

APLICACIÓN DE MODELOS EN LA SECTORIZACIÓN DE REDES DE AGUA POTABLE EN CIUDADES. CASO DE ESTUDIO: SAN LUÍS RÍO COLORADO, SONORA, MÉXICO

Víctor Javier Bourguett Ortiz¹; Víctor Hugo Alcocer Yamanaka², Velitchko Tzatchkov²

Resumen – La mayoría de los sistemas de agua potable en México sufre grandes pérdidas por agua no contabilizada, debidas en gran medida al hecho que las redes se abastecen por múltiples fuentes interconectadas, lo que dificulta el control del agua entregada y consumida. Para dar solución a esa problemática, en las últimas dos décadas en el país se llevan a cabo trabajos de sectorización de las redes de agua potable, que en principio consisten en dividir la red de la ciudad en varias subredes o sectores más pequeños con una o máximo dos entradas de agua por sector. Para diseñar los sectores se emplean modelos de redes de agua potable, que revisan si la sectorización propuesta puede funcionar hidráulicamente de manera adecuada. En este artículo se presentan las experiencias de la aplicación de modelos de este tipo en una ciudad mediana (180,000 habitantes), abastecida por pozos con bombeo directo a la red.

Abstract – Many Mexican cities experience considerable losses by unaccounted-for water. The reasons for that are many, being one of the most important of them the existence of multiple water sources interconnected by the network itself since it is difficult to control the water supplied and consumed in such conditions. In order to improve this situation, sectorization projects have been carried out in the country in the last two decades, that consist in principle in dividing the whole city distribution network in several smaller networks with one or at most two supply points. Water distribution network models are used to revise hydraulically any proposed sectorization. In this paper experiences of the application of such models to a medium-size city (180,000 inhabitants) supplied by deep water wells are presented.

Palabras clave: Sectorización de redes, modelos de redes de distribución, sistemas de abastecimiento de agua.

Keywords: Sectorization of distribution networks, distribution networks models, water supply systems.

¹ Subcoordinador de Hidráulica Rural y Urbana – Instituto Mexicano de Tecnología del Agua – Coordinación de Hidráulica – Paseo Cuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso – CP 62550 – Jiutepec, Mor. (México) – Tel: (+52) 777 3293600 – Fax: (+52) 777 3293678 E-mail: vbougue@tlaloc.imta.mx

² Especialista en Hidráulica – Instituto Mexicano de Tecnología del Agua – Coordinación de Hidráulica – Subcoordinador de Hidráulica Rural y Urbana – Paseo Cuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso – CP 62550 – Jiutepec, Mor. (México) – Tel: (+52) 777 3293600 – Fax: (+52) 777 3293678 E-mail: valcocer@tlaloc.imta.mx; velitchk@tlaloc.imta.mx

INTRODUCCIÓN

Por datos oficiales (Ochoa y Bourguett, 2001), en las ciudades mexicanas se pierde un 36% del agua potable suministrada. La población del país ha crecido enormemente en las últimas décadas. Mientras que en el año 1950 la población del país era de unos 26 millones de habitantes, actualmente es de más de 100 millones. La mayor parte del crecimiento poblacional se ha dado en las ciudades, muchas de las cuales han multiplicado su tamaño. Ese crecimiento, en extensión y en densidad de población, ha obligado a cambios en la infraestructura de agua potable para responder a nuevas necesidades. Desafortunadamente, en muchas ocasiones los cambios se han realizado para dar una solución temporal, y con el paso de los años se han quedado permanentes. En resultado, en muchas ciudades se tienen ahora redes de agua potable grandes abastecidas por varias fuentes interconectadas entre sí por medio de la propia red. En estas condiciones es difícil controlar el agua entregada y consumida, que es una condición indispensable para un diagnóstico y reducción de las pérdidas de agua. Por lo anterior, en las últimas dos décadas en México, la solución a este tipo de situaciones, ha sido la de *sectorizar* la red en cierto número de subredes separadas, con pocas o en el mejor de los casos, con una sola alimentación por sector, para poder medir el caudal que ingresa a cada uno de éstos, y área de influencia bien definida. Físicamente la sectorización se realiza cerrando válvulas, mediante cortes en ciertos tramos, o con la construcción de tuberías nuevas que permitan una mejor redistribución del flujo de la red. Para analizar las posibles alternativas de sectorización se requiere de la implementación de un modelo computacional que represente la situación actual de la red simulada (para fines de diagnóstico) y los posibles efectos de una sectorización u otras soluciones hidráulicas.

La red de agua potable de San Luis Río Colorado, Sonora, presenta una problemática similar, fundamentalmente por el desconocimiento de las áreas de influencia de las fuentes de abastecimiento producto de la interconexión de los pozos localizados dentro de la ciudad, que repercute en una baja eficiencia física y una dotación bastante alta. En este artículo se presenta el desarrollo de un modelo de sectorización de esa ciudad, con un énfasis en las mediciones de campo que se requirieron, y las circunstancias de orden práctico que se encuentran en ese tipo de proyectos en México (Alcocer *et al.* 2005).

CARACTERÍSTICAS DE LA CIUDAD Y EL SERVICIO DE AGUA POTABLE

La ciudad de San Luis Río Colorado se encuentra en el estado de Sonora, en la propia frontera entre los Estados Unidos de Norteamérica y México, prácticamente en un punto común de cuatro estados: Sonora y Baja California en México, y California y Arizona en los Estados Unidos de Norteamérica (Figura 1). Su clima es templado, con escasas lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 15.00 milímetros y temperaturas que oscilan de -2,0 a 50,0° centígrados. En la región predomina el suelo de tipo arenoso propio de las zonas desérticas. La carretera federal No. 2, cruza por el centro comercial de San Luis Río Colorado y por ella se llega a las principales ciudades del sur del estado y del país, así como a Mexicali, Tijuana y Tecate, importantes puntos ubicados en la frontera con Estados Unidos. La situación geográfica de esta ciudad la ha colocado como una importante frontera para el transporte de mercancías hacia grandes centros financieros tales como San Diego y Los Ángeles, en California y Yuma, Phoenix y Nogales en Arizona.

