está utilizando la serie hidrológica con la que se obtuvo la curva guía, se entenderá que sólo una vez, en principio, se llega al nivel mínimo del embalse.

Establecida una curva guía para una serie histórica o sintética de afluencias y para una demanda dada, es posible simular diferentes alternativas de operación del embalse. Así, por ejemplo, es posible simular la operación del embalse para la misma demanda u otra deman-

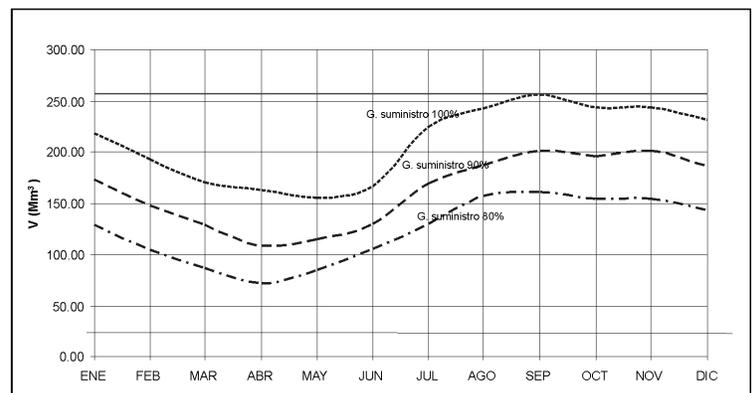


Figura 2. Curvas guía de un embalse para diferentes garantías de suministro.

da incluso variable, pero con otra hidrología y en otro período de tiempo, utilizando el mismo procedimiento anterior y partiendo con el nivel que tiene el embalse para el inicio de la simulación. Se encontrará la bondad de la curva guía para estas nuevas condiciones. En este caso, se podrá establecer además en qué períodos se llega al nivel mínimo del embalse y si la demanda se satisface en todos los períodos. El proceso se podrá realizar con desembalses adicionales o sin éstos.

En este caso se puede determinar como parámetro de evaluación el *porcentaje de períodos sin fallas*, con desembalses adicionales o sin éstos, como una medida de la garantía hidrológica de la nueva serie con respecto a la curva guía adoptada y a la demanda establecida.

Se establece que:

$$\text{PSF}(\%) = 100 * (\text{PS} - \text{PF}) / \text{PS} \quad (3)$$

Donde:

PSF(%) = porcentaje de períodos sin fallos.

PS = número de períodos simulados.

PF = número de períodos fallados.

OPTIMIZACIÓN DE UNA CURVA GUÍA

La utilización de la ecuación del balance hídrico permite establecer una curva guía óptima mediante un proceso de tanteo, en el cual es posible determinar el caudal máximo que se puede suministrar para satisfacer una demanda, de tal manera que para una hidrología dada, la curva guía no supere el nivel máximo establecido para la operación del embalse. Para ello se inicia el proceso de cálculo de la curva guía tal como ya se indicó; para el caudal de demanda establecido con el que se va a calcular la curva guía, se determina cuál es el nivel máximo que deberá alcanzar el embalse. Si este nivel es menor que el nivel máximo establecido para la operación del embalse, significa que es posible suministrar una demanda mayor y, por tanto, es necesario continuar con el proceso de tanteo, hasta que el nivel obtenido para un caudal dado sea el correspondiente al máximo de operación del embalse.

También es posible la optimización automática de una curva guía por medio de su parametrización, simulación y optimización, al representar mediante segmentos de rectas (segmentos de rectas para cada

mes), definidos con las coordenadas de cada uno de los puntos extremos de cada uno de esos segmentos que se toman como variables de optimización. Cada punto extremo se define con una cota de embalse y un tiempo, con lo cual existen $2n$ variables de optimización, donde n es el número de puntos extremos.

GENERACIÓN SINTÉTICA DE CAUDALES

La construcción de curvas guía se realiza por lo general para diferentes hidrologías, que no necesariamente corresponden a una serie histórica.

Por esta razón se acostumbra usar series sintéticas generadas a partir de una serie histórica.

