

XII Simposio Iberoamericano sobre planificación de sistemas de abastecimiento y drenaje

“MEJORA EN LA OPERACIÓN DE REDES DE AGUA POTABLE CON UN MODELO DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA”

José Manuel Rodríguez Varela (1), Pedro Misael Albornoz Góngora (2), Víctor Hugo Alcocer Yamanaka (3), Raúl Horacio Ramírez Sierra (4), Julio Fernando Gutiérrez Calleros (5)

- (1) Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).- Paseo Cuauhnáhuac no. 8532, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos, CP 62550, +527773293678,manuel_rodriguez@tlaloc.imta.mx
- (2) Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).- Paseo Cuauhnáhuac no. 8532, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos, CP 62550, +527773293678,ptrsmsl@gmail.com
- (3) Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).- Paseo Cuauhnáhuac no. 8532, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos, CP 62550, +527773293678,yamanaka@tlaloc.imta.mx
- (4) Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS), Gabino Barreda 2, Local 10, Centro, Hidalgo del Parral, Chihuahua, CP 333800, +526275225465,lqchor@prodigy.net.mx
- (5) Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS), Gabino Barreda 2, Local 10, Centro, Hidalgo del Parral, Chihuahua, CP 333800, +526275225465,jugutz2000@yahoo.com.mx

RESUMEN

El objetivo principal del proyecto fue, mejorar el servicio de agua potable de la ciudad de Hidalgo del Parral con la ayuda de un modelo de simulación hidráulico. Éste fue previamente calibrado con base en mediciones de presión en la red y con mediciones de caudal recabadas del sistema de telemetría con que cuenta actualmente la JMAS. Con base en el modelo de simulación, se definieron los sectores de suministro a la red, dentro de los mismos se identificaron los distritos hidrométricos, la ubicación de los macromedidores, válvulas reguladoras de presión, válvulas sostenedoras de presión y puntos de seccionamiento de la red. Con esto se garantiza una mejor distribución de caudales en la red y la eliminación de zonas de altas presiones. Además, se generaron políticas de operación de pozos y tanques, con el que se mantienen los niveles de agua de los tanques principales para satisfacer la demanda de agua de la ciudad, disminuyendo o eliminando los tandeos de agua que sufren algunas colonias.

Palabras Clave: Redes de Agua potable, Modelo de Simulación, Mejora de la Operación.

ABSTRACT

The main objective of the project was to improve water service of Hidalgo del Parral City with the use of mathematical model. This model was previously calibrated by using measurements based on network pressure and flow measurements collected from the telemetry system. Based on the simulation model were defined sectors supply network, hydrometric districts, location of the meters, pressure control valves, pressure sustaining valves and sectioning point in the network. This ensures a better distribution of flows in the network and the elimination of high pressure zones. Additionally, policies to operate wells and tanks were generated, to maintain the water level of main tanks, this help to reduce or to eliminate problems of supply water of neighborhoods than does not have water all day long.

Key Words: Water networks, Mathematical model, improved operation

SOBRE EL AUTOR PRINCIPAL

José Manuel Rodríguez Varela: Realizó sus estudios de posgrado en ingeniería Hidráulica en la DEPI – UNAM campus Morelos. Actualmente es especialista en Hidráulica de la subcoordinación de Hidráulica Urbana. Sus principales líneas de trabajo son: Diseño, Gestión y modelación hidráulica de redes de agua potable y alcantarillado, sectorización y actualización de catastro de redes.

ANTECEDENTES

En los años 2011 y 2012, las Juntas Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS) de la ciudad de Hidalgo del Parral y la Junta Central de Agua y Saneamiento (JCAS) del Estado de Chihuahua, contrataron al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), con el objetivo de elaborar el Diagnóstico Integral de Planeación (DIP), apegados a los términos de referencia, establecidos por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Además de forma simultánea, la JMAS realizó con el propio IMTA, el proyecto titulado “Contenido Mínimo de los Diagnósticos de Modernización de las Áreas Comerciales de los Organismos Operadores de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (OO)” conforme a los lineamientos establecidos por el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS).

