Sistema para control y gestión de redes de agua potable de dos localidades de México

Lucio Fragoso Sandoval
Profesor e Investigador, Escuela Sup. de Ing. y Arq., Unidad Zacatenco, Inst. Politéc. Nac., México D. F., México. email: lfragoso@ipn.mx

Jaime Roberto Ruiz Zurvia-Flores
Profesor e Investigador, Escuela Sup. de Ing. y Arq., Unidad Zacatenco, Inst. Politéc. Nac., México D. F., México. email: jaruizz@ipn.mx

Arturo Bruno Juárez León
Profesor e Investigador, Escuela Sup. de Ing. y Arq., Unidad Zacatenco, Inst. Politéc. Nac., México D. F., México. email: abjuarez@prodigy.net.mx.

RESUMEN
En este trabajo se describe un proyecto que desarrolló un sistema de información geográfica (SIG) para la administración de la información espacial y no espacial, relacionada con la operación de una red de distribución de agua potable, la cual permitirá gestionar, evaluar y distribuir agua de buena calidad, además de automatizar el sistema para poder implementar y desarrollar en un futuro mecanismos que permitan tenerlo a la vanguardia tecnológica. Este SIG fue aplicado a dos unidades habitacionales de Tehuacán, Puebla, México, en el cual por medio de herramientas computacionales se permite al usuario visualizar y efectuar operaciones con la información de la base de datos generada del SIG. Los cálculos hidráulicos fueron realizados por medio del software Epanet, obteniéndose resultados confiables y un buen diseño del sistema.

Palabras clave: control y gestión, redes de agua potable, sistema de información geográfica.

System to control and manage drinking water network of two towns of México

ABSTRACT
In this work a project is described to develope a geographical information system (GIS) for spatial and non-spatial information management as related with the operation of a potable water distribution network. This allows to manage, evaluate and distribute potable water of good quality as well as the automatization of the system in order to implement and develop procedures in the near future to reach the technological vanguard. This GIS was applied in two housing units of the Tehuacan city, Puebla State, Mexico, in which computational tools allows the user to visualize and carry out operations with the information of the data base generated by GIS. Hydraulic calculations were realized through EPANET software, which provided reliable results and a good system design.

Keywords: control and management, drinking water network, geographical information system.

recibido: Mayo 2012 | aprobado: Octubre 2012

INTRODUCCIÓN

Como se sabe, hoy en día, la problemática de disponer y suministrar agua potable a las localidades en la república mexicana es un reto para la ingeniería hidráulica y por ello las normas de que disponen los organismos operadores de agua son cada vez más estrictas. Debido a esto y a la gran problemática que ocasiona la fuga del vital líquido por las tuberías, en sistemas existentes, además de su alto costo de extracción y distribución, se toman medidas para tener un mejor control de los sistemas de agua disponibles en nuestro país.

Puesto que el agua es vital para cualquier país, se desprende que una buena explotación, control, gestión y distribución traerá como beneficio la prosperidad, salud y bienestar social, así como una buena interacción entre la sociedad y el medio ambiente.

La *hipótesis* de este proyecto es que por medio de un sistema de información geográfica, aplicado a una red de agua potable que suministra el servicio a las unidades habitacionales de Bellavista y Nueva España, localizadas en la ciudad de Tehuacán Puebla, México, se mejora la operación y la gestión del sistema de agua.

Los objetivos específicos son**:** (a) Investigar y aplicar formas de automatización, manejo y visualización de la información referida a los componentes de la red objeto de este estudio. (b) Dotar a las unidades habitacionales de Bellavista y Nueva España de un sistema de red de agua potable que les permita satisfacer las necesidades de actualización y organización de esta información para solventar problemas de toma de decisiones, planificación y mantenimiento de este servicio. En otras palabras, el *objetivo* central del trabajo es diseñar un sistema de información geográfica (SIG) de la red de agua potable de estas unidades habitacionales.

Un SIG se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, procesar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos (Bosque 1997).

