



Recibido 05/12/2025
Aceptado 22/01/2026

OPTIMIZACIÓN EN UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE IMPLEMENTANDO SUBSECTORES

OPTIMIZATION IN A DRINKING WATER SUPPLY SYSTEM BY IMPLEMENTING SUB-SECTORS.

Marcelino Morales Inocente¹, Guillermo Gómez Pulido¹, Jorge Alberto Castro Viazcan¹, Narciso Vicente Cruz¹.

¹ Calzada Dr. Víctor Bravo Ahuja Num. 561, Col. Predio el Paraíso, C.P. 68350, San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca.
Correo de autor de correspondencia: mmorales5750@gmail.com

RESUMEN

En la actualidad, existen problemas por la falta de agua y uno de los temas en cuestión es el desperdicio del vital líquido dentro de un sistema de abastecimiento de agua potable. Tal es el caso de las fugas, que contemplan una salida de agua no controlada dentro de un sistema hidráulico, ya sea por diversas causas, como fallas en su diseño, roturas en las tuberías, conexiones defectuosas o corrosión en la estructura de la red. El presente trabajo tiene como propósito contrarrestar el volumen de agua fugado. La metodología comprende desde un diagnóstico del funcionamiento hidráulico del sistema, aplicando un modelo matemático en el diseño de distribución para identificar los puntos de vulnerabilidad, hasta la propuesta de mejoras, implementando subsectores que controlen el caudal inyectado. Los resultados obtenidos al proponer una sectorización en la red, redujeron un 10 % la fuga de diseño, además de permitir un mejor control de las presiones y velocidades admisibles en los componentes del sistema, recuperando el 15 % del volumen fugado desde la fuente de abastecimiento hasta los consumidores. La falta de conocimiento respecto a las fugas nos afecta de gran manera, ya que no se tiene un concepto claro del volumen total que podría estarse perdiendo por una fuga no aparente. Por ello, es preciso implementar este tipo de acciones para mejorar los sistemas y evitar que se pierda el agua a lo largo de la vida útil de la red.

PALABRAS CLAVE

Palabras Clave: Fugas, volumen, presiones, velocidades, red de agua.

ABSTRACT

Currently, there are problems due to water scarcity, and one of the key issues is the waste of this vital resource within potable water supply systems. A clear example of this is leakage, which refers to uncontrolled water outflow within a hydraulic system. This can be caused by various factors, such as design flaws, pipe breakages, defective connections, or corrosion in the network's structure. The purpose of this study is to reduce the volume of leaked water. The methodology involves diagnosing the hydraulic performance of the system, applying a mathematical model to the distribution design to identify vulnerable points, and proposing improvements by implementing subsectors that regulate the injected flow. The results obtained through the proposed sub-sector led to a 10% reduction in design leakage, in addition to better control over the pressures and permissible velocities in the system components. Furthermore, 15% of the previously lost volume—from the water source to the end users—was recovered. The lack of awareness regarding leakages significantly affects us, as there is often no clear understanding of the total volume that might be lost due to non-visible leaks. Therefore, it is essential to implement this type of action to improve systems and prevent water loss throughout the lifespan of the network infrastructure.

KEYWORDS

Leaks, volume, pressures, speeds, water network.

INTRODUCCIÓN

La sectorización en los sistemas de redes de agua potable, también conocida como subsectores, o bien, áreas con medidores distritales, se originó en el Reino Unido durante la década de 1980. Esta técnica fue desarrollada para mejorar la eficiencia en la distribución de las redes hidráulicas, facilitando la detección y control de fugas (escapes de aguas), además de controlar las presiones en toda la estructura de la red al optimizar el caudal propuesto en el diseño. Su implementación permitió a las compañías de agua, reducir pérdidas y mejorar la calidad del servicio¹.

Algunas de las dependencias, como lo son; PUMAGUA, ANEAS, IMTA, SACMEX, CONAGUA, entre otras, en los últimos tiempos han integrado acciones dentro del programa de Manejo Sustentable del Agua para la República Mexicana, las cuales plantearon las siguientes propuestas y prioridades para la solución de la problemática en las zonas más urbanizadas en materia de agua, drenaje, alcantarillado y saneamiento¹. Por parte de la Ciudad de México, en el año 2004, fue iniciado el proyecto

de sectorización de redes, el cual, ha sido continuado como una respuesta a la problemática del desabasto de agua y al incremento poblacional en algunas zonas del suministro; dicha problemática ha dejado en condiciones desfavorables a las redes existentes, afectando su funcionamiento hidráulico en la longitud del sistema, ya que, se ha incrementado considerablemente durante los últimos años, dificultado su mantenimiento y operación, provocando algunas deficiencias y variaciones de presión en diversos puntos de la su estructura. Partiendo de un punto en específico, se tiene el presente tema de estudio, una zona urbanizada con un manejo muy desgastante en cuanto a la dotación de los habitantes, del cual, tienen problemas con el desabasto de agua potable por el mal funcionamiento del sector, dicho sector abastecido por los tanques Chalmista. Para apoyar a la población se implementaron estrategias para el suministro, atendiendo la problemática de la red ubicada en la colonia Barrio Candelaria Ticomán, perteneciente a la delegación Gustavo A. Madero, que muestra deficiencias, tanto por la falta de agua, así como el problema de las fugas en algunos puntos del sistema, ya que, por los desniveles del terreno se tienen presiones hasta 50 metros columna de agua (M.C.A.) [4].





