

# Integración de una Herramienta para la Selección Automatizada de Equipos de Bombeo al Software EPANET

Lismary Pérez<sup>1</sup> -Erimar Pedraza<sup>1</sup> -Wilmer Barreto<sup>1</sup> y Luis Mora<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Lisandro Alvarado - Decanato de Ingeniería Civil, Barquisimeto – Venezuela.

<sup>2</sup> Universidad de Los Andes, CIDIAT, Mérida – Venezuela.

E-mail: lismaryap@gmail.com, epc005@gmail.com, wbarreto@ucla.edu.ve, lemoramora@gmail.com

## Introducción

El proceso de análisis y selección de sistemas hidráulicos que incorporan bombeos es complejo y requiere gran grado de la intervención y dedicación de quien funge como diseñador. Esto puede consumir grandes cantidades de horas hombre y computador, lo cual induce altos costos para el diseño y optimización. Esta situación ha generado la necesidad de desarrollar herramientas informáticas que permitan la evaluación y solución de distintas situaciones relaciones con este tipo de problemas. EPANET es un programa que permite realizar análisis hidráulicos a partir de las características físicas y dinámicas de las tuberías y los nodos para obtener presión y caudales respectivamente, así mismo permite el análisis de calidad de agua a través del cual es posible determinar el tiempo de viaje y la velocidad de fluidos de las fuentes hasta los nodos del sistema (ROSSMAN, 2011). Adicionalmente EPANET, por ser de código abierto, permite la incorporación de nuevos algoritmos que permiten incrementar las potencialidades del mismo (Santos y Keppler, 2017).

EPANET no cuenta con una base de datos integrada para la selección automatizada de dichos equipos de bombeo. En torno a esta limitación, el presente trabajo tiene como propósito el complementar el software, mediante la inserción de un menú denominado “PUMS”, dentro del software EPANET, dicha herramienta ha sido diseñada y codificada con algoritmos que permiten seleccionar las bombas que mejor se ajusten a las necesidades existentes según las condiciones de la red, tomando en cuenta las limitaciones de caudal, presión y chequeo de la cavitación mediante el valor de NPSH.

Por otro lado aunque se encuentran propuestas comerciales y software *share-ware* sus modelos para la estimación de curvas de carga del sistema son relativamente simplificados y no contemplan la complejidad de casos que pudieran existir en un Sistema de Abastecimiento de Agua Potable, fortaleza que está presente en EPANET y que justifica el acoplamiento de la extensión desarrollada al modelo.

## Herramienta desarrollada

El desarrollo de la herramienta complementaria de EPANET, se logró a través de los siguientes procesos:

**Digitalización de una base de datos.** Este proceso se basó en tres tareas específicas:

- La selección de catálogos de equipos de bombeo comerciales, tanto a nivel regional, nacional e internacional.
- A partir de los catálogos de marcas comerciales, se seleccionaron puntos distribuidos de las curvas características de los equipos descritos en dichos catálogos, (curva Altura Vs Caudal, la curva Eficiencia Vs Caudal y la curva NPSH Vs Caudal).
- Posteriormente se procedió a la digitalización de las mismas, empleando herramientas como el AutoCAD 2D y excel; para finalmente conformar una base de datos en formato ASCII para la representación de dichas curvas.
- Se seleccionaron más de 600 equipos de bombeo para la conformación de dicha base de datos.

**Diseño de algoritmos.** Dentro de los algoritmos que se desarrollaron para la estructuración de la aplicación se pueden enumerar seis principalmente:

- Un algoritmo que permite cargar el catálogo seleccionado por el usuario según la marca comercial.
- Un algoritmo que procesa los requerimientos mínimos de diseño de la red a modelar, permitiendo el descarte de los equipos que no cumplan con ellos.
- Un algoritmo que permite verificar si la carga de succión neta disponible es mayor a la requerida por el fabricante, así como chequear las presiones negativas en el resto de la red.
- Un algoritmo que permite generar la curva de carga del sistema y presentarla de forma gráfica.
- Un algoritmo para graficar las curvas características del sistema de bombeo, con el fin de mostrar el punto de operación.
- Un algoritmo que presenta los equipos pre-seleccionadas, facilitando el descarte de equipos en función de su caudal, rendimiento, potencia y velocidad nominal.