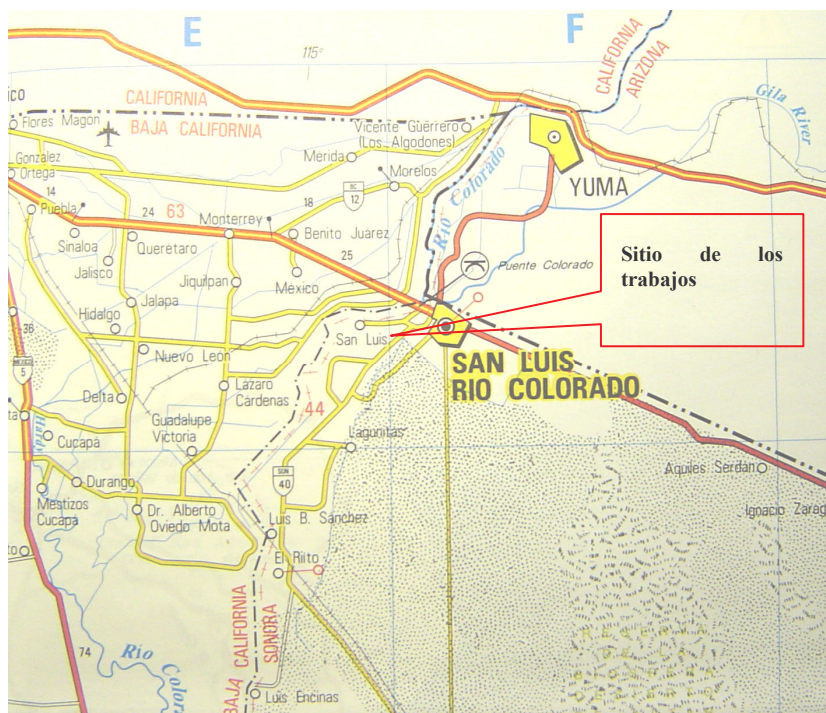


Figura 1 - Localización del sitio de los trabajos

De acuerdo con el Organismo Operador Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de la ciudad (OOMAPAS) se tienen los siguientes indicadores de agua potable:

Cobertura de agua potable:	96%
Producción:	2'734,070 m ³ /mes
Dotación:	708.91 L/hab/día
Número de tomas:	48,400

La clasificación de las tomas por tipo de usuario y estado de medición del consumo se muestra en las Tabla 1 y 2.

Tabla 1 Clasificación de tomas por tipo de usuario

Tipo	Doméstica	Comercial	Industrial	TOTAL
No. de tomas	45,850	2,445	105	48,400

La red de agua potable tiene una antigüedad de hasta 50 años aproximadamente y se compone de tuberías de asbesto cemento y PVC de diámetros que comprenden los 3 a 24 pulgadas, incluidos tramos de 15" que no son comerciales. Las fuentes de agua potable son pozos que bombean directamente a la red. No hay tanques, y la red está completamente interconectada (no hay separación entre las áreas de influencia de los pozos). Algunos de los pozos están equipados con variadores de velocidad, que por lo general hacen que la bomba siga la variación de la demanda y la paran en horas de la noche.

Tabla 2 Clasificación de tomas con y sin medidor

Tipos	Medido	No medido	TOTAL
Doméstica	29,940	15,910	45,850
Comercial	2,010	435	2,445
Industrial	90	15	105
TOTAL	32,040	16,360	48,400

El servicio de agua potable es continuo, algo que no es común en México. El consumo de agua potable se incrementa considerablemente (más de 40%) en los meses de verano, debido probablemente al uso de aparatos de enfriamiento evaporativo, llamados en el lugar “coolers”, por su nombre en inglés.

Con base en sus ingresos y egresos monetarios, el organismo operador reporta una eficiencia de 72 por ciento.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo de este estudio es con base en la implementación de un modelo de simulación hidráulica de la red de agua potable de la ciudad de San Luis Río Colorado y análisis correspondientes, generar recomendaciones para sectorización y otras acciones dirigidas a incrementar la eficiencia del organismo. Asimismo se tienen los siguientes alcances producto del objetivo anteriormente planteado:

1. Desarrollar un modelo de simulación hidráulica de la red de distribución, con una base de datos debidamente actualizada y representativa de las condiciones reales de operación, que a partir de este, permita la formación de distritos hidráulicos y la planeación que abarque el crecimiento de la ciudad y el futuro desarrollo del sistema.
2. Proponer una sectorización de toda la ciudad tomando en cuenta la ubicación actual de los pozos y definiendo áreas de influencia de cada uno de ellos.
3. Capacitar al personal del Organismo Operador sobre el manejo del modelo de simulación hidráulica, para que sirva como herramienta principal de análisis hidráulico y operación de la red de distribución, de tal forma que el Organismo Operador sea capaz de efectuar sus propios diseños, ampliaciones o modificaciones, con el criterio de sectorización, costo mínimo, suministro continuo y eficiencia en la distribución.
4. Calibrar el modelo de simulación hidráulica a través de mediciones de presión y de caudal en las fuentes de abastecimiento de la ciudad y dentro de la red de distribución.

En este artículo se describe la primera etapa del proyecto que considera la demanda de invierno solamente, con 10 pozos en operación. En condiciones de verano se incorporan otros 9 pozos.

MODELO DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA UTILIZADO

Para analizar la situación actual y las diferentes alternativas de sectorización, se utilizó el Sistema de Cómputo de Análisis y Diseño de Redes (SCADRED) del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. El sistema corre dentro de AutoCAD, y puede realizar análisis de flujo permanente y no permanente en la red. En Tzatchkov e Izurieta (1996) se describe una de las primeras versiones del SCADRED. Para los fines del presente proyecto, al sistema se agregaron facilidades adicionales de definición y visualización de áreas de influencia, y detección de errores. Esas facilidades adicionales, y los algoritmos correspondientes, se describen en un artículo separado (Tzatchkov *et al.* 2005).

INFORMACIÓN DE PARTIDA

El OOMAPAS proporcionó planos digitales en AUTOCAD® con la traza urbana de la ciudad (calles y lotes) y trazo de las tuberías de la red de agua potable, datos de la facturación de agua potable, datos de las bombas (modelo y curva característica), y sus registros de caudal y niveles dinámicos en los pozos. Se encontraron inconsistencias en esa información, como se describe a continuación.