En palabras de Chevallard [3]: “un contenido del saber sabio que haya sido designado como saber a enseñar, sufre un conjunto de transformaciones adaptativas que van a hacerlo apto para tomar lugar entre los objetos de enseñanza. El ‘trabajo’ realizado en un objeto de saber sabio para transformarlo en un objeto de enseñanza se llama transposición didáctica”. En la nueva propuesta, la transposición didáctica se concreta mediante la deducción simplificada de las ecuaciones principales. Dicha simplicidad se logra sin menoscabo del rigor matemático o físico. Por ejemplo, la deducción simplificada de la ecuación fundamental de la hidrostática parte de la imagen de la Figura 2a. Nótese la simplicidad comparada con la Figura 2b.

La alternativa de la sectorización ofreció la posibilidad de justificar el control activo de fugas en una forma eficiente, obteniendo información sobre la cantidad de agua que maneja todo el sector de la zona de estudio, permitiendo un mejor control sobre la red de distribución al proporcionar un entendimiento más preciso del comportamiento del agua en la misma. En el objetivo de implementar alternativas para el control de las fugas, se requirió aislar la red primaria de los sectores de la red secundaria, haciendo un nuevo sistema de subsectores, estas con la finalidad de controlar las presiones en las líneas de distribución y elaborar un balance que permitiera identificar y determinar el agua que se pierde por fugas, por sub medición y por tomas no autorizadas. Particularmente el modelo sectorizado requiere que una red primaria abastezca a una secundaria, de tal manera que el sistema cuente con válvulas reguladoras para que las presiones no sean excesivas.

MATERIALES Y MÉTODOS.

La metodología aplica estrategias en la reducción de pérdidas de agua, como se muestra en la figura 1.



Figura 1. Metodología aplicada para la sectorización.

Como primera propuesta se realiza la calibración en condiciones actuales de la red, partiendo de un modelo matemático con el software libre EPANET [3]. Este análisis es el estudio comparativo de las diferentes alternativas a proponer. Por ello, se estudió con el análisis estático y dinámico el comportamiento hidráulico de la red existente en de la zona estudio conocida Barrio Candelaria Ticoman, perteneciente a la delegación Gustavo A. Madero, Ciudad de México.

- La figura 2 representa el análisis estático: Consumo promedio en Litros Por Segundo (LPS).



Figura 2. Análisis Estático.

- La figura 3 representa el análisis dinámico: Consumo máximo de acuerdo a la curva de demanda durante 24 horas en (LPS).



Figura 3. Análisis Dinámico.

Para calibrar la red fue necesario conocer en forma detallada su topología: El material, la rugosidad, la longitud y el diámetro real de cada tubería, el coeficiente de pérdidas menores de cada accesorio y la topografía del lugar.

La dificultad central de la calibración es el desconocimiento de variables que eran constantes conocidas en el problema de la comprobación hidráulica de la red para su diseño original. Por cada variable que se libera, se debería incluir una ecuación o medición para mantener la solubilidad del sistema. Sin embargo, no existen más ecuaciones y es imposible tener un punto de medición por cada variable liberada por los costos a los que esto llevaría (Saldarriaga y salas, 2005).

2.1 DATOS DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EXISTENTE.

La estructura de la red mostrada en la figura 4 se encuentra con elevaciones de 2350 Metros Sobre el Nivel del Mar (m.s.n.m) empezando en la parte de arriba con la delimitación en color rojo y las curvas de nivel en color azul, con elevación de 2297 (m.s.n.m) proyectando un desnivel promedio 53 metros, además de sus secciones longitudinales de tuberías como se muestra en la imagen 5, (Rojo) Tubería de Polietileno de Alta Densidad (PAED) cuenta con una longitud 1.55 km y un diámetro de 12 pulgadas. Tubería asbesto-cemento cuenta con una longitud de 7.96 (km) y un diámetro de 6 (pulgadas). Tubería asbesto-cemento cuenta con una longitud de 16.81 (km) y un diámetro de 4 pulgadas. Tubería de Cloruro de Polivinilo (PVC) cuenta con una longitud de 0.53 (km) y un diámetro de 4 (pulgadas).



Figura 4. Topología de la estructura del sector en estudio.

2.2 APLICACIÓN DEL MODELO A CODIGO ABIERTO EPANET

Consta de tres entradas, como se muestra en la figura 5, con un consumo promedio total de 187 (LPS), para 456 puntos de interconexiones conocidas como nodos, equivalente el consumo por cada nodo de 0.41 (LPS), arrojando resultados de acuerdo a la evolución estática y temporal, en el funcionamiento del día.