**Codificación.** Para lograr el desarrollo de una interfaz amigable para los usuarios, se empleó el software Delphi 7.0, por ser la herramienta original de programación orientada a objetos en la cual esta codificado el EPANET, la cual permite el manejo de una gran variedad de componentes facilitándole al usuario la posibilidad de ingresar de forma detallada los requerimientos mínimos a ser usados en el descarte de equipos. Para la codificación como parte del proceso de diseño y elaboración de la herramienta PUMS se hizo fundamental el estudio del código fuente de EPANET se inició con la descarga del “Source Code” del software EPANET 2.0 desde sitio Web de la US-EPA donde se encuentra contenido el archivo “Components” que constituyen los componentes personalizados de Delphi, los cuales deben estar instalados en la paleta de componentes del IDE. El código consta de un formulario principal para el ingreso de datos y otro para el de resultados, también dos unidades que contienen todos los algoritmos desarrollados y sus constantes, esto de forma tal que los mismos quedan integrados al EPANET sin mayor esfuerzo al momento de la compilación del software.

## Análisis de los resultados

Con el propósito de demostrar la funcionalidad del menú “PUMS” integrado al software EPANET 2.0, se modelaron varios estudios de caso para la selección de equipos de bombeo, pudiéndose comprobar la eficacia, y el fácil manejo de la herramienta, dado que resulta amigable para el usuario la inserción de los datos de entrada en el formulario principal, así como la interpretación de los resultados obtenidos mediante el análisis. En la figura 1 se observa extractos del formulario de resultado donde se refleja la comparación del NPSHr Vs NPSHd de uno de los equipos seleccionados para la red modelada.

Los equipos seleccionados por la herramienta cumplen con los

requerimientos del sistema en base a las necesidades configuradas por el usuario, recordando que la correcta selección radica en las condiciones en que trabajara la bomba (Comisión Nacional del Agua México, 2009). Adicionalmente la herramienta brinda en el formulario de resultados, la facilidad de filtrar y ordenar las bombas pre-seleccionadas, basándose en los criterios de caudal, eficiencia o potencia del equipo según preferencia del usuario. La figura 2 muestra gráficamente las curvas características y el punto de operación de la bomba finalmente seleccionada.

Characteristic Curves:						Operating Point:	
Flow (LPS)	head (m)	Flow (LPS)	Efficiency (%)	Flow (LPS)	NPSHr (m)	Flow: 28.13 (LPS)	Head: 45.35 (m)
0.00	57.65	9.91	60.00	0.00	1.77		
9.91	57.33	16.13	72.50	8.51	2		
16.13	55.27	19.87	77.50	20.49	3.5		
24.85	49.17	24.85	80.00	29.03	5.5		
35.28	37.00	36.79	77.50	35.28	7.32		

Operating Point:	
Flow: 28.13 (LPS)	Head: 45.35 (m)
NPSHa: 3.17 (m)	NPSHr: 5.29 (m)

Pressures lower than VP:

Figura 1.- Extracto del formulario de resultados.