El OOMAPAS tenía varios planos de la red de distribución de agua. Ninguno de ellos tenía una escala. En un principio se obtuvieron cuatro planos diferentes del catastro de la red de agua potable, a partir de ello se eligió el de más reciente creación o modificación. Por otra parte, con el apoyo del gobierno local se obtuvo la planimetría georeferenciada de la ciudad de San Luis Río Colorado, con lo que fue posible reescalar el plano seleccionado de la red de agua.

Se introdujo el trazo de la red de distribución completa de la ciudad dentro del sistema SCADRED, incluyendo tuberías de 3 pulgadas y mayores. Usando las facilidades del sistema, se procedió a revisar posibles errores. La red de agua resultó de 1,954 nodos y 2,706 tramos. A partir de este proceso, se detectaron al menos 131 errores en el plano, como los siguientes:

1. Tramos de tubería inconclusos sobre todo en cruceros. En forma conjunta con el OOMAPAS se definió si existía conexión o no del tramo analizado hacia el cruce.
2. Válvulas que existen dentro de la red de distribución y no se encuentran incluidas dentro del plano.
3. Incertidumbre en la configuración de algunos cruceros.
4. Incertidumbre sobre la ubicación exacta de válvulas.

Todas y cada una de las observaciones fueron analizadas en gabinete y en campo. Para esto último fue necesario el respaldo de una brigada que el OOMAPAS designó especialmente.

El OOMAPAS presentó dos versiones sobre la producción en los pozos. La primera de ellas, con datos del 2004, reporta un caudal total extraído de 1,730 litros por segundo. En la segunda, correspondiente al año 2004 también, se obtuvo un total de caudal extraído de 1,419 litros por segundo. Esto resulta 18% mayor con relación a la fuente de información previa. Cabe señalar que esas estimaciones del caudal se basan en mediciones esporádicas puntuales con medidor portátil en la salida de los pozos, sin considerar que en realidad el caudal es variable durante el día, debido a la variación de la demanda. Las inconsistencias sobre la producción de los pozos motivaron a realizar nuevas mediciones de caudal con una duración de 7 días en cada uno de los pozos con el objetivo de obtener la evolución del caudal en cualquier día de la semana. Antes de las mediciones fue necesaria la excavación de cepas y construcción

de registros con tapas necesarios para la seguridad de los equipos de medición. Se cuidó que la distancia a la cual se instalaran los equipos de medición ultrasónica, antes y después de un accesorio, dispositivo de control o cambio de dirección fuera mínimo de 5 veces el diámetro de la tubería. El dimensionamiento de los registros garantiza la entrada de una persona a las mismas.

MEDICIÓN EN CAMPO

Mediciones de caudal

El caudal de cada uno de los pozos se monitoreó a la salida del mismo. Algunos pozos tienen más de una salida, por lo que fue necesario colocar un medidor de caudal en cada salida. Para ello fue necesario preparar un programa de trabajo. Existen dos factores los cuales definen este proceso:

- El número de medidores ultrasónicos disponibles (cuatro en este caso)
- El número de salidas ubicadas en cada uno de los pozos seleccionados
- Número de pozos en operación.

Las actividades realizadas se muestran a continuación:

- a) Instalación de medidores de flujo tipo ultrasónicos tiempo tránsito en cajas de válvulas previamente construidas.
- b) Recopilación diaria de información almacenada en las bitácoras electrónicas de registro de datos (data loggers).
- c) Obtención de presiones en trenes de descarga de pozos.
- d) Cambio de ubicación de equipos según programa elaborado.
- e) Obtención de la presión manométrica en tomas domiciliarias dentro de la red de distribución, para conocer la distribución de ésta en la red

La medición se llevó a cabo con equipos Badger Meter 7000 y Dynasonics TFX, los cuales se colocaron durante siete días continuos en cada pozo y con intervalos de registro de un minuto. En la Figura 2 se muestra la evolución del caudal medido para uno de los pozos equipado con variador de velocidad. Se observa que el gasto máximo se presenta entre las 08:00 y las 18:00 horas alcanzando un valor de entre 120.0 y 130.0 l/s. Después de este periodo el gasto cae de forma lineal hasta alcanzar un valor de 0.0 l/s entre las 18:00 y las 24:00 horas manteniéndose en este valor hasta las 08:00 horas del día siguiente. Este comportamiento se debe al variador de velocidad.

En la Figura 3 se muestra la evolución del caudal medido para otro pozo que no tiene variador de velocidad. Se observa que el gasto máximo se presenta entre las 11:00 y las 14:00 horas alcanzando un valor de entre 70.0 y 75.0 l/s, incluso máximos que alcanzan los 140.0 l/s durante el resto del día el gasto se mantiene en los 50.0 l/s.

En total, las mediciones de caudal mostraron un volumen de producción de 1'836,304.17 m³/mes. Por su parte los registros de producción del OOMAPAS reportan un volumen de 2'482,752.33 m³/mes, esto se traduce en una diferencia de 646,448.16 m³/mes, o bien, 249.40 litros por segundo. Lo anterior es equivalente al caudal que se extrae de los pozos 1, 16, 18 y 20. Esta diferencia afecta directamente el cálculo de la eficiencia física y global del organismo operador y la dotación que con se proyecta actualmente.

