

## SIMULACIÓN DE LA OPERACIÓN DE EMBALSES MEDIANTE EPANET 2.0

Luis E Mora M<sup>1</sup>, Wilmer Barreto<sup>2</sup>, Nestor Méndez<sup>3</sup>, Hervé Jégat<sup>4</sup> y Jorkman Rondón<sup>5</sup>

<sup>1,4</sup>Afiliación, <sup>2</sup>CIDIAT-ULA, Venezuela, <sup>3</sup>DIC-UCLA, Venezuela, <sup>5</sup>HIDROLARA, Venezuela.

E-mail: lemoramora@gmail.com, wbarreto@ucla.edu.ve, nmendez@ucla.edu.ve, hjegat@gmail.com, jrdondon@hidrolara.net.ve

### Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo demostrar el uso de EPANET, Rossman (2000). Como simulador de problemas específicos de operación de embalses con restricciones hidráulicas y problemas específicos para la gestión integrada de recursos hídricos. Conscientes de la existencia de software específico para este fin SWAT (Kalogeropoulos et al, 2011), entre otros. Se busca demostrar la posibilidad de acoplar esta herramienta numérica de libre uso, debido a que entre sus excelentes atributos permite simular procesos hidráulicos complejos y escenarios de deterioración de la calidad de agua. Como un primer paso para el ensamblaje de un embalse a sistemas de complejos de distribución de agua con fines diversos, se realiza la conceptualización de dispositivos hidráulicos con exponentes variables tales como, aliviaderos, descarga de fondo e infiltración, se utilizan conceptos topológicos desarrollados para Válvulas de Propósito General (VPG), Mora et Al (en publicación).

Se presentan en el siguiente trabajo, dos casos de operación de embalses que podrían considerarse de tamaño mediano, i) Embalse Yacambú del Sistema Yacambú-Quíbor que se encuentra aún en construcción cuya entrega principal se realiza a través de un túnel. Ejemplo que se presenta en este resumen ii) Embalse Dos Cerritos que surte a la población de Barquisimeto Edo. Lara. Con dique de penetración parcial, cuya infiltración se convierte en el caudal ecológico del río y está conectado a un sistema por bombeo para surtir a las poblaciones de Barquisimeto y aledañas. Ambos embalses son de gran importancia para fines de riego y abastecimiento urbano en la región del Estado Lara Venezuela

### Materiales y métodos

Se describen a continuación, las conceptualizaciones topológicas efectuadas en EPANET para simular las entradas y salidas del embalse.

**a) Gastos del río.** Estos se simulan a través de patrones de demanda. Con la finalidad de no perturbar los datos de entrada. Coloca en el nodo topológico una demanda unitaria de (-1) que simula un aporte al sistema.

**b) Entradas netas por Precipitación – Evaporación real.** Si se supone que los aportes en la cuenca ya están representados por la entrada de gastos del río, entonces los aportes netos por estas variables meteorológicas dependerán del área de vaso, la cual es dependiente de la altura (h) en que se encuentre el mismo en un momento (t) dado. Para simular estas entradas se ensayan varias modalidades topológicas, Se presentan en este trabajo dos modalidades. La que se presenta en este resumen consisten en la introducción de reglas simples que proporcionan un factor de demanda nodal para cada altura (h) del embalse. Debido a singularidades numéricas de EPANET. Se consideró necesario introducir un reservorio topológico que resuelve los desbalances máscicos en el sistema causados por las reglas. Los factores se suponen negativos, para simular un aporte neto.

La conceptualización de nodos a diferentes alturas (h) dependerá de la precisión deseada en la simulación de entradas

netas de Precipitación - Evaporación real. La cual se realiza, con base en el estudio morfológico de la curva área (h). Este aspecto se discute en detalle en el desarrollo in extenso de este trabajo.

**c) Alivios, descargas de fondo e infiltración.** La estrategia para simular estos aportes, la conceptualización topológica se presenta en el trabajo de Mora et Al (En publicación). Se simulan mediante una válvula de propósito general (VPG) debido a que los exponentes de descarga por alivio, de fondo e infiltración los cuales generalmente están en el orden de (3/2), (1/2) y (1) respectivamente.