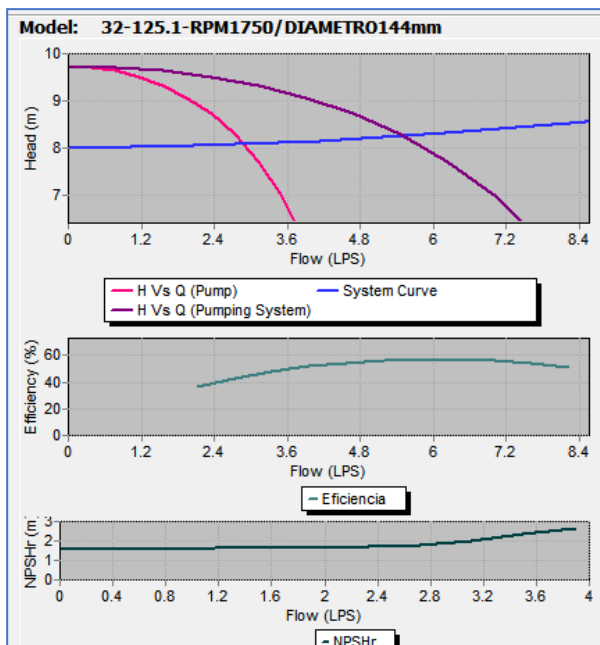


Figura 2.- Punto de operación y curvas características obtenidas.

## Conclusiones y recomendaciones

- La incorporación de una base de datos que cuenta con una gran cantidad de equipos de diferentes fabricantes en la herramienta, facilita el proceso de selección de equipos de bombeo de forma sistemática. Así mismo, la herramienta desarrollada le brinda al usuario la facilidad de incluir una base de datos personalizada de usuario, siempre que esta cumpla con las especificaciones dadas en el Manual del Usuario.
- El uso de una interpolación de LaGrange en el algoritmo para el cálculo del punto de operación, demostró ser exitoso logrando una aproximación más precisa en el cálculo, a diferencia de EPANET que usa una interpolación lineal.
- Los algoritmos diseñados realizan una comparación de la carga neta de succión disponible vs requerida, a fin de

chequear la cavitación en los equipos a evaluar con la herramienta PUMPS, advirtiendo al usuario la situación de los equipos de bombeo en términos de cavitación, garantizando de esta manera una mejor selección por parte del usuario.

- Se recomienda ampliar la utilización de la extensión desarrollada para que pueda enfrentar problemas de optimización de costos bajo los nuevos enfoques actuales (Bagirov et al, 2013)
- Igualmente es de especial interés comprobar el desempeño de los equipos bajo esquemas de demanda variable lo cual abre mayores perspectivas de aplicación para la herramienta seleccionada en problemas de optimización energética (Georgescu et al, 2015) entre otros
- Aunque se sistematiza la base de datos para la introducción los catálogos de Bombas, se hace necesario adecuarla a los diferentes parámetros internacionales con la finalidad de incluir otras propuestas comerciales no consideradas en este trabajo y que pudieran mantener la vigencia del esfuerzo computacional realizado.

## Referencias bibliográficas

- Bagirov, A.M., Barton A.F, Mala-Jetmarova H., Al Nuaimat A., AdMet S. T., Sultanova N., Yearwood J. (2013) *An algorithm for minimization of pumping costs in water distribution systems using a novel approach to pump scheduling*. Mathematical and Computer Modeling. V 57. Pp 873-886
- Comisión General de Agua, Subdirección de agua potable, drenaje y saneamiento (2009). *Eficiencia en sistema de bombeo. Segunda Edición México*.
- Georgescu A, Georgescu S, Cosoiu C., Hasegan L, Anton A., Bucur A. (2015) EPANET simulation of control methods for centrifugal pumps operating under variable system demand. *Procedia Engineering*. V. 119 pp 1012-1019.
- Rossman, L (2011). *EPANET 2.0 vE. Manual de Usuario*. Environmental Protection Agency (USEPA). Cincinnati OH. Universidad Politécnica de Valencia España
- Ricardo Santos-Alexandre Kepler. (2017). "Simulação de bombas com velocidade de rotação variável no EPANET". *Eng. Sanit. Ambient. vol.22 no.4 Rio de Janeiro July/Aug. 2017. Epub Mar 08, 2017*.