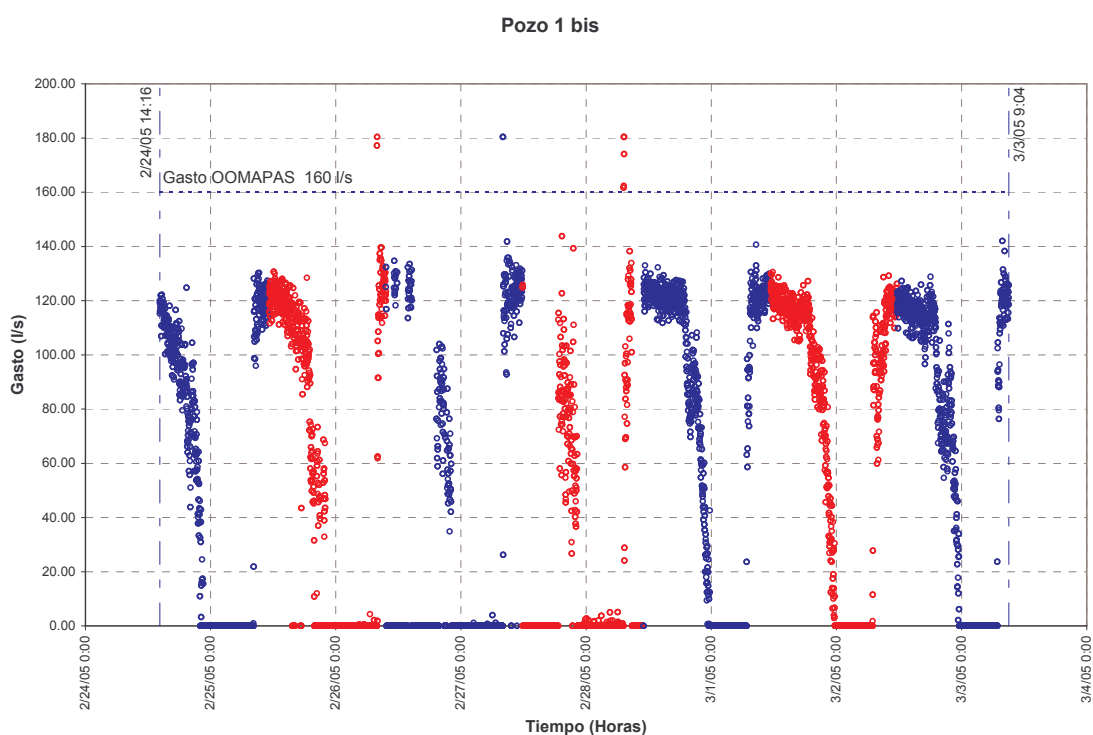


Figura 2 - Evolución del caudal medido en el Pozo 1 (equipado con variador de velocidad).

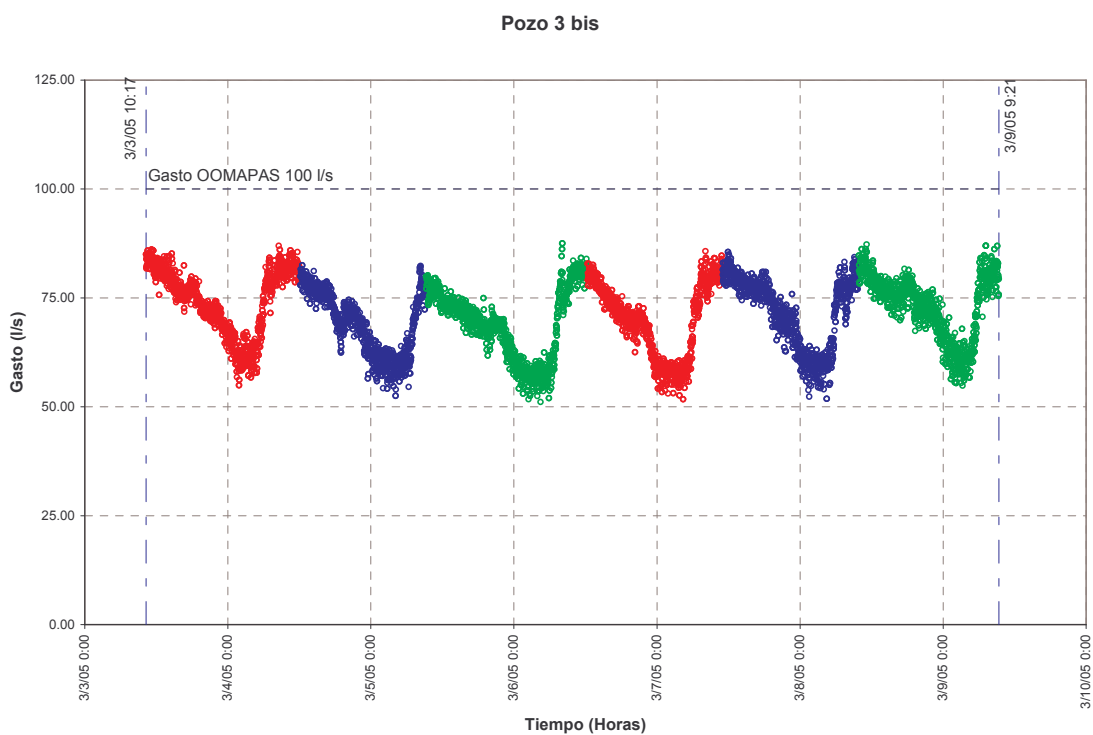


Figura 3 - Evolución del caudal medido en el Pozo 3 (sin variador de velocidad).

Medición de presión en los pozos

Las presiones en los pozos se midieron utilizando los manómetros colocados en los trenes de descarga. Estos manómetros tienen una aproximación de 2 lb/in^2 . Los valores fueron convertidos a Kg/cm^2 y así es como aparecen graficados. En la Figura 3 se observa el comportamiento de la presión para los pozos 1, 3, 10 y 17. Las presiones varían de 1.5 hasta 2.1 Kg/cm^2 .