Figura 5. Morfología del sector en estudio.

De la tabla 1. se puede observar que la relación al total de personas por tanques (GM-10, GM-11 y Candelaria No. 3) su población varía en porcentajes al número total de habitantes, GM-10 con un 20%, Candelaria No. 3, con un 30% y el tanque GM-11 con un 50%. La propuesta para los cálculos a la solución del número de habitantes se plantea como el resultado del total del área (80.916 ha.) multiplicando al porcentaje de personas (800 personas por hectárea) que para el total de área se tiene un total de 64,733 habitantes.

Tabla 1. Suministro de agua en las entradas del sistema.

TANQUE	VOLUMEN INYECTADO
GM-11	93.65 LPS
GM-10	37.46 LPS
Candelaria No. 3	56.19 LPS
TOTAL	187.31 LPS

El proceso de simulación se calculó por medio del análisis dinámico para emisores (calibración de fugas) de 0 a 0.0455, 0.02954 y 0.0651, considerando el 100% del consumo diario, con un 40% de fugas en el sistema. La calibración para los tanques de suministro GM-11 figura 6, Candelaria No. 3 figura 7 y GM-10 figura 8 se realizó con un total de 187 (LPS) y la comparación en relación a sus consumos arrojando una cantidad de 3,571.20 (m³) al día en los tres subsectores [6].

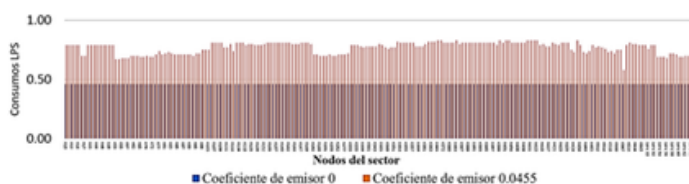


Figura 6. Evolución de la demanda base aplicando el 40% en fugas para el tanque GM-11. en modo dinámico.

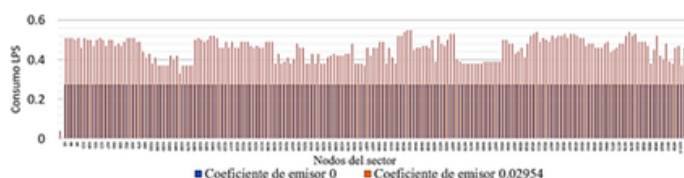


figura 7. Evolución de la demanda base aplicando el 40% en fugas para el tanque Candelaria No. 3 en modo dinámico.

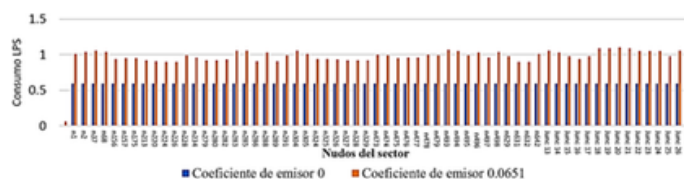


Figura 8. Evolución de la demanda base aplicando el 30% en fugas para el tanque GM-10 en modo dinámico.

2.3 PROPUESTA DE REHABILITACIÓN SECTORIZANDO LA RED DE DISTRIBUCIÓN.

Asignación de consumos en los nodos de la red representada en la tabla. 2, quedando una demanda de consumos por cada nodo de 0.46 (LPS) para el tanque GM-11, 0.27 (LPS) para el tanque CANDELARIA No. 3 y para los nodos que se suministran del tanque GM-10 igual a 0.59 (LPS).

Tabla 2. Asignación de consumos para las entradas del sistema.

CONSUMO TOTAL	APORTACIÓN	TANQUES	NODOS DE CONSUMO
187.31 LPS	50%	GM-11	203
	30%	Candelaria No.3	205
	20%	GM-10	63

De los resultados obtenidos en el diagnóstico de la red y conociendo los valores de la demanda, se deduce que, como primer objetivo, la red necesita tener la capacidad de suministrar la dotación en toda su estructura, es por eso que se propone a un cambio de tuberías que van de las existente con un diámetro de 100 (mm) a una de 150 (mm), en las secciones que a continuación se muestra en la figura 9.

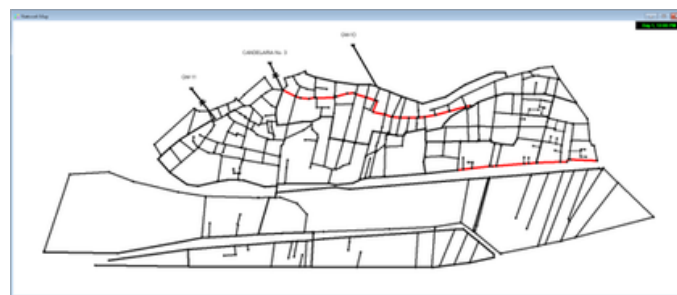


Figura 9. Mapa de la estructura de la red marcando el cambio de tubería.