Derivado de ambos diagnósticos se concluyó como punto preponderante para la JMAS, la necesidad de contar con personal calificado en materia de análisis hidráulico; dado que actualmente al seno de la JMAS, se carece de dicho capital humano, ésta solicitó al IMTA, el apoyo en servicios tecnológicos como son: asesoría y capacitación de materia de simulación hidráulica aplicada a redes de distribución, revisión y actualización del modelo de simulación elaborado por la empresa Watergy, por último, la generación de escenarios hidráulicos que permitieran mejorar bajo criterios hidráulicos, operativos y económicos, la operación del sistema de distribución de la ciudad

INTRODUCCIÓN

En el año 2007, la JMAS construyó un modelo de simulación de la red de distribución (Watergy, 2007) en la plataforma de EPANET 2.0 (software desarrollado por la EPA de los Estados Unidos y de distribución gratuita) en la versión en español (desarrollada por la Universidad Politécnica de Valencia en España y es una adaptación de la versión en inglés).

La red fue modelada bajo dos escenarios, el primero considerando que en cada nodo se consume el gasto medio de diseño, esto sirvió para ubicar las zonas de altas presiones en la red, y de esta manera proponer válvulas reguladoras de presión, colocadas en puntos específicos, de tal manera que con el mínimo de válvulas se eliminen el mayor número zonas de presión superiores a los 5 kg/cm². El modelo resultante que incluye ya la instalación y

funcionamiento de las válvulas reguladoras de presión mostró el resultado gráfico que se presenta en la Figura 1.

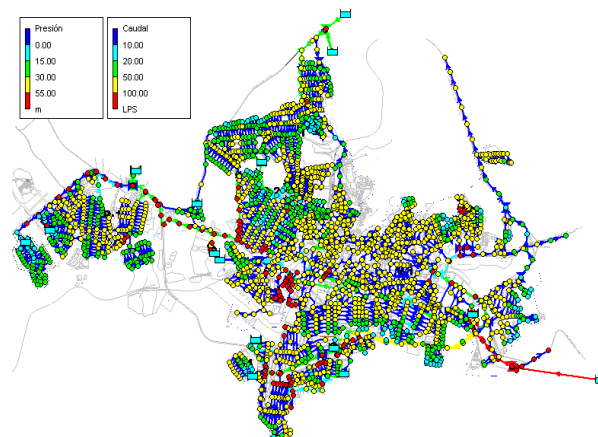


Figura 1. Resultado gráfico del modelo de simulación del escenario 1 con gasto medio (Qmed)

Uno de los resultados de este modelo es que con la carga disponible del tanque piezométrica es posible alimentar tanto al tanque Juárez, como al Tanque Miguel Hidalgo, sin necesidad del rebombero Guamuchil, lo cual se convierte directamente en un ahorro de energía eléctrica.

El segundo escenario consideró la condición más crítica, es decir cuando los usuarios demandan el gasto máximo horario. Debido a que en esta condición el gasto que fluye por las tuberías es mayor, se generan también mayores pérdidas por fricción, y las presiones en la red disminuyen en general, por lo que es necesario abrir algunas de las válvulas reguladoras de presión para evitar que se generen presiones negativas en puntos críticos. En el modelo correspondiente, se indican las válvulas reguladoras de presión que se deben de operar para lograr este escenario.

En la Figura 2, se presenta el resultado gráfico de este escenario.



Figura 2. Resultado gráfico del modelo de simulación del escenario 2 con gasto máximo horario (Qmh)

Con ayuda del modelo también fue posible identificar la ubicación adecuada de válvulas reguladoras de caudal y de corte y.

El modelo desarrollado por WATERGY se utilizó para modelar la red de distribución en estado estático, no considera la variación de la demanda (modelo en flujo en estado no permanente), con éste se realizaron básicamente dos escenarios, cálculo de distribución de presiones en demanda máxima (se consideró el gasto máximo horario), con éste se determinan las pérdidas de carga en tubería y la distribución de presiones.

Cálculo de distribución de presiones en gasto medio, que es cuando se presentarías las presiones máximas en la red de distribución, con el cual se determinaron los puntos de ubicación de válvulas reguladoras de presión.