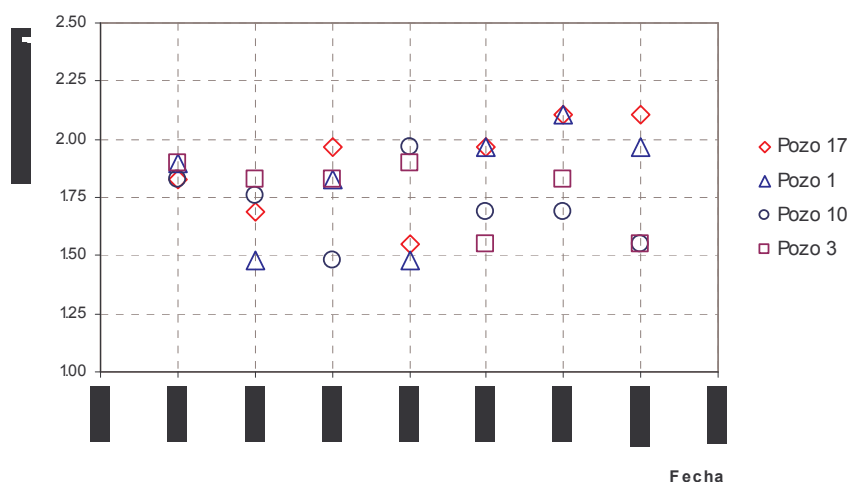


Figura 4 - Comportamiento de la presión para los pozos 1, 3, 10 y 17

Mediciones de presión en la red de distribución

Con objeto de llevar a cabo la calibración del modelo numérico de la red de distribución se efectuaron mediciones de presión en tomas domiciliarias dentro de la red de distribución. Las presiones se midieron con ayuda de un dispositivo elaborado a partir de tubería de cobre, niples y válvulas, así como un manómetro de glicerina marca Metrón. En total se realizaron 114 lecturas de presión dentro de la red, la presión máxima leída fue de 2.35 Kg/cm^2 , y la presión promedio de 1.58 Kg/cm^2 .

Medición de niveles dinámicos en pozos

Se utilizó una sonda eléctrica, que consiste en dos alambres con forro de goma o plástico, una fuente de energía eléctrica (baterías), y un amperímetro. El circuito eléctrico se forma por: batería, timbre o amperímetro, alambre que baja al pozo, alambre que sube del pozo y que conectándolo con la batería, completa el circuito. Los dos alambres se proveen de puntas desnudas en sus extremos con cinta aislante o hilo para que las citadas puntas estén sin tocarse. Mientras bajan los alambres al pozo se observa el amperímetro o el timbre y al momento en que dicho amperímetro marque corriente, es cuando las puntas desnudas inferiores tocan la superficie del espejo cerrando la misma agua el circuito.

El nivel dinámico obtenido oscila entre 32 y 44 metros.

Evaluación de eficiencia de los equipos de bombeo

De acuerdo con la metodología correspondiente de la Comisión Nacional del Agua (CNA 1993), se evaluó la eficiencia de los equipos de bombeo, con la siguiente información: a) Caudal del pozo, b) Presión manométrica en el tren, c) Curva característica de cada una de las bombas, d) Información sobre el motor del sistema de bombeo (potencia, velocidad de giro, entre otros) y e) Recibos de consumo de energía de cada uno de los pozos evaluados. Se realizó también una comparación gráfica sobre de la curva característica de la bomba de cada pozo, entre la operación actual y el punto de operación óptima que debería tener la bomba.

La recomendación de la Comisión Nacional del Agua, es que cuando la eficiencia global del conjunto bomba-motor sea menor del 55%, es recomendable reparar o sustituir el equipo de bombeo. En 6 de los 10 pozos la eficiencia obtenida fue menor de este número.

INTRODUCCIÓN DE GRANDES CONSUMIDORES DE AGUA EN EL MODELO

A pesar de que la demanda de agua potable en muchas partes de la red en realidad puede ser distribuida a lo largo de los tramos (en tomas o conexiones de otras tuberías), en los modelos de cálculo hidráulico de redes de agua potable se supone que la demanda de agua potable está concentrada en los nodos de la red. Para cumplir con ese requisito, el SCADRED[®] maneja dos tipos de demanda:

a) Demanda concentrada. Es la demanda que realmente se extrae de manera concentrada del nodo. El valor de esta demanda se introduce manualmente por el usuario.

b) Demanda distribuida. Es la demanda de las tomas de los usuarios. El SCADRED[®] concentra esta demanda en los nodos de la red, utilizando el concepto de gasto de demanda distribuida por metro lineal de tubería, que se obtiene dividiendo el gasto máximo horario entre la *longitud virtual* de toda la red (Tzatchkov e Izurieta 1994).

Como grandes consumidores de agua potable, en la ciudad de San Luis Río Colorado destacan dos industrias: EXPORTEX DE MEXICO y CRISTAHIELO, con un promedio mayor a los 10,000 metros cúbicos por mes.

DETERMINACIÓN DE EFICIENCIAS FÍSICA Y DE FACTURACIÓN

Considerando las definiciones publicadas por la Comisión Nacional del Agua (Ochoa, 2004), se tiene que la *eficiencia física*, que se refiere a la conservación del agua en el sistema de abastecimiento, se calcula como la relación entre los volúmenes consumido y suministrado. El volumen consumido es la cantidad de agua, medida o no (cuota fija), que reciben los usuarios en sus tomas, registradas o no. El volumen suministrado es la cantidad de agua producida e introducida a la red. A su vez, la *eficiencia de facturación* está definida como la relación entre los volúmenes facturado y suministrado.

Para conocer la eficiencia de facturación fue necesario obtener la base de datos ó matriz completa de usuarios de toda la ciudad de San Luis Río Colorado. A través de consultas realizadas dentro de esa base de datos, fue posible conocer el total de consumo con y sin grandes consumidores en cada una de rutas de lectura. Dentro del análisis se determinó que los comercios, hoteles, restaurantes, industrias y todo aquel usuario con un consumo mayor a 100 metros cúbicos al mes, representan grandes consumidor.

El volumen consumido se determina a partir de la sumatoria de los volúmenes registrados por concepto de servicio medido (asumiendo que el registro de los medidores es lo que realmente consumen) y un estimado del volumen consumido para aquellos con cuota fija como

medio de facturación. Los lotes baldíos y las casas deshabitadas son otro rubro que se deberá restar del volumen facturado. En la ciudad, por concepto de lotes baldíos y casas deshabitadas se tiene un aproximado de 8% del total facturado, 4% corresponde a lotes baldíos y otro porcentaje similar a las casas deshabitadas.