Sabiendo que la sustitución de tuberías será con un diámetro mayor, se proponen dividir los sectores de acuerdo a los tanques de distribución, para tener un mejor control en el suministro, por ello el subsector para el tanque GM-10 en azul, para el tanque Candelaria No. 3 en negro y para el tanque GM-11 en verde, como se muestra en la figura 10.



Figura 10. Mapa de la estructura de la red marcando el cambio de tubería.



Los criterios a seguir para la división de subsectores, se muestran en la figura 11, parten de la infraestructura existente y de las diferentes zonas de presión en operación normal antes de iniciar el proceso, lo que resulta, una propuesta de sectorización, apoyado por las cotas de elevación, así como, las adecuaciones a éstas que pueden realizarse con ayuda de las recomendaciones que se tienen en los criterios del Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento [1].

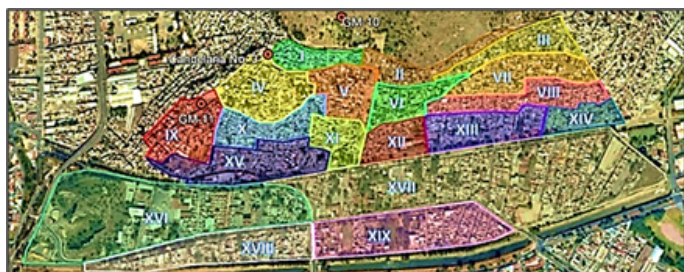


Figura 11. Mapa de 19 subsectores propuestos en la zona de estudios.

De modo que, de consigna inicial para la elección de las válvulas, no se disminuirá más del 65% del diferencial de presión existente entre la presión entrante y saliente en el sitio donde se instalarán, como se muestra en la figura 12. Las ubicaciones de las Válvulas Reductoras de Presión, así como los diámetros de las tuberías sobre las cuales se instalarán en cada una de ellas.



Figura 12. Localización de las VRP, Mapa de sectores propuestos.

RESULTADOS

Sé realizó la segunda simulación, arrojando resultados de acuerdo a la evolución temporal de 24 horas con la sectorización para el control de presiones, para una mejor eficiencia en el suministro horario, así también se analizan los nuevos resultados del suministro en las entradas, conociendo sus valores temporales nuevamente con respecto al día como se muestra en las figuras 13, 14 y 15.

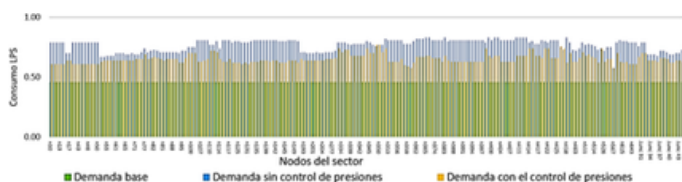


Figura 13. Comparativa de la demanda base con el sistema sectorizado en el tanque GM-11. en modo dinámico.

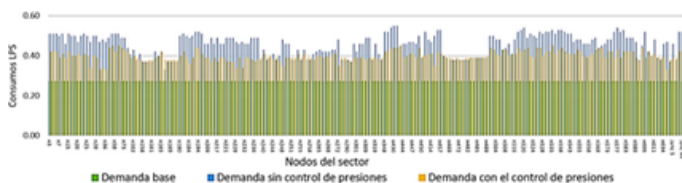


Figura 14. Comparativa de la demanda base con el sistema sectorizado en el tanque Candelaria No. 3. en modo dinámico.

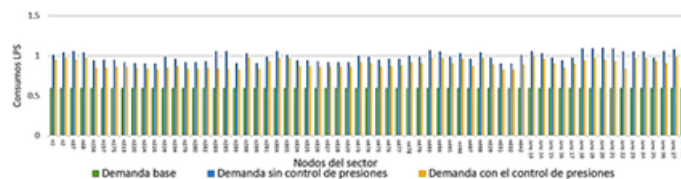


Figura 15. Comparativa de la demanda base con el sistema sectorizado en el tanque GM-10. en modo dinámico.

Con los resultados obtenidos se muestra claramente que el suministro antes de la sectorización se comporta de igual manera en las tres entradas, pero no distribuyen el mismo volumen de agua inyectado, ver figura 16.

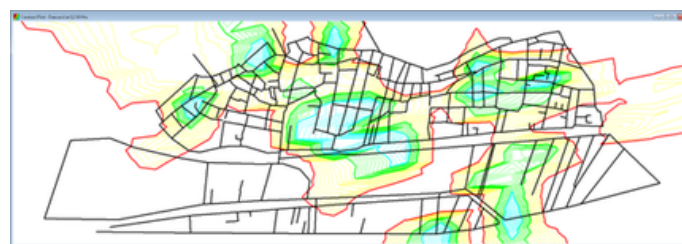


Figura 16. Demanda base antes de la sectorización en el sistema.