Si bien el modelo sirvió para fines de dicho estudio y se construyó con la información con que contaba en ese momento la JMAS, es importante mencionar que no se indica cómo fue calibrado el modelo y no se muestra un informe de los resultados arrojados por el mismo contra mediciones de presiones en campo reales.

El modelo corre en flujo estático lo que limita la toma de decisiones en cuanto a la operación de la red. Además no incluye, en forma integrada, la simulación de la batería de pozos de Valle del Verano, la presa Parral y las Minas, por lo que no es posible considerar su cobertura y su interacción con la red de distribución.

La asignación de la demanda en nodos considera que ésta se distribuye de forma uniforme en cada zona de facturación, y no toma en cuenta el número de usuarios asignado a cada tramo de la red, esto genera una distribución errónea del gasto en la red del

modelo de simulación y por consiguiente arrojar resultados falsos.

METODOLOGÍA

Construcción del modelo de simulación de la red de distribución

Debido a que la red de distribución cambió en su configuración y operación desde el año 2007, fecha en que se desarrolló el modelo de simulación de WATERGY, con respecto al año 2012, se tomó la decisión de crear un modelo nuevo a partir de la información proporcionada por la JMAS, este modelo considera la operación de la red de acuerdo a las políticas de operación que tiene implementadas la Junta (Rodríguez *et al.*, 2012). Será usado como una herramienta de toma de decisiones para la mejora en el servicio de agua potable.

El modelo integra todas las fuentes de suministro, los horarios de servicio a cada zona de la ciudad, el total de tomas domiciliarias asignadas a cada tramo de la red, con lo que la distribución del gasto en la misma es más representativa de la realidad.

La JMAS consideró importante integrar la medición de presiones que su personal llevó a cabo en diversos puntos de la ciudad con el que fue posible ajustar el modelo. Con base en lo anterior se construyó el modelo de simulación de acuerdo con los siguientes puntos:

Identificación de inconsistencias en el plano de la red de autocad.dwg

Derivado del análisis de la información de la red de distribución de agua potable, proporcionada por la JMAS se detectaron inconsistencias en:

- Plano de la red de agua potable con extensión *.dwg: tuberías no conectadas o aisladas en el plano (ver Figura 3), tuberías duplicadas, configuración confusa en el arreglo de la red, conducciones de red sin un destino, fraccionamientos con servicio de agua que en el plano carecían de red, no se indicaban la ubicación de tanques elevados, simbología ambigua en tuberías, no se indicaban algunos cruces de tubería en cruceros, no se contaba con la ubicación en plano de dos fuentes de agua.

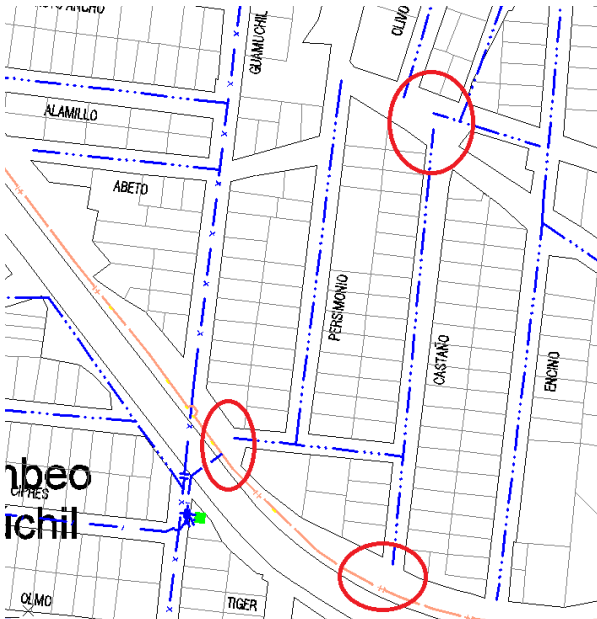


Figura 3. Tubería aislada en la Colonia Juárez

- Archivo de curvas de nivel: las curvas de nivel en el plano autocad carecían del valor Z por lo que solo es una referencia visual y no se puede utilizar como herramienta para la implementación del modelo de simulación. En algunas zonas de la ciudad no se tenían dichas curvas, es decir estaba un espacio en blanco. En una misma curva de nivel se tenían en texto dos elevaciones diferentes.