El total de usuarios domésticos que pagan cuota fija, excluyendo grandes consumidores, lotes baldíos y casas deshabitadas se reduce a 12,142 tomas, de los cuales se facturan 453,943.20 metros cúbicos por mes. Sin embargo para conocer el consumo real de las 12,142 tomas domésticas por cuota fija, fue necesario realizar un estudio durante los meses de febrero y marzo de 2005, instalando micromedidores nuevos en 150 casas a que se les factura por cuota fija. El OOMAPAS maneja facturación por cuota fija en los siguientes rangos: 20, 25, 35, 40, 50, 55, 60, 75 y 100 m³/mes. Los resultados del estudio realizado por el OOMAPAS en las 150 casas, muestran que en promedio se factura un 20.67% más de lo que realmente se consume (Figura 4).

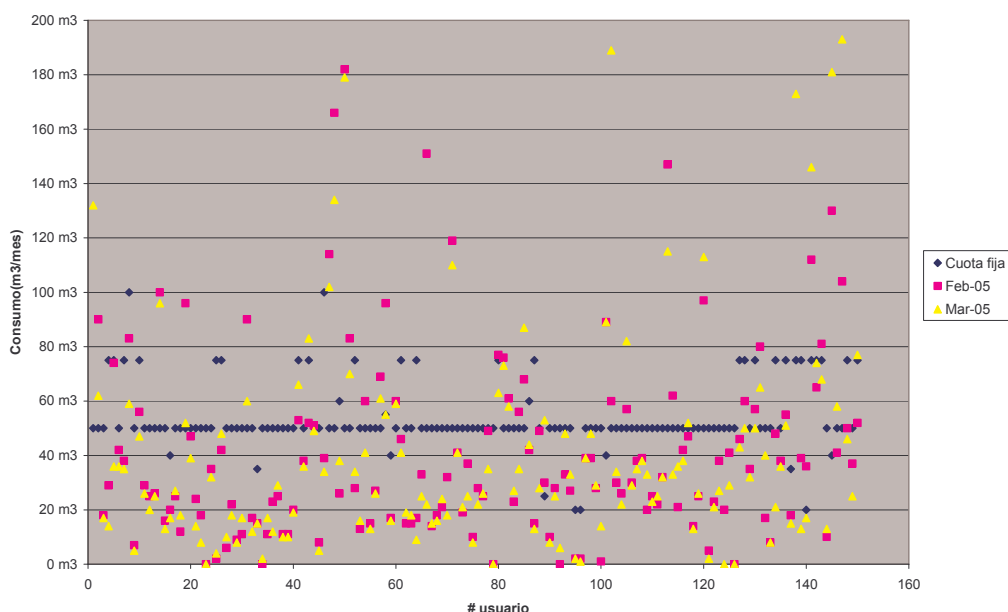


Figura 4 - Comportamiento del consumo en viviendas monitoreadas

Durante los dos meses analizados la facturación por cuota fija promedio de los usuarios fue de 54 metros cúbicos. Por su parte los registros obtenidos a partir de la lectura en los micromedidores mostraron 45 y 41 metros cúbicos durante los meses de febrero y marzo respectivamente, considerando todos los registros de consumo incluso aquellos que se alejan de la media. Analizando un segundo escenario, se excluyen aquellos registros que se alejan de la media en términos estadísticos, por lo que en caso de eliminar estos puntos distantes, los resultados promedios de los meses mostrarían una disminución superior al 30% con respecto a los promedios calculados anteriormente, por lo que los valores para los meses monitoreados serían de 31 y 29 metros cúbicos. Este valor resulta con mayor apego a los reportados en otras ciudades del país. Por lo anterior para el cálculo de la eficiencia física y de facturación se emplea este valor.

Obtenidos los datos anteriores, se procede a determinar el volumen consumido por usuarios que estén bajo el régimen de cuota fija. Existen 12,142 tomas domésticas bajo este concepto, por lo cual el volumen sería aproximadamente de 352,118 metros cúbicos,

considerando los 29 m³ por toma. Para el caso del OOMAPAS, se tendría que proyectar el promedio de 54 metros cúbicos que registraron los usuarios monitoreados en la muestra, teniendo un volumen facturado (para este caso el OOMAPAS supone que el rango por cuota fija es consumido en su totalidad por los usuarios) proyectado de 655,668 m³/mes.

Con estas consideraciones, se procedió a calcular las eficiencias. Se calculó primeramente con los datos de los volúmenes de producción y facturación reportados por el OOMAPAS. La eficiencia física obtenida fue de 81.34%, y la comercial de 78.53%. Con los caudales de producción medidos por el IMTA y la estimación de consumo se obtuvo una eficiencia física de 93.44%, y una eficiencia de facturación de 106.18%. Estos números definen cierta oportunidad de mejora en el departamento comercial en cuanto al estimado en el volumen consumido por los usuarios del servicio medido. Lo anterior puede deberse a diferentes causas destacando dos de ellas: 1) Lectura de consumo deficiente por parte del personal del OOMAPAS, y 2) Mal estado de los micromedidores. Además se deberá recordar que en este ejercicio de cálculo de la eficiencia física se asumió que el consumo facturado a los usuarios con servicio medido será igual al consumo real. Esta situación se deberá atender en futuro a través de campañas de verificación de consumos a través de una muestra estadísticamente representativa.

Asimismo se observa que la eficiencia en la facturación es alta en comparación a los estándares nacionales, esto se debe a tres situaciones: 1) Los usuarios domésticos con cuota fija consumen en promedio 20.67% menos a lo establecido por el OOMAPAS, 2) Existe un alto número de lotes baldíos que son facturados, 3) De acuerdo a lo proyectado por el IMTA, evidentemente la eficiencia de facturación aumentó con respecto a lo calculado por OOMAPAS debido a que se mantuvo el volumen total de facturación y el volumen suministrado disminuyó con las mediciones del IMTA en los pozos.

La eficiencia de facturación actual, con base en los volúmenes reportados por el OOMAPAS es de 78.53%. Este valor es elevado en comparación con otros organismos operadores del país. Sin embargo, con los datos de producción obtenidos a través de las mediciones realizadas por el IMTA, la eficiencia de facturación se eleva a más de 100 por ciento. Esto se debe en parte a que se continúa facturando a los lotes baldíos y a las casas deshabitadas, por lo que el valor final del volumen facturado se eleva. Otro punto que contribuye es que los consumidores que se encuentran por cuota fija consumen menos que el límite establecido.