En el estudio se utilizó el modelo de Thomas y Fiering AR (1) para la generación de series sintéticas de caudales. Este modelo es del tipo autorregresivo de orden 1; es decir, una variable (caudal) se explica, al menos en parte, en función de los valores pasados de esa misma variable más un componente aleatorio. Si se quiere modelar un mes x , se necesitan los valores de los meses antecedentes.

El modelo se usa frecuentemente con el objetivo de preservar los momentos de 1° y 2° orden de la serie de tiempo, esto es, la media y la desviación estándar, lo que en algunos casos resulta suficiente con fines de simulación y pronósticos a corto plazo.

MODELO DE COMPUTADOR PARA EL ANÁLISIS DE CURVAS GUÍA DE UN EMBALSE

Teniendo en cuenta los planteamientos teóricos que se han desarrollado y considerando que una curva guía determina unos niveles de operación que aseguran la satisfacción de una demanda para una hidrología dada, se ha considerado que más que establecer una curva guía única para operar un embalse para suministro, es necesario desarrollar un modelo de computador que permita evaluar las características de la curva guía, según se defina una hidrología cualquiera para suministrar una demanda óptima o una demanda dada constante o variable. En consecuencia, y considerando que una curva guía podría ser una referencia dinámica, se ha optado por evaluar diferentes hidrologías, y una vez definida una cualquiera, de acuerdo con unos pronósticos, calcular una curva guía con la cual es posible operar un embalse en un período de tiempo superior a un año. Si

la hidrología cambia el modelo, debe estar en capacidad de establecer una nueva curva guía.

Para satisfacer las anteriores condiciones se creó un modelo de computador utilizando la plataforma de Microsoft Excel de Windows XP. Se realizó el programa usando el módulo de Visual Basic disponible y se estructuró teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

1. Disponibilidad de series hidrológicas históricas o sintéticas. Verificación de la calidad numérica de las series.
2. Cálculo de parámetros estadísticos.
3. Generación de series sintéticas.
4. Disponibilidad de información topográfica del embalse.
5. Cálculo de una curva guía para una hidrología dada.
6. Determinación de curvas guía para un caudal de demanda y para diferentes garantías de suministro.
7. Determinación de la bondad de una curva guía.
8. Evaluación de la operación de un embalse para una hidrología dada y período de tiempo dado, tomando como referencia una curva guía cualquiera.

Establecidas las anteriores condiciones, se estructuró y desarrolló un programa que contiene nueve módulos que a continuación se presentan de manera general (figuras 4 a 12), con el único propósito de mostrar el producto desarrollado. En el *Manual del usuario* se presentan en detalle todos los pasos y condiciones necesarios para su operación.

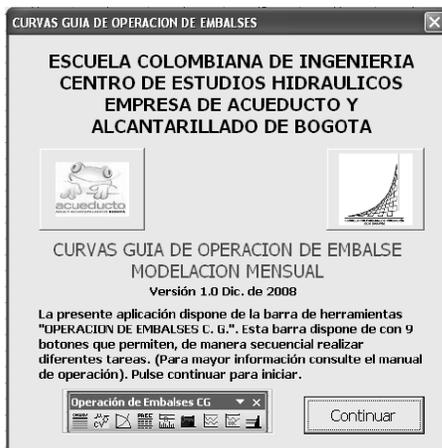


Figura 4. Pantalla principal del programa de curvas guía. Barra de herramientas.

Finalmente, como resultado de la utilización del modelo en las figuras 14 y 15 se presentan las curvas guía para el embalse de Chuza, tomando la serie histórica de afluencias para el período 1967-2007 y para un caudal de suministro de 11,5 m³/s.

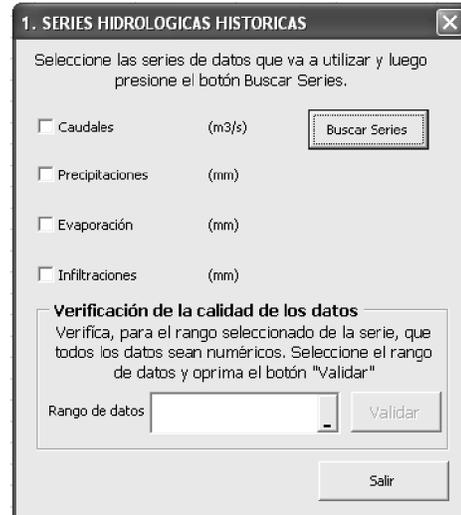


Figura 5. Módulo 1. Series hidrológicas históricas de la barra de herramientas.