La evolución de la red sin el porcentaje de fugas, así como, la comparación de las presiones en toda la estructura, como se muestra en la figura 17, calificando el sistema eficiente, ahorrando un 15% en el diseño de las fugas, distribuyendo el caudal mínimo de 0.10 (LPS) en las zonas deficientes.

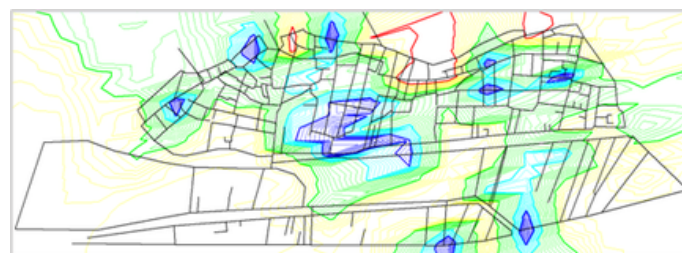


Figura 17. Suministro mínimo 0.10 LPS.

Las adecuaciones a ésta, en el día son de 3,806.89 (m³) y el gasto medio diario de 44.06 LPS, como puede verse en la tabla 3, donde aparecen los volúmenes recuperados y analizados antes de la sectorización 26,972.35 (m³) por día y después de la sectorización 23,165.57 (m³) por día dándonos un beneficio del 15 % en la eficiencia en la red de distribución ver la tabla 4.

Tabla 3. Volumen en LPS del sistema antes de la sectorización.

CONCEPTO	GASTO LPS	PORCENTAJE
Consumo	18.731	60%
Fugas	12.487	40%
DEMANDA	31.218	100%

Tabla 4. Volumen en LPS del sistema después de la sectorización.

CONCEPTO	GASTO LPS	PORCENTAJE
Consumo	18.731	70%
Fugas	8.081	30%
DEMANDA	26.812	100%

3.1 EFICIENCIA EN EL SISTEMA

El resultado de la calibración de la red de distribución ya sectorizada, y simulando los valores obtenidos para obtener las nuevas demandas el cual se comparan tanto con el control de presiones y sin el control de presiones como se muestran en las siguientes figuras, 18, 19 Y 20.

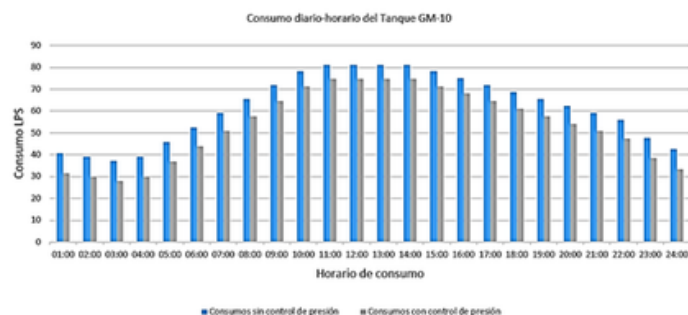


Figura 18. Comparación de consumos Diario-horario para el tanque GM-10.

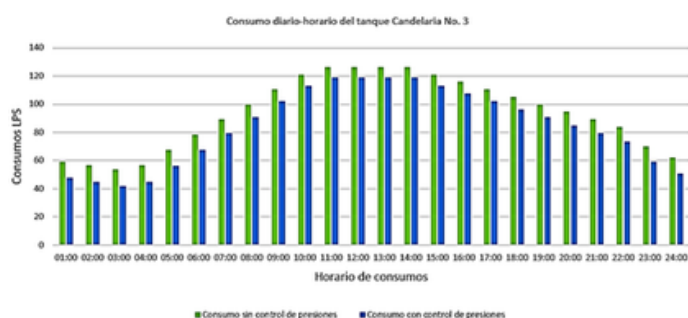


Figura 19. Comparación de consumos Diario-horario para el tanque Candelaria No. 3

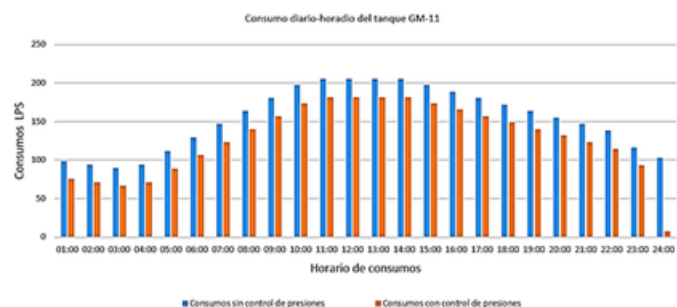


Figura 20. Comparación de consumos Diario-horario para el tanque GM-11

El caudal recuperado en el día es de 3,806.89 (m³) y el gasto medio diario es de 44.06 LPS, como puede verse en la tabla 5, donde aparecen los volúmenes recuperados y analizados antes y después de las simulaciones.

Si se toma en cuenta la distribución en la hora de mayor demanda 12:00 hrs, Se puede apreciar como el 75% de las tuberías presentan un caudal inferior a los 2 (LPS) y un 65% con un caudal inferior de 1 (LPS) como se muestra en la figura 21.

