

Caracterización de redes hidráulicas en un circuito hidrométrico en una zona urbana / Characterization of hydraulic networks on a hydrometric circuit in an urban area

Yulexi Guillén-Campo bleyva@ismm.edu.cu *

Benigno Leyva-de la Cruz **

Institución de los autores

* Centro politécnico José Antonio Boizan. Moa. Holguín.

** Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín.

PAÍS: Cuba

RESUMEN

En el trabajo se aborda como mejorar la eficiencia en el funcionamiento del sistema del abasto de agua en un circuito hidrométrico de una zona urbana. Para el mismo se calcularon los parámetros hidráulicos teniendo en cuenta las alternativas de operación caracterizando la demanda del servicio por proyecto y de explotación por tipo usuario. Durante el desarrollo de la investigación se utilizaron diferentes métodos y técnicas de investigación, siendo la más representativa la empírica y la técnica de campo con la aplicación de entrevistas, llegándose a conclusiones tales como: se contribuyó a mejorar la eficiencia en el funcionamiento del sistema de abasto de agua con la utilización de los modelos de simulación en el EPANET 2,0. y la caracterización de las demandas estimadas de explotación por tipo de usuarios y la demanda de proyecto.

PALABRAS CLAVES: DEMANDA; ACUEDUCTO; CIRCUITO HIDROMÉTRICO.

ABSTRACT

The work shows how to improve efficiency in the operation of a water supply system on a hydrometric circuit of an urban area. Hydraulic parameters were calculated while keeping in mind the operation alternatives characterizing the demand of the service by project and the demand of exploitation by type of user. During the study, different methods and techniques of investigation were

used, being the most representative the empiric one and the field technique with the application of interviews, which led to conclude that it contributed to improve efficiency in the functioning of the water supply system with the use of simulation models in the EPANET 2.0. and characterization of the estimated operating demands by type of users and by project demands.

KEY WORDS: DEMAND; AQUEDUCT; HYDROMETRIC CIRCUIT.

INTRODUCCIÓN

El problema fundamental en que se basa el presente trabajo se refiere a uno de los problemas que mundialmente afecta a la humanidad, la sequía. Desde el surgimiento de la humanidad, esta se ha preocupado por encontrar agua de buena calidad y abundante para sus viviendas y tenerla a su disposición. Ante de nuestra era varias ciudades al serle insuficientes los pozos recurrieron a utilizar lagunas alimentadas de los ríos, las cuales abastecían las ciudades a través de canales y depósitos públicos desde donde se llevaba hasta las casas mediante las cantaros. En los inicios todo el traslado y servicio se realizaba a gravedad, hasta que comenzaron a aparecer inventos para elevar el líquido cuando la gravedad no funcionaba, tales como el tornillo de Arquímedes. Las bombas aspirantes y los impelentes, como se hacían de madera con poco metal, es lógico que las alturas de elevación no podían ser muy grandes y se salvaba este inconveniente haciendo depósitos intermedios y elevaciones sucesivas [4].

Los recursos hídricos en Cuba definen una distribución no uniforme, debido a la configuración y localización geográfica, es decir, sus magnitudes varían considerablemente en algunas regiones [1]. Los sistemas de acueductos y alcantarillados antes de 1959 eran extremadamente insuficientes en comparación con la demanda de agua a la población; lo cual dependía del carácter privado de la construcción de los sistemas de acueductos y la despreocupación de los gobiernos anteriores. En Cuba, después del triunfo de la Revolución, los servicios de acueductos centralizados crecieron más de dos veces en un período de 20 a 25 años mientras que el crecimiento de la población para el mismo período fue de 1,5 veces, estos resultados se lograron gracias al cumplimiento de los planes estatales para lograr un mayor desarrollo,

cerca del 60 % de la población total incluyendo el 90 % urbano se le garantizó el agua de sistemas de acueductos centralizados [4].