SECTORIZACIÓN DE LA RED

La sectorización es una técnica que consiste en dividir una red de distribución en varias redes subredes más pequeñas. Cada “subred”, que llamaremos “sector”, constituirá una unidad de distribución, suficientemente limitada y homogénea para que la gestión de los datos a captar y analizar sea lo más rápida y fiable posible. La delimitación de cada sector precisa de un trabajo preparatorio cuidadoso. Todos los elementos que garanticen dicha división física deberán ser revisados y eventualmente reparados, en particular las válvulas de corte.

Es imprescindible realizar un estudio de viabilidad, de manera que se asegure que los cambios provocados por la sectorización no resultan drásticos, y que el nivel de servicios que prestará la red sectorizada será, como mínimo, de la misma calidad que el nivel existente anteriormente. Ello implica realizar comprobaciones teóricas del funcionamiento de la red sectorizada, mediante simulaciones con un modelo de simulación matemática.

De forma resumida para el desarrollo de los escenarios de sectorización a través del modelo de simulación, se siguieron las siguientes actividades:

- Recopilación general del sitio de proyecto;
- Introducción de la red de distribución dentro del modelo de simulación hidráulica;
- Mediciones de caudal en pozos;
- Mediciones de presión en pozos y puntos dentro de la red de distribución;
- Ajuste y calibración del modelo de simulación;
- Análisis de la contribución de cada pozo;
- Curso de capacitación al personal del OOMAPAS sobre el modelo de simulación hidráulica;
- Recopilación de reportes de facturación;
- Determinación de eficiencias física y de facturación.

Una vez recopilada la información mencionada con anterioridad, se procedió a realizar las simulaciones dentro del programa de cómputo SCADRED, con el objetivo de definir los sectores hidrométricos. Para ello fue necesario realizar el proceso de calibración del modelo de simulación hidráulica con base en las mediciones de presión y caudal realizadas por el IMTA. Normalmente en redes de gran tamaño se establece que se realicen mediciones de presión en al menos 2% del total del número de nodos (Haestad, 1999) para asegurar un nivel de calibración aceptable, vale la pena mencionar que éste es el rango mínimo.

Por su parte la demanda incluida dentro del modelo fue con base en los reportes de facturación y el muestreo en campo. La demanda incluida fue de 323 l/hab/día con un coeficiente de variación horaria de 1.55, de acuerdo con las recomendaciones de la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2004). Después de realizar los ajustes necesarios, los resultados de la simulación mostraron diferencias dentro de los rangos establecidos por las recomendaciones internacionales de ± 2 lb/pulg² para el 90% de las lecturas de presión.

Una vez simulada la condición de demanda, se realizó el análisis para conocer la contribución de cada fuente de abastecimiento en la red de distribución de la ciudad. De forma resumida se obtuvo un modelo de simulación hidráulica calibrado y su respectivo análisis de contribución de cada fuente sobre cada uno de los nodos de los cuales se compone la red de distribución.

Para definir los sectores dentro de la red de distribución fue necesario considerar que la demanda de invierno difiere con respecto al verano. Además, la propuesta de sectorización que se defina en este proyecto sería la base de la sectorización para el diseño de escenarios en el verano. Actualmente en la ciudad de San Luis Río Colorado refleja una deficiente distribución espacial en la ubicación de sus pozos, por esta razón se propuso en común acuerdo con el personal de operación del OOMAPAS, la activación del pozo #22 y el paro del pozo #16. Esto se debe principalmente a tres razones:

1. A partir de los resultados de las simulaciones, en la zona sureste los nodos presentaron presiones de menor magnitud con respecto al resto de la red esto se debe en parte a que dentro de la zona sólo existe el pozo 18.
2. En la zona centro de la ciudad existe un número elevado de pozos, lo que se traduce en ineficiencia hidráulica. Por ello se determinó el paro del pozo #16 durante la época invernal.

El paro del pozo 16, se determinó con base en las simulaciones realizadas dentro del modelo. En primera instancia se comenzó dentro del modelo de simulación con el paro del pozo 10, posteriormente con los pozos 13 y 7 y finalizando con el 16. De acuerdo con los

resultados de las simulaciones este último fue el que presentó menor impacto dentro de la red de distribución ante el paro del mismo.

En esta etapa de elaboración del proyecto no se propone la adición de tanques de almacenamiento y variadores de velocidad, en una segunda etapa se definirá ello, cuando se analice la condición de verano.

Considerando las recomendaciones mencionadas, para las condiciones de de manda de invierno se definieron 10 sectores hidrométricos de la ciudad de San Luis Río Colorado (Figura 5).