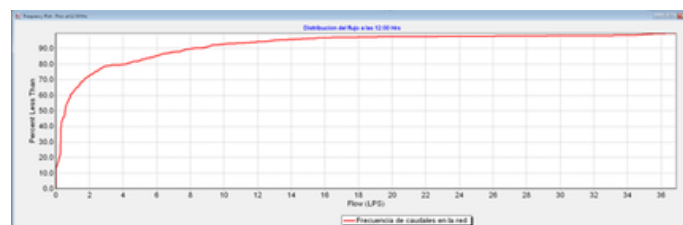


Figura 21. Porcentaje de caudales en las tuberías del sistema a las 12:00 hrs.

Al analizar los caudales en las horas de mínimo consumo se aprecia que el 83% de las tuberías no transportan caudales con más de 2 (LPS), mientras que el 75% registra caudales por arriba de los 1 (LPS), como se muestra en la figura 22.

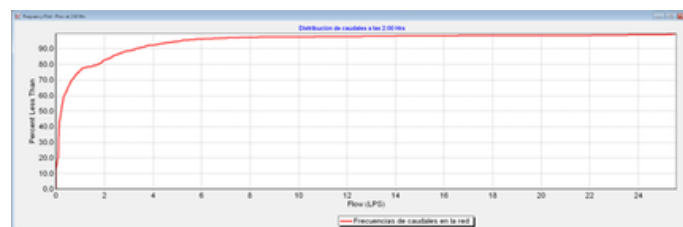


Figura 22. Porcentaje de caudales en las tuberías del sistema a las 2:00 hrs.

Se observa como la velocidad de circulación del agua es inferior a 2 m/s en la mayoría de las conducciones. De hecho, la curva de distribución indica que prácticamente el 93% de las tuberías de la red tienen velocidades inferiores a 2 m/s en hora del día medio, como se muestra en la figura 23.



Figura 23. Velocidades en las tuberías del sistema a las 12:00 hrs.

No obstante, existen tuberías aisladas con velocidades relativamente altas en las que la pérdida de carga es considerable.

En cuanto a las velocidades, a la hora de mínimo consumo se tiene lo siguiente, el 97 % de todas las tuberías no alcanzan velocidades con un máximo de 1 m/s, con lo cual es evidente que en general las pérdidas de carga en el sistema no son demasiado altas por parte de estos valores de velocidad, ver figura 24.



Figura 24. Velocidades en las tuberías del sistema a las 2:00 hrs.



Los valores de las velocidades en las diferentes tuberías, al igual que ocurría con los caudales no presentan una gran variación.

Al analizar el diagnóstico del funcionamiento de la red, lo más importante es el nivel de presiones. En este caso, va a estar ligado a las cotas del terreno. En la figura 25 se corresponde con el mapa de presiones de la red de distribución a la hora de mínimo consumo.

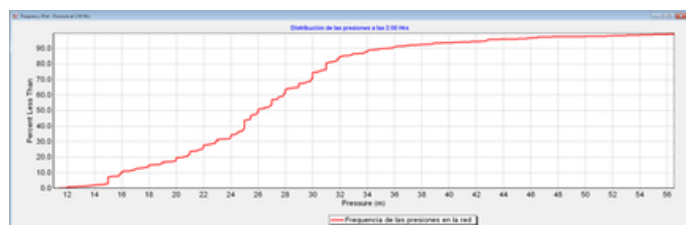


Figura 25. Variación de las presiones del sistema a las 2:00 hrs.

En general, los valores de presión en los nudos del modelo en hora de mayor consumo, se encuentran entre los 15 y 45 (m.c.a.), con lo que comprobamos la disparidad de presiones dependiendo de la zona de la red. El 50% de los nudos de consumo posee una presión de servicio en hora punta por debajo de los 26 (m.c.a.), encontrando un 10% de puntos con presiones inferiores a los 16 (m.c.a.), en horas de mínimo consumo.

A continuación, se muestran las presiones en los diferentes nudos de la red de distribución para las horas de máximo consumo la cual solo el 5% de las presiones está por debajo de los 15 (m.c.a.), como se muestra en la figura 26.

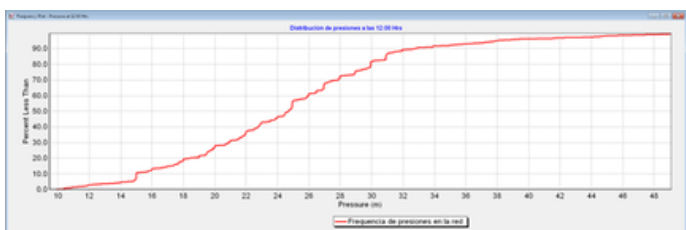


Figura 26. Variación de las presiones del sistema a las 12:00 hrs.

Como resultado de la propuesta de rehabilitación presentada, se concluye que existe una relación entre los altos niveles de presión que conlleva al aumento de fugas, en la red de distribución de agua potable, debido a diferentes factores, como las cotas que van de los 20 (m.c.a) a los 150 (m.c.a) o bien, la mala instalación de tuberías en las tomas clandestinas ocasionadas por los usuarios, que contempla el porcentaje de fuga analizado en el presente trabajo.