En el proyecto ejecutivo de instalaciones hidráulicas, la elaboración de la memoria descriptiva y la memoria de cálculo son de gran importancia. Este último documento debe presentar los cálculos y especificaciones técnicas involucradas en el diseño del sistema hidráulico y cumplir con las disposiciones legales y reglamentarias vigentes de los diferentes organismos gubernamentales, estatales y municipales, así como las recomendaciones emitidas por fabricantes de materiales relacionadas al área de las instalaciones.

Con la información recopilada en Reglamentos y Normas, se llegó a disponer de un análisis hidráulico y un formato de cálculo para las redes hidráulicas del circuito hidrométrico objeto de estudio, sin embargo, el desarrollo manual de las ecuaciones dificultaba el diseño de redes con demasiados nodos, por lo que fue necesario implementar un software para facilitar el análisis. En el mercado existen programas de cálculo aplicados a redes de agua potable y específicamente un programa para instalaciones denominado CYPECAD que no tiene la comercialización necesaria para su uso. También existe el programa RHAE en la versión 1, el WaterCAD v.7. y el EPANET 2.0.

El RHAE en la versión 1, fue desarrollado en lenguaje Visual Basic 6.0 para Windows y permite calcular redes hidráulicas abiertas, sistemas de almacenamiento y bombeo, generando reportes finales en Excel, necesarios para anexar a la memoria de cálculo hidráulico [11]. El WaterCAD v.7 es software cuyo algoritmo de cálculo se basa en el método del Gradiente Hidráulico, permite el análisis hidráulico de redes de agua (aunque puede usarse para cualquier fluido newtoniano) determinando las presiones en diversos puntos del sistema, así como los caudales, velocidades, pérdidas en las líneas que conforman la red hidráulica; así como otros muchos parámetros operativos derivados de los elementos presentes en el sistema como: Bombas, Válvulas de Control, Tanques, etc. a partir de las características físicas del sistema y unas condiciones de demanda previamente establecidas. WaterCAD además permite extender sus capacidades a temas de gestión a largo plazo de sistemas de abastecimiento incluyendo: análisis de vulnerabilidad, análisis de

protección contra incendio, estimación de costos energéticos, calibración hidráulica, optimización, etc. [12]. El EPANET es una aplicación que realiza simulaciones en período extendido (o cuasi estático) del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de tuberías a presión. Una red puede estar constituida por tuberías, nudos (uniones de tuberías), bombas, válvulas y depósitos de almacenamiento o embalses. EPANET permite seguir la evolución del flujo del agua en las tuberías, de la presión en los nudos de demanda, del nivel del agua en los depósitos, y de la concentración de cualquier sustancia a través del sistema de distribución durante un período prolongado de simulación. Además de las concentraciones, permite también determinar los tiempos de permanencia del agua en la red (water age) y su procedencia desde los distintos puntos de alimentación [13].

La simulación con el RHAE en la versión 1 refiere un trabajo una red abierta de suministro de agua de una edificación, considerando factores como la toma de suministro, capacidad de almacenamiento, sistema de bombeo y red de distribución, [11]. El software WaterCAD v.7 fue utilizado en el establecimiento de las características del sistema de abastecimiento de agua del área de docente del Instituto superior minero metalúrgico de Moa [12]. Y el EPANET 2.0. se empleó en el establecimiento del trazado de la red hidráulica del área de residencia estudiantil del ISMM y el cálculo de los parámetros de trabajo del sistema para la red hidráulica dada [13].

Por tanto el objetivo de este trabajo es contribuir al mejoramiento de la eficiencia en el funcionamiento del sistema de abasto de agua a la ciudad de Santiago de Cuba, en el Sector Hidrométrico Marimón, logrando presiones estables en las redes de distribución partiendo del diseño de los modelos hidráulicos para la operación.