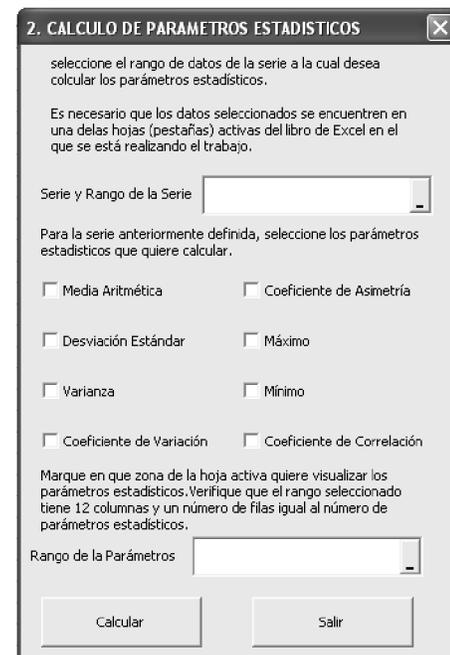


Figura 6. Módulo 2. Cálculo de parámetros estadísticos de la barra de herramientas.



Figura 7. Módulo 3. Características físicas del embalse de la barra de herramientas.

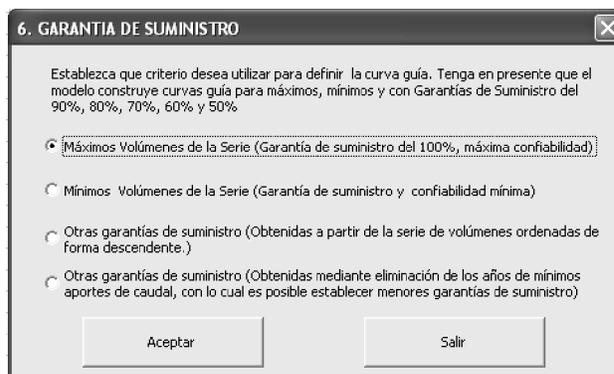


Figura 10. Módulo 6. Garantía de suministro de la barra de herramientas.

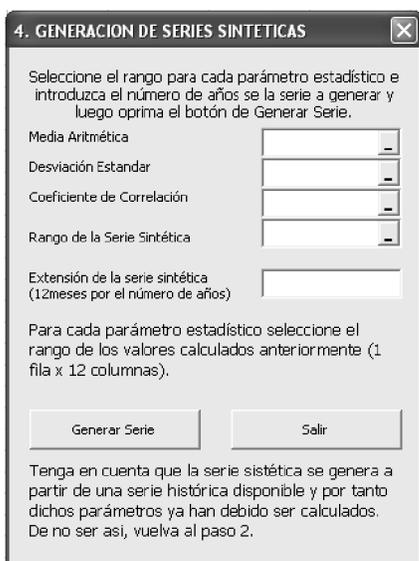


Figura 8. Módulo 4. Generación de series sintéticas de la barra de herramientas.

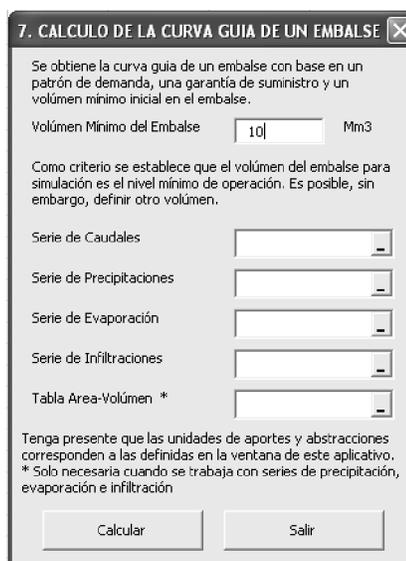


Figura 11. Módulo 7. Cálculo de la curva guía de un embalse de la barra de herramientas.