CONCLUSIONES

La red de distribución después de la sectorización ayudó a promover los análisis para la eficiencia de un sistema, ya que, en muchos sectores de Ciudad de México y no precisamente en el área de estudio, tienen el mismo problema. Así también, se hace énfasis a los objetivos que fueron alcanzados con un amplio factor de confiabilidad en el proceso del diagnóstico y resultados de la misma detectando las zonas de mayor presión.

El gasto medio-diario, así como el ahorro en el volumen de agua tuvieron una reducción en el consumo de las cuales fueron para los tanques.

- Tanque GM-10 una media de caudal inyectado en el día de 61.75 LPS - 53.77 (LPS) y un volumen total de 5,335.27 (m³) - 4,646.34 m³. (688.93 m³ 12.92 %)
- Tanque Candelaria No.3 una media de caudal inyectado en el día de 93.82 (LPS) - 84.24 (LPS) y un volumen total de 8,105.72 (m³) - 7,281.83 (m³). (823.89 m³ 10.16 %)
- Tanque GM-11 una media de caudal inyectado en el día de 153.94 (LPS) - 127.38 (LPS) y un volumen total de 13,300.13 (m³) - 11,006.06 (m³). (2,294.07 m³ 17.25 %)

Ahora bien, teniendo los resultados se deduce que:

- Las presiones no rebasan los 40 metros columna de agua (m.c.a.).
- Las zonas de presiones negativas ahora reciben la presión adecuada que van de los 15 a 35 (m.c.a.)
- Los consumos en la red son eficientes de acuerdo al recorrido del flujo.
- Las velocidades son las adecuadas que van del 1 a 2.5 (m/s).

Los sectores de la red se hicieron más entendibles, de como se presentó en un inicio, por lo que ahora con el nuevo diseño, cuenta con puntos claves en la zona para empezar, o bien, para proponer alternativas de solución a futuro. Comparando la evolución de la red sin el porcentaje de fugas, se implementó el modelo de calibración y se comprobó que la sectorización es adaptable para ambos problemas (red con fugas y sin fugas), puesto que estando la red en óptimas condiciones genera mayor presión el flujo en el recorrido de las tuberías.

El contenido final del presente trabajo de investigación, fueron una serie de graficas de cual nos hace más entendible el funcionamiento del sistema, así como el planteamiento del procedimiento numérico en el cual facilitó el diagnóstico de la red de distribución de agua potable en el área de estudio y hacer posible su rehabilitación en toda su estructura, optando por la formación de subsectores en la red. Algunos de los problemas en la elaboración de los trabajos se derivaron por la falta de los datos en el sistema, puesto que la red nunca ha contado con medidores, tampoco cuenta con un mantenimiento apropiado con las válvulas de seccionamiento, lo cual fueron ocasionando dudas a la hora de plantear las presiones máximas en zonas críticas de la red.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la comunidad de investigación del Instituto Politécnico Nacional (IPN), por el apoyo y las recomendaciones para culminar el presente tema de investigación, ya que, las facilidades en cuanto a los permisos y visitas a las instituciones pertinentes que contaban con la información, fueron las idóneas en todo el proceso de formación, en especial a la dependencia de Sistemas de agua de la ciudad de México (SACMEX Cuauhtec) representadas por el Ing. Mario Huerta, actual docente del IPN-ESIA-UZ del área de hidráulica, que nos brindó su apoyo en lo que respecta a la información requerida de la red.

REFERENCIAS

- [1] Sistema de Aguas de la Ciudad de México 2012.- "El gran reto del agua en la Ciudad de México". Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- [2] Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Comisión Nacional del Agua (2007). - "Modelación Hidráulica y de Calidad del Agua en Redes de Agua Potable".
- [3] Grupo Multidisciplinario de Modelación de Fluidos 2005.- "EPANET 2, Manual del Usuario". Universidad Politécnica de Valencia. España.
- [4] SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO (SACMEX) 2010, informe final del circuito 7, SACM, México.
- [5] José Antonio Gonzales Moreno, octubre de 2012. Introducción a las pruebas hidrostáticas.
- [6] Temario MADERO 2000 Delegación Gustavo A. Madero.
- [7] M. en I. Gerardo Toxky López Tesis 2012 LA SECTORIZACIÓN EN LA OPTIMIZACIÓN HIDRÁULICA DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.
- [8] Peralta Moreno Jorge. REGULARIZACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA ZONA NORTE DE CD. NETZAHUALCÓYOTL, EDO. MÉXICO. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- [9] Almandoz, J., Cabrera E., Arregui, F., Cabrera Jr. E. y Cobacho, R. (2005). "Leakage Assessment through Water Distribution Network Simulation". Journal of Water resources Planning and Management, 131(6), 458-466.
- [10] AWWA, American Water Works Association, (1990). Water audits and Leak Detection, M36. AWWA editorial, Denver, Colorado
- [11] Biehl, W. y Inman, J. (2010). "Energy optimization for water systems". Journal of AWWA. 102 (6), 50-55.
- [12] Boulos, P. y Bros, C. (2010). "Assessing the carbon footprint of water supply and distribution systems". Journal of AWWA. 102 (11), 47-54.