Fuentes de abasto

La fuente de abasto, es uno de los principales elementos a tener en cuenta dentro del sistema que componen un acueducto, debe contener los volúmenes necesarios para cubrir las demandas calculadas de acuerdo a la población a servir y la dotación de diseño, y ser capaz de entregar, con los caudales establecidos, estos volúmenes. Esta nos indica de forma exacta el caudal de agua necesario a utilizar en el presente y en el futuro. El agua desde el punto de vista de su utilización para el consumo humano se puede clasificar en: agua

pura, agua potable, agua sospechosa y agua mala [10]. En general los suministros de agua dulce provienen de precipitaciones que caen frecuentemente sobre un área de captación; esta área de captación es la tierra, la lluvia al atravesar la atmósfera, arrastra polvo y absorbe, oxígeno y anhídrido carbónico del aire, y en su curso por la cuenca hidrográfica recoge cieno y partículas de materias orgánicas de la vegetación de las cuales una parte terminan por disolverse, también absorbe más anhídrido carbónico y bacterias así como otros microorganismos de las capas superiores del suelo y de las materias en putrefacción, es por eso que las aguas superficiales siempre requieren un tratamiento antes de ser servidas a la población [6].

MATERIALES Y MÉTODOS

Cálculo de la población

Los proyectos para el abastecimiento de agua potable para las poblaciones, se elaboran con vista a que satisfagan las necesidades de la población al final del período de explotación 30 años generalmente [10].

Se utilizará la tasa de crecimiento rural, municipal, etc., que proporcione la entidad que lleve las estadísticas y censos de la población, de no tenerse este dato, se utilizará el criterio de los métodos habituales de determinación de la población futura (aritmético, geométrico, etc.). Por ejemplo el de la progresión geométrica se basa o fundamenta en el hecho de suponer un porcentaje de crecimiento constante, para iguales períodos de tiempo [3]. Se expresa por la siguiente fórmula:

$$P_f = P_a (1 + r)^n$$

(1)

Donde:

P_f – Población futura en habitantes.

P_a – Población actual en habitantes.

n -- número de años que se contempla en el diseño.

r – porcentaje de crecimiento anual.

En Cuba, el porcentaje de crecimiento anual está comprendido, por lo general, entre 2 y 2,5% [10].

Consumos

La Norma Cubana del 2007 que sustituye la NC 53-91: 1983 (Determinación de la demanda de agua potable en poblaciones), plantea que la dotación es el volumen medio probable de consumo de agua de una población por habitante, que todo acueducto eficiente debe suministrar durante las 24 hr del día y con una presión adecuada, expresadas en litros por habitantes al día (l/ hab.d).

El índice de consumo general o dotación total para una comunidad puede hallarse por el cociente del consumo total anual de todas las actividades entre la población servida, llevada a (l/ hab.d.). El valor así obtenido incluye los volúmenes de agua correspondientes a las pérdidas, que no son realmente utilizados por la comunidad.

$$\text{Luego } \textit{dotación} = \frac{\textit{Consumo.Anual}}{365.\textit{Población}} \text{ en l/ hab.día}$$

(2)

Por lo que se puede obtener una demanda media de la comunidad utilizando la siguiente expresión:

$$\text{Demanda} = \text{Población} \times \text{Dotación}$$

(3)

La Resolución No. 45/91, del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) brinda normativas de consumo por cada tipo de usuarios, y expresa la siguiente relación:

$$\text{Demanda} = \text{Normativa de Consumo} * \text{Cantidad de usuarios.}$$

(4)

Consumos máximos

Se definen como consumos máximos, el volumen total de agua que se utiliza en una comunidad determinada [3]. La demanda aún para una población constante, es variable según la temporada del año, los días de la semana y las horas del día. Para analizar esta variabilidad sería necesario mantener un sistema regular de mediciones que permitiera conformar un registro histórico, es decir, una serie observada de las demandas. En la práctica no siempre se cuenta con estas observaciones y, por lo tanto, se han establecido normas de diseño basadas en estudios y experiencias anteriores en cuanto a la observación de la demanda, que suplen esta ausencia. Las normas estipulan

que la red debe satisfacer la demanda en la situación más crítica, es decir, satisfacer la máxima demanda [5].