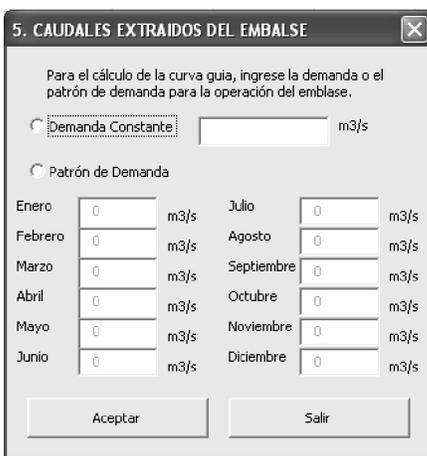


Figura 9. Módulo 5. Caudales extraídos del embalse de la barra de herramientas.

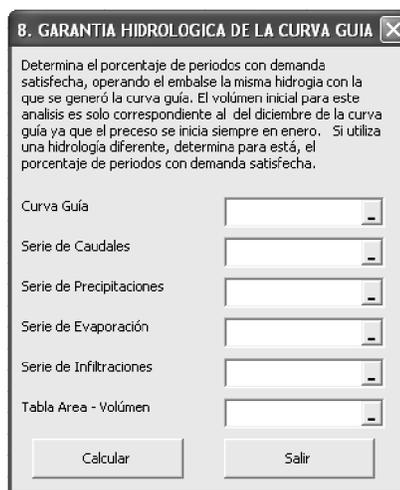


Figura 12. Módulo 8. Garantía hidrológica de la curva guía de la barra de herramientas.

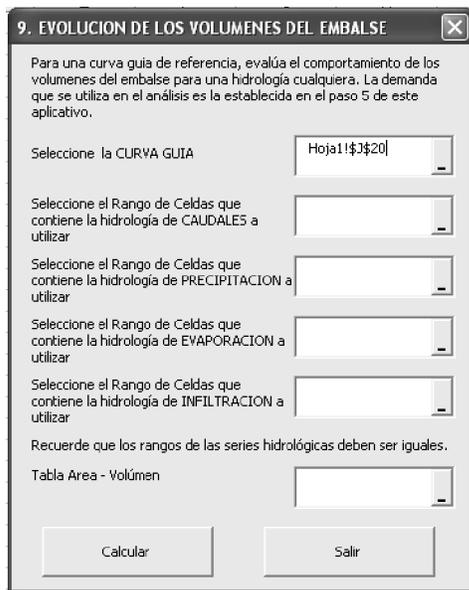


Figura 13. Módulo 9. Evolución de los volúmenes del embalse de la barra de herramientas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la operación de un embalse se requiere mantener unos ciertos niveles mínimos que garantizan siempre la satisfacción de la demanda, de acuerdo con unas necesidades establecidas. Esta condición supone que si el

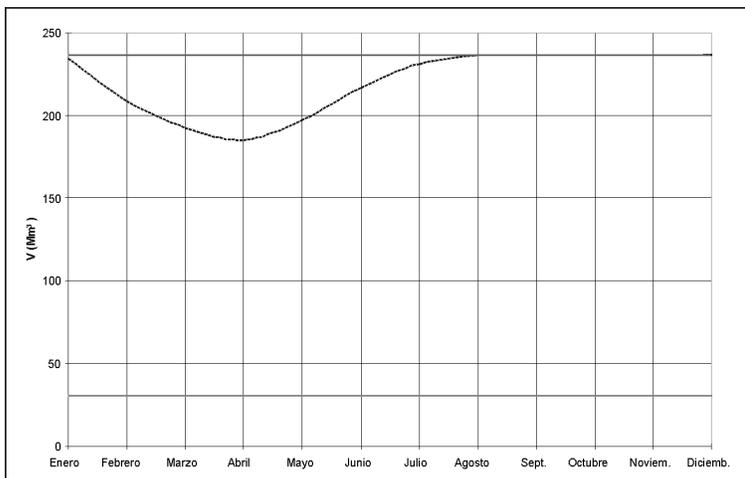


Figura 14. Curva guía para el embalse de Chuza. Serie de afluencias 1967-2007 y demanda de 11,5 m³/s.