Componentes del Modelo de la red de agua potable

El modelo de la red de distribución se construyó en las plataformas Infoworks (ver Figura 4) y Epanet, y cuenta con:

- 14 pozos profundos en la batería de Valle del Verano con una producción de 210 l/s
- Presa Parral, que abastece de forma intermitente a la ciudad, los meses de mayo a agosto.
- Minas: Veta Colorada, Vésper, Recompensa, Arbolito, Esmeralda.
- 13 Tanques de regulación (ver Figura 5).
- 4 rebombes.
- 119 Circuitos con horarios diversos de suministro de agua.
- 5903 tramos de tubería que incluyen las tuberías primarias y secundarias.
- 5433 nodos.
- Horarios de suministro a la red por circuito.
- Medición de presiones en la red.

- Gastos de suministro registrados en los equipos de telemetría.
- 34129 puntos de cliente o tomas domiciliarias (ver Figura 6).
- Además se atendieron, con ayuda del personal de la JMAS todas las inconsistencias encontradas en la información proporcionada por la JMAS.

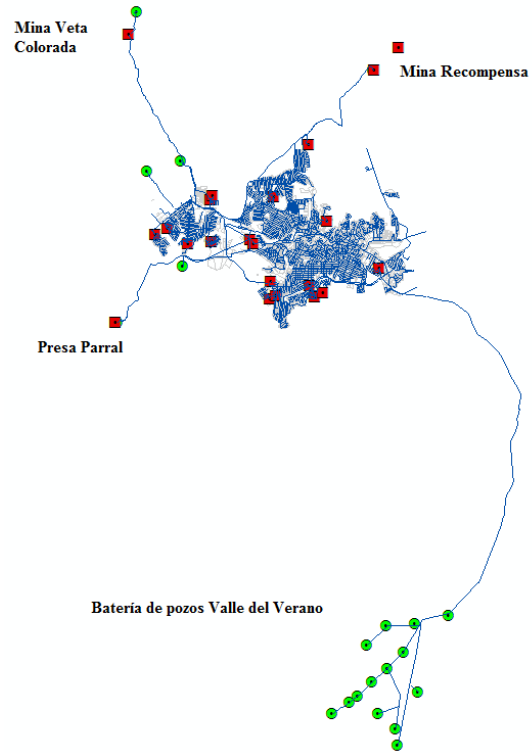


Figura 4. Modelo de la red de distribución de agua potable



Figura 5. Tanque Progreso

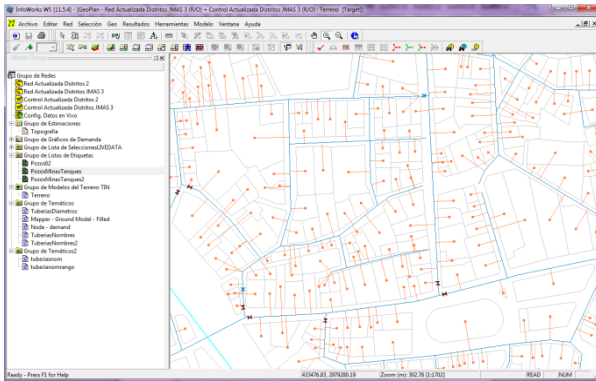


Figura 6. Puntos de cliente considerados en el modelo de simulación

Ajuste del modelo de simulación

Para el ajuste del modelo de simulación de la red de distribución el personal de la JMÁS realizó una campaña de medición de presiones en 743 puntos ubicados diversas zonas de la ciudad, con el que se pudo generar mapas de distribución de presiones como el mostrado en la Figura 7. Estas mismas mediciones se usaron como base para ajustar el modelo de simulación (Alcocer, 2007). De los resultados de campo se identificaron zonas (en color azul), con presiones mayores a los 7 kg/cm², mismas que presentan problemas de fugas.