$CMD = C P D \times K1$ Con este valor se diseña la conductora

(5)

$CMH = C M D \times k2$ Con este valor se diseñó la red de distribución inicial

(6)

$CMH = K_1 \cdot K_2 \cdot \text{Dotación} \cdot \text{Población} / 86400$. Con este valor se calcula la demanda máxima horaria de proyecto

(7)

Dónde:

C M D -es el consumo máximo diario

C M H -es el consumo máximo horario

C P D – es el consumo promedio diario

Donde: k_1 y k_2 son coeficientes de regularidad. $k_1 = 1,40$ y $k_2 = 1,80$

RESULTADOS DEL TRABAJO

Cálculo de la demanda máxima horaria de proyecto

El resultado del cálculo de la demanda máxima horaria de proyecto según la ecuación (7), es 25,315243 l / s. Este resultado representa que para hacer el diseño de las redes de distribución en el circuito hidrométrico, se tiene que diseñar de manera que sea capaz de satisfacer esta demanda, de lo contrario el sistema no es eficiente.

Cálculo de la demanda de explotación por la Resolución 45/91 del INRH

El cálculo de la demanda de explotación se determinó según la ecuación (4), La misma brinda normativas de consumo por cada tipo de usuarios facilitando así el cálculo de la demanda por usuario, para el cálculo de esta se multiplica la norma de consumo que depende del tipo de usuario por la cantidad de estos, esta cantidad se puede encontrar en la tabla 1.

Realizando una sumatoria de la demanda por usuario se obtiene la demanda total de la zona objeto de estudio siendo esta de 365,7 m³/día (4,23 l/s).

Tabla 1. Cálculo de la demanda de explotación por la Resolución 45/91 del INRH.

Clasificación de usuarios	Cantidad de usuarios	Demanda (m ³ /día)
Instituciones sociales	361	51
Instituciones estatales	18	14,7
Instituciones asistenciales	358	50
Población	3299	250
Total		365,7

Elaboración y corrida de los modelos matemáticos del sistema y su comportamiento en un período permanente de tiempo

El EPANET 2,0 es un programa de cálculo destinado a simular el comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de distribución de agua a presión que permite analizar dicho comportamiento en períodos prolongados (uno o varios días). Ha sido desarrollado por el Laboratorio Nacional de Investigación para la Prevención de Riesgos (NRMRL) de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de EEUU (USEPA). Como tal, es un software de dominio público que puede copiarse y distribuirse libremente. Con dicha herramienta de cálculo y con el objetivo de conocer lo mejor posible de cómo se produce el servicio de abasto de agua potable se procedió a elaborar el modelo matemático de simulación hidráulica. A continuación se muestra en la Fig. 1 la simulación efectuada para los dos escenarios, demanda de explotación y la demanda máxima horaria de proyecto.

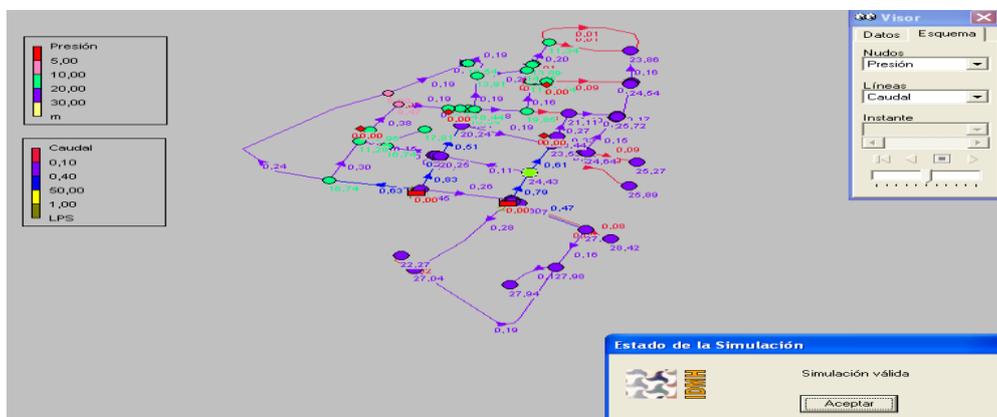


Figura 1. Simulación efectuada para la demanda de explotación y para la demanda máxima horaria de proyecto.