- [13] Cabrera, E., Pardo M. A. y Cobacho, R., 2011. "Agua, energía y eficiencia o el inaplazable reto de la sostenibilidad (I)". VII Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua "Ríos Ibéricos +10. Mirando al futuro tras 10 años de DMA". Talavera de la Reina 2011.
- [14] Cabrera, E., Pardo M. A., Cobacho, R. y Cabrera E. Jr., (2010). "Energy Audit of a water Distribution network". Journal of Water Resources Planning and Management ASCE, 136 (6), 669-677.
- [15] Guerequeta, A. y Vallecillo, A. (2004). Técnicas de Desarrollo de Algoritmos. 1ª edición. Capítulo 4 - páginas 10.
- [16] Lambert, A.O., Brown T.G., Takizawa M. y Weimer D. (1999). A Review of performance indicators for real losses from wáter supply systems. AQUA, Vol. 48 No 6.
- [17] Pardo, M.A., 2010. "Influencia de los costes del Agua y de la energía en la renovación de tuberías" Doctoral Thesis. Valencia. <http://hdl.handle.net/10251/8426> (In Spanish).
- [18] Rossman, L.A. (2000). EPANET Version 2 Users Manual. US Environmental Protection Agency, Drinking Water Res. Div., Cincinnati.
- [19] Thornton, J. (2003). Managing Leakage by Managing Pressure. Water 21, October 2003.
- [20] Instituto de Ingeniería UNAM 2005.- Estudio de la problemática de las acciones de reducción de fugas en las redes de agua potable y propuesta para mejorar su eficiencia, Convenio de colaboración CNA-SGIHU,-GEP-001/2006, proyecto 5125, México.
- [21] Vaca Badillo, Isaac, 2004. - Investigación y Posgrado de la Ingeniería Hidráulica en México, Propuesta de Temas de Investigación e Indicadores, Tesis de grado, IPN Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, México.
- [22] Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM) 2009. - Informe final de Sectorización, SACM, México.
- [23] Rossman, Lewis A. 2002. - EPANET 2 Manual de Usuario, Versión 2.0 vE, U.S. Environmental Protection Agency EPA-GMF, traducción del Grupo multidisciplinar de modelación de fluidos de la Universidad Politécnica de Valencia, USA.
- [24] Planeación, sistemas y control S.A. de C.V. 1996. - Trabajos de campo para la recopilación de información y encuestas para la cuantificación de caudales perdidos en las redes de agua potable del Distrito Federal. Departamento del Distrito Federal, Secretaría de Obras y Servicios, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, México.
- [25] Herrera, M. (2011a). Improving Water Networks Management by Efficient Division into Supply Clusters. PhD Thesis, Universitat Politècnica de Valencia, Valencia, España.
- [26] Hastie, T., Tibshirani, R. and Friedman, J. (2009). Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference and Prediction. New York: Springer-Verlag.
- [27] Handl, J., Knowles, J. and Kell, D. (2005). Computational Cluster Validation in Post-Genomic Data Analysis. Bioinformatics (21): 3201-3212.
- [28] Han, J. Kamber, M. y Pei, J. (2012). Data mining concepts and techniques. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- [29] Han, J., Kamber, M. and Pei, J. (2006). Data Mining: Concepts and Techniques. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- [30] Julian Thornton, Reinhard Sturm, George Kunkel, 2002. - P.E. Water Loss Control, Second Edition, Editorial Mc. Graw Hill. 2008.
- [31] Lambert, A.O., Fantozzi M. (2005). Recent advances in calculating Economic Intervention Frequency for active leakage control, and implications for calculation of economic leakage levels. Proceedings of IWA International Conference on Water Economics, Statistics and Finance, Cret, 2005.
- [32] Lambert, A.O. y Lalonde, A. (2005). "Using practical predictions of economic intervention frequency to calculate short-run economic leakage level, with or without pressure management." IWA Third International Conference on Water Loss Reduction. Leakage 2005. Halifax (Canada).
- [33] Thornton, J. & Lambert, A. (2005). Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships. Proceeding of IWA Specialised Conference 'Leakage 2005', Halifax, Nova Scotia, Canada.
- [34] Mateos De Vicente Manuel 2000. - Válvulas Reductoras de Presión, Clasificación, Descripción, Errores y Soluciones, Editorial BELLISCO, Colección Obras Hidráulicas. España.
- [35] J. Luis Alanís Legaspi 2015, Diseño de un sector de la red de distribución de agua potable del Distrito Federal. Proyecto 2 Trabajo de la especialidad en redes de agua potable. UNAM Universidad Nacional Autónoma de México.