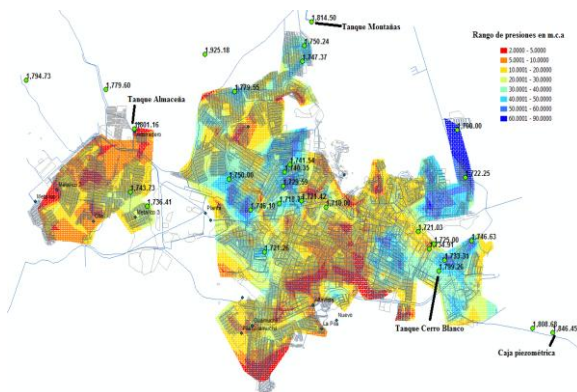


Figura 7. Distribución de presiones en la red

Como resultado de este ajuste se concluye que el 62% de los puntos medidos en campo ajustan con una buena precisión (error menor al 5% entre el medido y el simulado), el 25% presentaba un ajuste pobre (error entre el 5% y 10% entre el medido y el simulado) y el 13% no fue posible conseguir un ajuste, esto se presentó en las colonias Real de Minas, Almaceña, Solidaridad y Progreso.

En cuanto a los errores entre los caudales producidos (caudales reales) y los simulados, se tienen errores que oscilan entre los 9.5% hasta 0.3%, en la Tabla 1

se presentan de forma comparativa para cada fuente de suministro los gastos producidos contra los simulados.

Tabla 1. Errores entre los caudales reales y simulados

Fuente de suministro	Gastos promedio producidos (l/s)	Gastos simulados (l/s)	Error (%)
Pozo 2	10.7	10.3	3.90%
Pozo 3	31.8	31.7	0.30%
Pozo 4	9.53	10	4.70%
Pozo 5	13.63	13.59	0.30%
Pozo 6	19.84	20.2	1.80%
Pozo 7	11.47	12	4.40%
Pozo 8	8.47	8.3	2.00%
Pozo 9	9.13	9	1.40%
Pozo 10	6.77	7.1	4.60%
Pozo 11	13.44	13.2	1.80%
Pozo 12	24.1	23.5	2.60%
Pozo 13	17.09	16.8	1.70%
Pozo 14	21.56	21.4	0.70%
Pozo 15	13.17	13.8	4.60%
Mina Veta colorada	60.00	58.2	3.00%
Mina El Arbolito	41.29	43	4.00%
Mina Recompensa	20.11	21	4.20%
Mina Cabadeña	29.07	28	3.80%
Mina Esmeralda	20.81	23	9.50%
Presa Parral	18.17	20	9.10%
Mina Vésper	13.21	12.8	3.20%
Total	413.36	416.89	3.4%

Horarios de suministro

La red de distribución está dividida en 4 sectores de suministro (ver figura 8), de acuerdo a las fuentes: Mina Veta Colorada, Minas Recompensa y Vésper, Planta Potabilizadora (que recibe el agua de las Minas: El Arbolito, Cabadeña y Presa Parral) y Pozos Valle del Verano (pozos del 2 al 15).

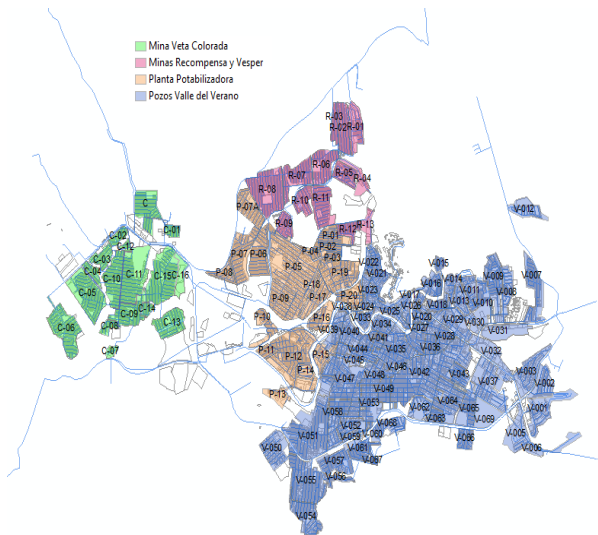


Figura 8. Zonas de distribución de agua potable por sector de suministro

De acuerdo a las políticas de operación de la red (Alcocer 2012), el suministro de agua se tandeo a cada sector un número de horas en promedio por semana como se muestra en la Figura 9. Hay zonas de la ciudad que sólo reciben agua entre 21 a 45.5 horas a la semana (en color rojo), y son las colonias más desfavorecidas; las zonas en azul presentan un suministro entre 140 – 168 horas a la semana, zonas de la ciudad con mejor suministro de agua.