En la Figura 2 se muestra un escenario de la corrida en el EPANET 2.0 donde las presiones en las redes de distribución del circuito hidrométrico para la demanda de explotación se comportan de la siguiente manera:

La parte más baja siendo de la cota 11,0 m hasta cota 19,0 m el rango de presiones es de 20,16 mca a 28,42 mca. Se representa con el color violeta.

En la parte media siendo esta de la cota 20,0 m a la cota 29,0 m el rango de presiones es de 14,0 mca a 19 mca. Se representa con el color verde.

La parte más alta es de la cota 29,5 m a la cota 30,0 m, el rango de presiones es de 10,89 mca a 14,47 mca. Se representa con el color rosado.

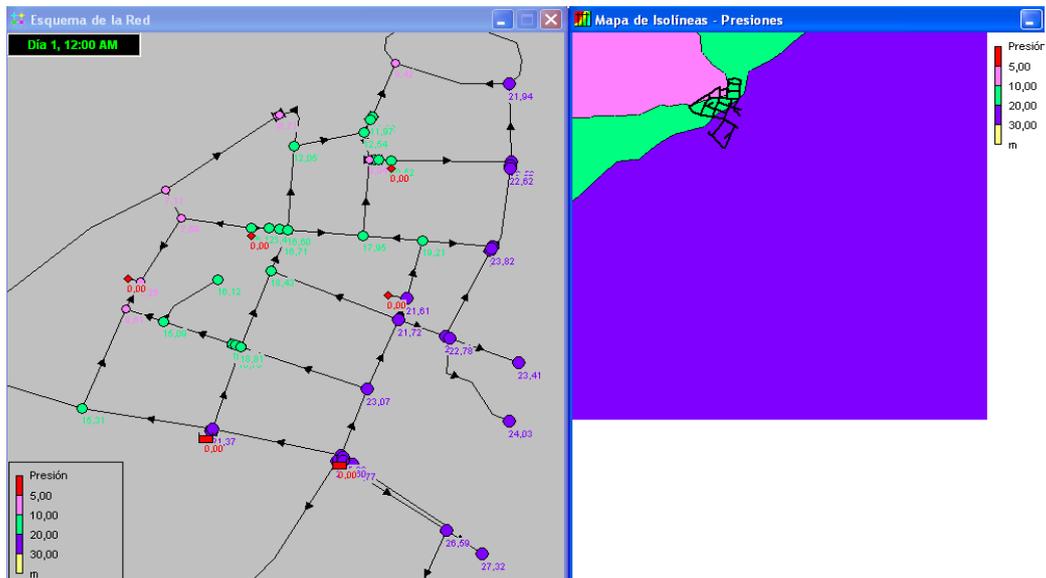


Figura 3. Resultados de la simulación del software profesional EPANET 2.0. Estado de las presiones para la demanda máxima horaria.

En la Figura 3 se muestra un escenario de la corrida en el EPANET 2.0, donde las presiones en las redes de distribución del circuito hidrométrico para la demanda máxima horaria de proyecto, se comportan de la siguiente manera:

La parte más baja siendo de la cota 11,55 m hasta cota 18,55 m el rango de presiones es de 21,37 mca a 27,32 mca. Se representa con el color violeta.

En la parte media siendo esta de la cota 21,83 m a la cota 26,035 m el rango de presiones es de 16,05 mca a 19,21 mca. Se representa con el color verde.