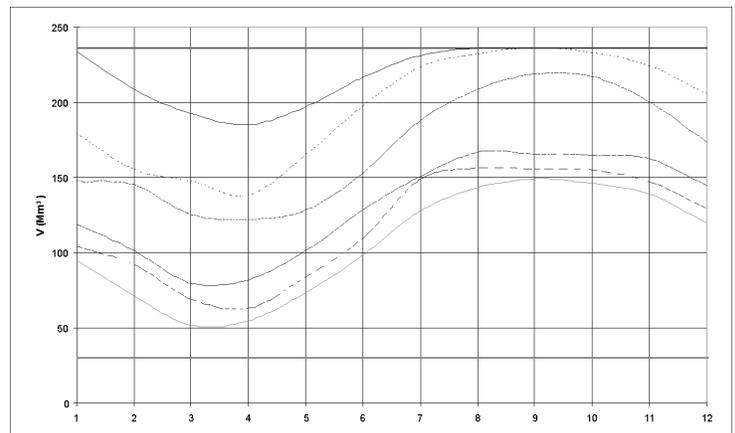


Figura 15. Curva guía para el embalse de Chuza para diferentes garantías. Serie de afluencias 1967-2007 y demanda de 11,5 m³/s.

embalse se opera, teniendo en cuenta la hidrología que se presente durante el período en estudio, por encima de estos niveles mínimos se dispondrá de un volumen de agua adicional que eventualmente se podrá utilizar para otros propósitos.

Estos niveles mínimos de operación establecen lo que en el lenguaje técnico se define como la curva guía de operación de un embalse, la cual se obtiene con los volúmenes mínimos que debe tener el embalse cuando una serie histórica de caudales, que alimenta dicho embalse, debe satisfacer una demanda establecida. Significa, en consecuencia, que la curva guía es una referencia dinámica que dependerá de la serie histórica de caudales y de la demanda establecida.

La aplicación desarrollada por el Centro de Estudios Hidráulicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería para la EAAB es una herramienta de gestión que le permite al usuario determinar una curva guía de operación de un embalse y realizar una serie de análisis sobre su operación. Es posible utilizar diferentes series hidrológicas, que el modelo también está en capacidad de generar. En la simulación se pueden establecer demandas constantes o variables. También se determinan la garantía de suministro y la bondad de una curva guía. Establecida una curva guía, el modelo puede evaluar, si el embalse se opera de acuerdo con una hidrología cualquiera y para una demanda dada, cuál será su comportamiento con respecto a la curva guía.

REFERENCIAS

1. Chow, Ven Te (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw Hill.
2. Mays, L. & Tung, M. *Hidrosystems engineering and management*. McGraw Hill.
3. Monsalve, Germán. *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
4. Consejo Nacional de Operación (CNO). Acuerdo 153 del 27 de julio de 2001. Bogotá.
5. Series de afluencias diferentes estaciones, embalse de Chuza. EAAB.
6. Definiciones y conceptos sobre curvas guía (1987). Subgerencia de Planeamiento de la EAAB.
7. Curva área - capacidad embalse de Chuza.
8. Niveles de operación del embalse de Chuza.
9. Curva de regulación de caudales del embalse de Chuza.
10. Gallego, Mónica (2005). Análisis y actualización de la curva guía de operación del embalse de Chuza.
11. Operación de embalses en la sabana de Bogotá (1988). EAAB.
12. Elaboración de las curvas guía para el embalse de Chuza.
13. Universidad Nacional de Colombia (1997) 13. Bogotá: J.D. Salas et ál. (1997). Applied modeling of hydrologic time series. *Water Resources Publications*.
14. Modificación de la curva guía del embalse de Chuza (1987). Subgerencia de Planeamiento de la EAAB.
15. Manual de modelo de operación de embalses (1996). Subgerencia de Planeamiento de la EAAB.