En la Tabla 2, se muestra el porcentaje de usuarios atendidos por sector y el caudal suministrado, en esta tabla se puede observar que la distribución del caudal es equitativa y que se distribuye el caudal de acuerdo al número de usuarios, salvo en el sector de suministro de la minas recompensa y Vésper que con un caudal menor (sólo el 8.4% del caudal total) abastecen a un mayor número de usuarios (el 11.1 % de los usuarios). En total la JMAS da servicio a 33,500 usuarios.

Tabla 2. Usuarios atendidos por sector y gasto suministrado

Fuente de Suministro	Usuarios servidos (%)	Gasto entregado a red (%)	Gastos promedio entregado a red (l/s)
Mina Veta Colorada	15.5%	15.2%	60.00
Minas Recompensa y Vésper	11.1%	8.4%	33.32
Planta Potabilizadora	18.1%	23.1%	91.17
Pozos Valle del Verano	55.3%	53.3%	210.70
Total	100.0%	100.0%	395.19

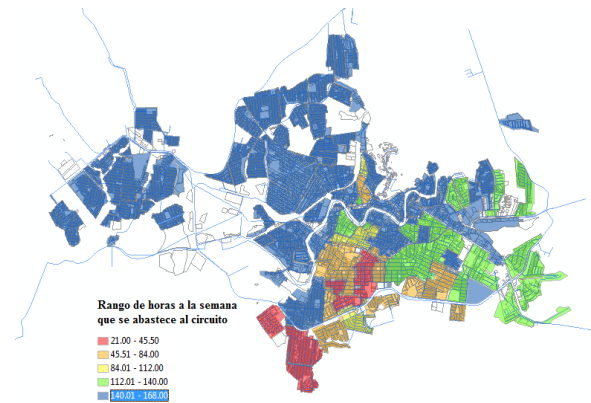


Figura 9. Horarios de suministro por circuito

Estos tandeos se presentan, ya que la ciudad de Hidalgo del Parral Presenta un déficit de agua; la JMAS sólo puede ofertar como máximo un caudal de 385 a 395 litros por segundo, esto debido a que cuando se produce agua en la Presa Parral la Mina Cabadeña. Si se considera una dotación de 230 l/h/d, la demanda de agua en época de verano de la ciudad es de 509 litros por segundo, es decir hay un déficit de 124 litros por segundo. En invierno la ciudad en promedio demanda un caudal de 364 litros por segundo, muy similar a los 385 litros por segundo que produce la JMAS, pero las políticas de mantenimiento y rehabilitación de pozos se programas precisamente en dicha época del año por lo que la producción de agua es menor que lo demandado por la ciudad.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con base en los resultados arrojados por el modelo de simulación con el que se analizaron diversos escenarios para mejorar la distribución de agua potable en la ciudad se determinó:

Reconfiguración de las zonas de suministro y propuesta de nueva infraestructura.

Uno de los principales resultados del modelo de simulación fue la reconfiguración de las zonas de influencia de las fuentes de suministro (ver Figura 10), con el que se logra una mejor distribución de caudales para lograr esto se propusieron la construcción de dos tanques de regulación de 1000 m³ cada uno y dos rebombos que permitirán suministrar agua en conjunto a dichos tanques un caudal de 55 litros por segundo, la reconfiguración de la red implica el seccionamiento de la misma en 258 puntos lo que permite aislar los sectores. La JMAS consideró importante la construcción en cada punto de cajas de válvulas. Además de la instalación de tuberías que van de las 3 pulgadas a las 10

pulgadas de diámetro para reforzamiento o aislamiento de los sectores.