La parte más alta es de cota 28, m a la cota 31,0 m, el rango de presiones es de 14,11 mca a 10,42 mca. Se representa con el color rosado.

CONCLUSIONES

1. Se contribuyó a mejorar la eficiencia en el funcionamiento del sistema abasto de agua en el circuito hidrométrico, ya que en el mismo: se actualizaron los modelos de simulación teniendo en cuenta la caracterización de las demandas estimadas de explotación por tipo de usuarios, y la demanda de proyecto.
2. Del análisis de los resultados obtenidos se demuestra que en la generalidad de los casos, los valores de presiones obtenidos para los cálculos realizados para la demanda de explotación y la demanda máxima horaria de proyecto están en el rango establecido por la Norma Cubana **(NC-53-121/84)**. Los resultados de la presión para la demanda de explotación varían en un rango de 10,82 mca a 28,42 mca y la presión de la demanda de proyecto varia en el rango de 10,42 mca a 27,32 mca.

BIBLIOGRAFIA

1. Belón Mesa, R. y Fernández Basulto, A. (2001). Comparadores alternativos para determinación de cloro residual. V Congreso Internacional de Ingeniería Hidráulica. Pinar del Río, 2010.
2. González Trujillo, M. (1998). Estudio técnico de la red de abasto de agua potable a la zona del litoral. Trabajo de Diploma. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.
3. Hernández Rossié, A. D... [et al.]. (2001). Redes hidráulicas y sanitarias. C.I.H. ISP José Antonio Echeverría. CUJAE : Facultad de Ingeniería Civil, La Habana.
4. Martínez Rodríguez, J. B. (2001). El Concepto de garantía en las redes de suministro de agua potable. V Congreso Internacional de Ingeniería Hidráulica. Pinar del Río, 2001.
5. Martínez, J...[et al.]. (1986). Ingeniería hidráulica aplicada a los sistemas de tuberías. Valencia : Editorial Cabrera.
6. NC-53-121/84. Elaboración de proyecto de la construcción de acueductos. Especificaciones de proyecto. Oficina Nacional de Normalización.

7. Pérez Hernández, O. y Díaz Rodríguez, M. (2001). Gestión de operaciones del acueducto # 2 "San Juan" en la zona del litoral. V Congreso Internacional de Ingeniería Hidráulica. Pinar del Río, 2001.
8. Resolución No. 45/91. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Gaceta Oficial de la República de Cuba. La Habana. Edición Ordinaria.
9. Rojas, J. A. (1977). Acueducto. La Habana : Editora Pueblo y Educación.
10. Hernández, O. L. (2008). Cálculo de redes hidráulicas abiertas en edificios. 1. ed. México : Universidad Autónoma de Chapingo.
11. Añel, E. E. (2012). Analizar los parámetros de diseño de la red hidráulica del área docente mediante el uso del software WaterCAD v.7. Trabajo de Diploma. ISMM, Moa.
12. Ramírez, Y. (2013). Analizar los parámetros de diseño de la red hidráulica del área de residencia del ISMM mediante el uso del software EPANET. Trabajo de Diploma. ISMM, Moa.

Síntesis curricular de los Autores

* **Yulexi Guillén-Campo** bleyva@ismm.edu.cu Ingeniero hidráulico, Profesor, Departamento de industriales. Centro politécnico José Antonio Boizan. Moa Holguín, Cuba. Tel. 52 20 7276.

** **Benigno Leyva-de la Cruz** Ingeniero mecánico, MSc. en electromecánica, Profesor, Departamento de Ingeniería mecánica.

Institución de los autores

* Centro politécnico José Antonio Boizan. Moa. Holguín.

** Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín.

Fecha de Recepción: 26 de septiembre 2014

Fecha de Aprobación: 25 de marzo de 2015

Fecha de Publicación: 29 de mayo 2015