**d) Entrega por Túnel.** La simulación de la entrega por túnel se conceptualiza como una tubería de longitudes y diámetros equivalentes mediante coeficientes de pérdidas locales. Mendez (2010) Esta conceptualización generaliza a cualquier grupo de dispositivos hidráulicos o tuberías a presión.

**e) Demanda Ecológica.** Se puede simular mediante al menos tres conceptualizaciones. Una demanda constante ii) variable que dependa de la estación y los nichos ecológicos (iii) infiltración en la zona de vaso.

**f) Diferentes entregas a la demanda.** Las entregas a la demanda serán suplidas para cada usuario como curvas de demandas patrón, las cuales son de amplio desarrollo en EPANET. 2.0

g) Simulación de la Operación.

La simulación de la Operación se basa en el desarrollo de la ecuación diferencial [1] (Show, 1994), entre otros. La cual modificada, se puede expresar de la manera siguiente.

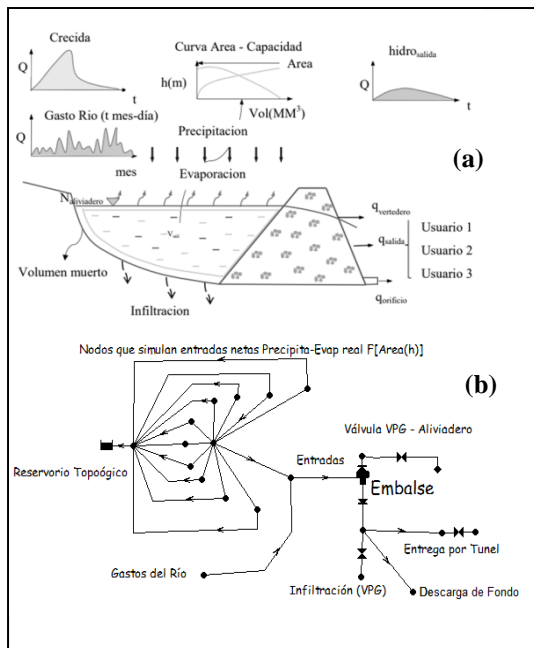
$$\frac{dS}{dt} = \sum Q_e - \sum Q_s \quad [1]$$

Donde  $Q_e$  representa los aportes y  $Q_s$  las entregas o salidas.

La misma se puede resolver mediante métodos numéricos, entre los que se destacan los de Runge-Kutta grados 4 y 5 y los de laminación. Para la comparación de resultados se utiliza en el caso del Embalse Yacambu, se utiliza Runge Kutta de grado 5 implementado por Barreto (2010) en Matlab® Y para el Caso del Embalse Dos Cerritos se utiliza SWAT referido por Kalogeropoulos et al (2011). La Conceptualización de la Operación del Embalse así como la discretización topológica en EPANET para su simulación numérica, se presentan en la Figura 1.

Para el caso del embalse Yacambú, se presentan las siguientes restricciones. i) la carga residual a la salida del túnel debe ser mayor a 10m. ii) El gasto máximo de tránsito por el túnel será de 13,5 m<sup>3</sup>/s. iii) Se debe garantizar un gasto ecológico de 0,85 m<sup>3</sup>/s iv) .Se realizará un período de simulación de dos años con datos medios de gastos, precipitación y evaporación así como de demandas de riego. v.) los niveles iniciales deberán ser similares a los niveles finales para garantizar simulación en período estacionario. vi) Los alivios del embalse no deberán ser significativos. vii) El error máximo en la discretización de

nodos para la simulacion de entrads netas por precipitacion-  
evaporacion será de 20 l/s.