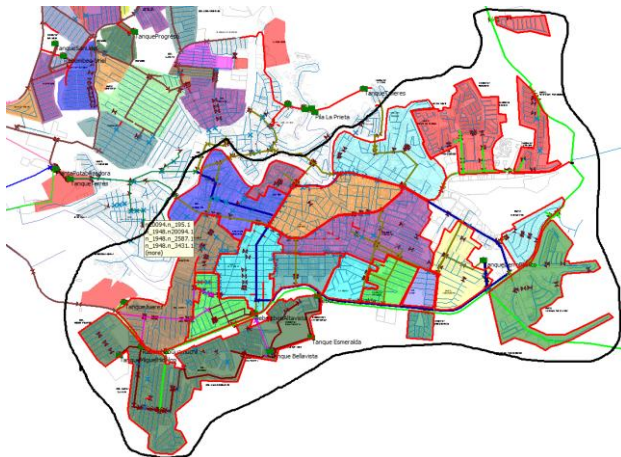


Figura 10. Zona de influencia de los pozos Valle del Verano

Mejora en la distribución de presiones en la red

Para la eliminación de las zonas de la ciudad con presiones mayores a los 3.5 kg/cm², se consideró la instalación de 78 válvulas reguladoras de presión en diversos puntos de la red como se muestra en la Figura 11.

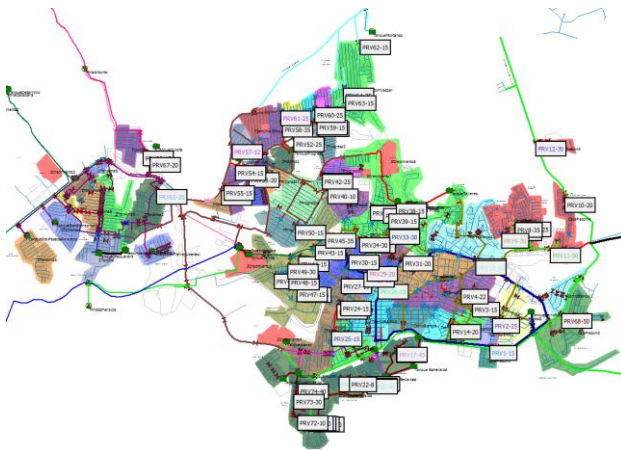


Figura 11. Válvulas reguladoras de presión

Mejora de la eficiencia física y comercial

En cuanto a la mejora de la eficiencia física y comercial se dimensionaron y ubicaron macromedidores en las entradas de los 62 sectores de distribución con los que se llevará a cabo la campaña de monitoreo de caudales suministrados a cada sector de distribución

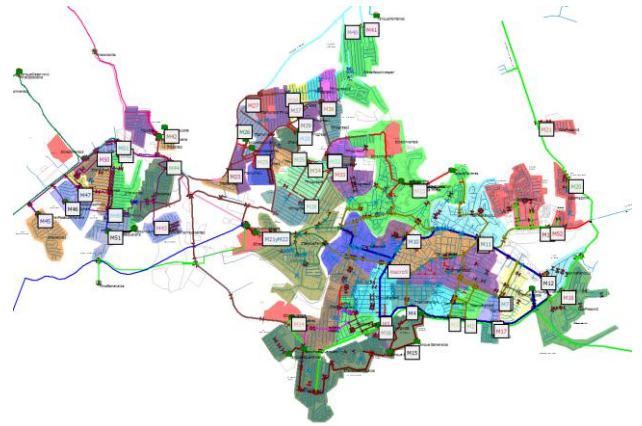


Figura 12. Ubicación de macromedidores

Ubicación de nueva fuente de suministro

De acuerdo a estudios de prospección llevados a cabo por personal de la JCAS y JMAS se determinó que en el Ejido Ana (ver Figura 13), ubicado a 22 km de la zona urbana de Hidalgo del Parral, se puede explotar una batería de pozos para extraer hasta 100 litros por segundo. Debido a la ubicación de esta fuente obligaba a la JMAS a cambiar las políticas de operación y suministro de agua a la red.