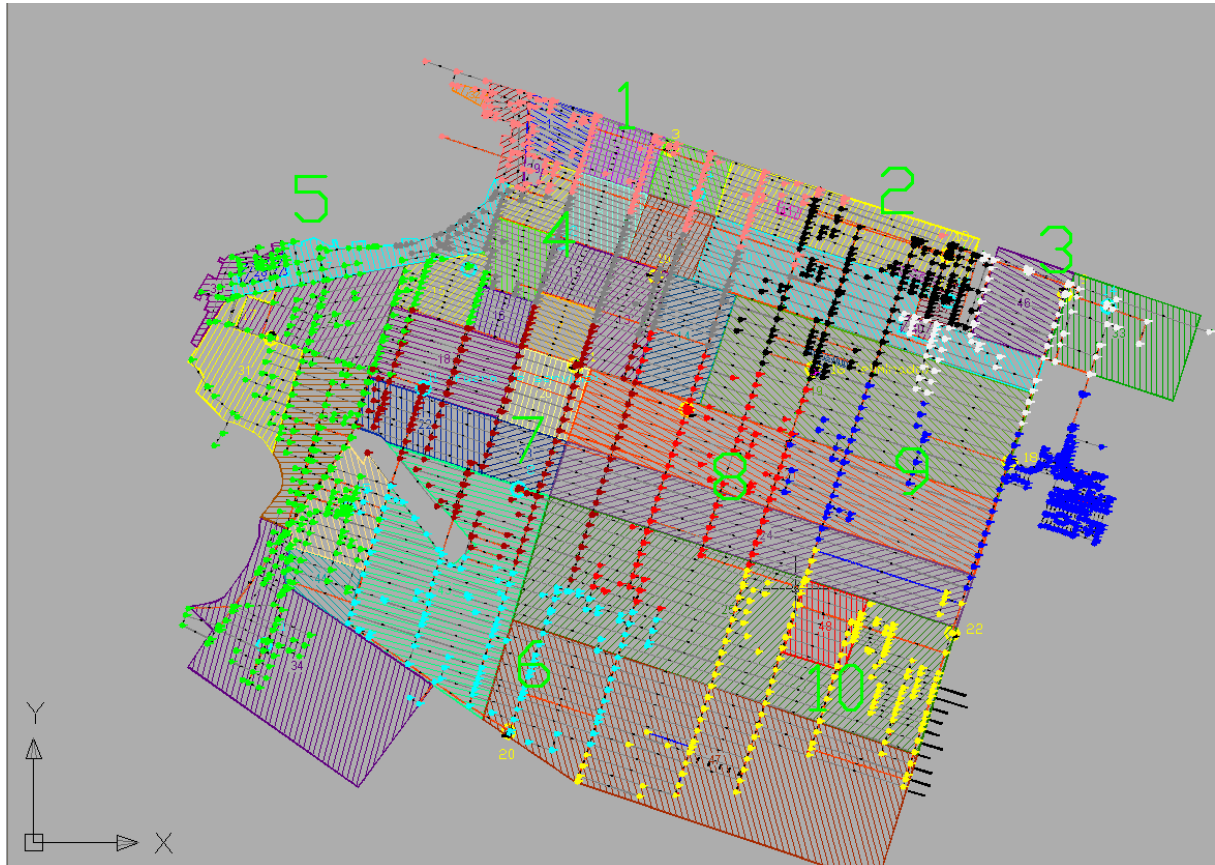


Figura 5 - Definición de 10 sectores hidrométricos en la red de distribución de la ciudad de San Luis Río Colorado, Sonora (condición de invierno).

Las acciones requeridas para implementar la sectorización propuesta consisten en cortes de tuberías o incorporaciones de cajas de válvulas en los límites entre los sectores. Resultan necesarios 342 cortes de tubería o colocación de válvulas de seccionamiento, considerando el pero de los casos cuando ninguna de las válvulas existentes pueda ser usada. Estas cantidades son para cada uno de los sectores por separado, en caso de realizar trabajos de forma independiente en cada sector, pero en realidad pueden ser mucho menos cuando las obras se realicen en varios sectores de forma simultánea, gracias a que se comparten trabajos de corte y colocación de válvulas entre los sectores colindantes. También se pueden aprovechar aquellas válvulas de seccionamiento que estén en buen estado. El importe por colocación de caja de válvulas resulta 8.31 veces mayor en comparación con realizar únicamente cortes de tubería. Sin embargo las válvulas ofrecen cambios constantes en la operación, situación contraria a los cortes, donde los trabajos quedan de forma permanente.

CONCLUSIONES

Los modelos de análisis de redes de distribución de agua potable son una herramienta indispensable en los proyectos de sectorización, ya que solamente por medio de ellos se puede revisar si las alternativas de sectorización funcionarán de manera adecuada hidráulicamente. Existen hoy en día modelos de ese tipo capaces de modelar la red completa de la ciudad, con hasta miles de nodos. El estado del catastro de la red de agua potable, sin embargo, es determinante para el éxito de un proyecto de este tipo. Desafortunadamente, en la mayoría de las ciudades en países como México el catastro no tiene la calidad necesaria para la implementación de un modelo, y su actualización puede consumir la mayor parte del presupuesto total del proyecto. La aplicación de esos modelos en redes de distribución reales en ciudades tiene particularidades, ante todo de orden práctico, que generalmente dependen del lugar. En este artículo se presentan las experiencias de la aplicación de un modelo de simulación hidráulica en una ciudad mediana (180,000 habitantes), abastecida por pozos con bombeo directo a la red. Para obtener los parámetros del modelo y calibrarlo, se realizaron mediciones de caudal, presión en los pozos, presión en la red de distribución, y niveles dinámicos en pozos. Se monitoreó también el consumo en domicilios que pagan cuota fija de agua potable. Finalmente se elaboró el proyecto de sectorización de la red, en que el aislamiento de los sectores se logrará por medio de válvulas de seccionamiento o cortes de tuberías.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcocer Yamanaka, V. H.; Tzatchkov, V.; Martín Domínguez, A. (2005) “*Modelación hidráulica de la red de distribución de agua potable de la ciudad de San Luis Río Colorado, Sonora. Informe final*”, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.
- CNA (1993), “*Guía para evaluación de la eficiencia en equipos electromecánicos en operación para pozo profundo. Segunda edición.*” Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Comisión Nacional del Agua, México.
- CNA (2004), “*Datos Básicos. Segunda edición, Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*”, Comisión Nacional del Agua, México.
- Haestad Press, (1999), “*Calibration Accuracy*”, Current Methods, Vol. 1, núm. 1, p. 21.
- Ochoa Alejo, L.H.; Cortés Mejía, P.E.; Caldiño Villagómez, I. (2004), “*Planeación de acciones de incremento y control de la eficiencia en sistemas de agua potable*”. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana, Unidad de Agua Potable y Saneamiento, Gerencia de Estudios y Proyectos, México.
- Ochoa Alejo, L.H.; Bourguett Ortiz, V.J. (editores) (2001), “*Reducción integral de pérdidas de agua potable*”, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.
- Tzatchkov, V.; Alcocer Yamanaka, V. H.; Bourguett Ortiz V. J. (2005), “*Modelos de redes de agua potable útiles para proyectos de sectorización*”, V Seminario Iberoamericano sobre Planificación, Proyecto y Operación de Sistemas de Abastecimiento de Agua. Valencia, 29 de noviembre al 2 de diciembre de 2005.
- Tzatchkov, V.; Izurieta Dávila, J.L., (1996), “*Sistema de cómputo para el análisis y diseño óptimo de redes de distribución de agua potable*”, Ingeniería Hidráulica en México, Vol. XI, núm. 2, enero-abril de 1996, México, p. 55-63.