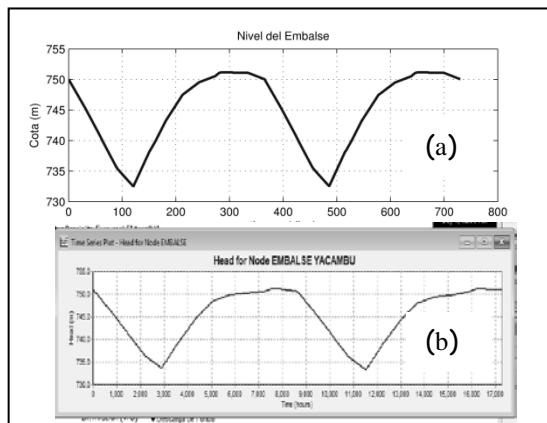


**Figura 1.-** (a) Conceptualización para operación del Embalse (b) Conceptualización topológica en EPANET para la simulación numérica de la operación.

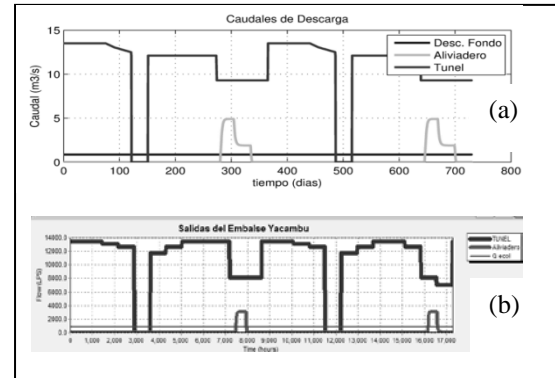
## Resultados y discusión

Con base a las restricciones anteriores, se presenta los resultados obtenidos por Barreto (2010) y los obtenidos para la simulación de Niveles en el embalse, optimizando las políticas de operación, la cual se obtiene afectando los patrones de gastos a extraer en el embalse.

La Figura 2. Presenta ambas simulaciones luego de la optimización de reglas operativas que tienen como función objetivo maximizar entregas y minimizar aliviados. Se observa igual morfología y las pequeñas diferencias estriban en que en la Simulación mediante EPANET se logra mejor desempeño en la minimización de los aliviados. Esto se muestra en la Figura 3. Los resultados de la simulación del Embalse Dos cerritos se muestran en el trabajo in-extenso.



**Figura 2.-** Resultados para la operación del Embalse Yacambu (a) Barreto (Op Cit) tiempo (d) (b) Simulación en en EPANET 2.0 tiempo (h).



**Figura 3.-** (a) Resultados mediante simulación en Mathlab® Runge Kutta 5 Barreto (Op cit) y Mediante EPANET 2.0 para el embalse Yacambú.

## Conclusiones y recomendaciones

Es posible realizar la operación de embalses mediante EPANET 2. Con base en la introducción de variantes topológicas en el mismo que simulan, exponentes variables y aportes meteorológicos variables en función del área en el embalse.

La introducción de problemas hidráulicos complejos tales como hidráulica de conductos cerrados y sistemas por bombeo es de fácil introducción en la simulación mediante EPANET con el apoyo de reglas operacionales simples y compuestas.

Con base en las topologías desarrolladas, se recomienda la utilización de EPANET como simulador acoplado a sistemas de abastecimiento de agua de alta complejidad.

## Referencias bibliográficas

- Barreto, W.** (2010). "Operación del Embalse Yacambú". En Memoria descriptiva Obra de Toma Embalse Yacambú. AF. Ingeniería Civil y Asociados. Barquisimeto. Venezuela.
- Kalogeropoulos K, Chalkias, C. Pissias E., Karalis S.** (2011) "Application of SWAT Model for the investigation of reservoirs creation in *Advances in the research of Aquatic Environment. Vol 2*".: DOI 10.1007/978-3-642-24076-8, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Méndez, N.** (2010). "Caracterización Hidráulica de los Elementos que conforman la Obra de Toma y del Sistema de Conducción". En Memoria descriptiva Obra de Toma Embalse Yacambú. AF. Ingeniería Civil y Asociados. Barquisimeto. Venezuela.
- Rossman, L. A.** (2000). *EPANET 2 Users Manual*. Risk Reduction Engineering Laboratory, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.
- Show, V. T, Maidment D, Mays L.** (1994). *Hidrología Aplicada Mc Graw Hill*. Colombia. 584 p. ISBN: 958-600-171-7