Con base en el modelo de simulación se determinó, la ubicación de un tanque principal de 1500 m³ de capacidad que almacenaría el agua y desde el cual se distribuiría a los tanques actuales, con esta opción se tiene un impacto mínimo en las políticas de operación de la red y se minimizan los costos de incorporar dicha fuente.

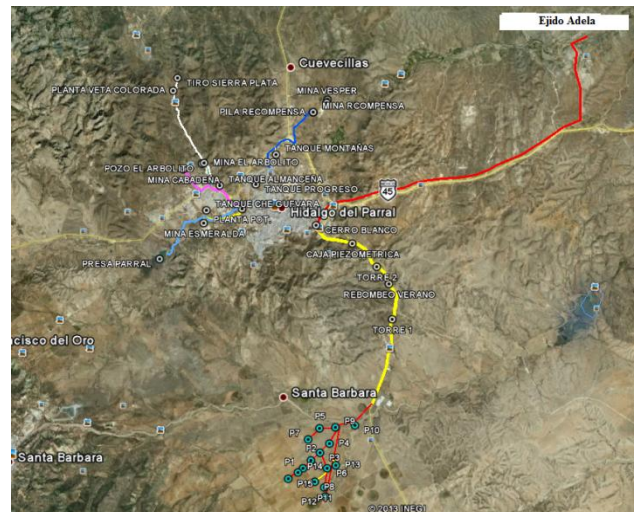


Figura 13. Ubicación de una nueva fuente de suministro

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El uso de un modelo de simulación de una red de distribución permite generar escenarios para la toma de decisiones de las autoridades encargadas de la gestión de los sistemas de agua potable, por lo que resulta una herramienta útil y poderosa. Para garantizar que los resultados arrojados por el modelo sean confiables se deben realizar una serie de actividades previas como es la identificación de inconsistencias en la información utilizada para la construcción del modelo, actualización de catastro y de las políticas de operación de la red en condiciones actuales, ajuste del modelo con base en mediciones de presión y caudal.

En el caso de Hidalgo del Parral, se logró concretar los resultados arrojados por el modelo de simulación en acciones que permitirán mejorar: la operación de la red, eficiencias física y comercial, homogenizar la distribución de presiones e incrementar los horarios de suministro a la red.

Las acciones consideradas en los escenarios simulados con el modelo son integrales, ya que se observa de forma global el impacto que tiene el reforzamiento de un tramo de tubería, la instalación de una válvula reguladora de presión o la construcción de un tanque nuevo y rebombeos, esto permite reducir costos y dar confianza tanto al personal de la JMAS así como lo usuarios que son los beneficiados directos de la mejora del servicio.

TRABAJOS FUTUROS

La JMAS inició con la implementación en campo de las acciones en la zona de influencia de la batería de pozos de Valle del Verano a mediados del año 2012 y en el año 2013 pretende contar con el 100% de las acciones identificadas en el proyecto, por lo que se pretende dar seguimiento a estas acciones y así analizar los resultados arrojados en campo con aquellos generados por el modelo de simulación, con lo que se generarán nuevas experiencias.

Además se pretende automatizar la operación por sectores cuando se incluya la telemetría.

REFERENCIAS

- Alcocer, Y. V. H., Tzatchkov, V. (2007). Modelación Hidráulica y de calidad del agua en redes de agua potable. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de la CONAGUA. Edición 2007, México Distrito Federal, SEMARNAT.
- Alcocer, Y. V. H., Rodríguez V. J. M, (2012). Estudio Simplificado de la situación y diagnóstico de modernización del Área Comercial de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Hidalgo del Parral. Informe Final, Jiutepec, IMTA.
- Rodríguez, V. J. M., Albornoz, G. P. M. Alcocer, Y. V. H. (2012). Análisis Hidráulico de la red de distribución de agua potable de Hidalgo del Parral, Chihuahua, Informe Final, Jiutepec, IMTA.
- Watergy (2007). Proyecto de eficiencia electromecánica, física, comercial y de la operación hidráulica de la red de agua potable de Parral, Chihuahua. Informe Final, Hidalgo del Parral, JMAS.