En la actualidad, los *Sistemas de Información Geográfica (SIG)* están llamados a ser en un futuro cercano, los sistemas de gestión de toda la información relacionada con la operación de las redes de suministro de agua potable. La unión de la información alfanumérica con la información geográfica dentro de un SIG permite llevar a cabo un buen número de aplicaciones como son: las tareas de inventario, obtención de planos, gestión de averías, gestión de la demanda, actuaciones de mantenimiento, etc.

Ahora bien, para que un proyecto de redes de agua potable pueda utilizarse con garantía para estos propósitos es necesario que sea confiable, lo que exige mantenerlo constantemente actualizado y calibrado.

Entonces, si se dispone de los medios para elaborar un proyecto de red de agua potable siempre actualizado, éste podría incorporarse en un SIG para auxiliar a los operadores en las tareas diarias de explotación de la red. En este trabajo se justifica la funcionalidad de estas tecnologías y se abre un amplio margen de posibilidades de explotación de los SIG para un futuro, gracias a las interconexiones que se definen en el sistema de una red de tuberías.

Para la gestión de la red se requiere contar con información exacta, que permita una vinculación entre los clientes y el sistema. El funcionamiento de esta red debe ser capaz de abastecer a todos sus clientes con agua potable y dar un servicio adecuado y de calidad.

Esa gestión incluye planificar las posibles extensiones de la red, dar mantenimiento a la misma, determinar el valor del activo fijo asociado a esta infraestructura, determinar y proyectar las inversiones futuras en extensiones de la red, generar información para la proyección de la demanda de los clientes y para la regulación tarifaria, definir sectores de corte y otras tareas que

se incorporen en el tiempo. El uso de una tecnología de información como el SIG permite representar la realidad de manera visual, ayudar a mantener, generar y usar información mediante bases de datos para planificar y lograr un análisis temporal de las situaciones futuras.

Para manejar la información de esta infraestructura se utilizaron planos elaborados en AutoCad, los cuales sirvieron para dar la ubicación referencial y caracterización de la infraestructura del sistema.

DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL Y GESTIÓN DE REDES DE AGUA POTABLE

Para el desarrollo del sistema se definieron varios aspectos, como son las fronteras entre el sistema y el ambiente externo del proyecto. Se identificaron alcances y delimitaciones, así como también se establecieron los parámetros en los cuales se definieron los objetivos y expectativas.

Por lo tanto para el desarrollo de este sistema, se estableció una metodología con la cual se puede retroalimentar el sistema en sus diferentes fases, y a la vez tener un desarrollo sistemático para este proyecto.

La metodología utilizada se integró con las siguientes fases:

- Estudios preliminares
- Análisis y diseño
- Desarrollo y ejecución
- Implantación
- Producción y Mantenimiento

Estudios preliminares

Fue necesario reunirse con el personal del organismo operador encargado de la red de agua potable en la entidad a trabajar, con el propósito de planear objetivamente el sistema, así como con los usuarios directos de la localidad para definir el funcionamiento actual del sistema y su factibilidad de rediseño, ejecución e implantación del nuevo sistema.

Es imprescindible disponer de información rápida y oportuna sobre las características, ubicación, estado de los componentes que conforman la red de agua potable, para determinar la viabilidad, el proceso y ejecución del sistema. Esto con el propósito de comprender desde un inicio, todos los alcances por definir, así como también las delimitaciones del proyecto mismo.

Para poder determinar si un sistema a implementar es viable en su ejecución es necesario realizar estudios de factibilidad, en los cuales se analizan las relaciones costo-beneficio.

Análisis y diseño

En esta fase se realiza la conceptualización del sistema, el estudio, la planificación y diseños básicos del mismo. Además se establecen las restricciones con las cuales se delimita el proyecto o sistema, con el enfoque exclusivo hacia el área hidráulica.

Desarrollo y ejecución

Para esta fase se recopiló toda la información disponible, como planos existentes, la información básica de componentes, características y especificaciones que permitieran definir los parámetros que se tomaron en cuenta en la siguiente actividad.

Implantación

Será el organismo operador de agua el que se encargue de esta fase, realizando nuevas actualizaciones y siguiendo el mismo plan y metodología propuesta.

Producción y mantenimiento

Las actividades contempladas en esta fase serán desarrolladas por los encargados de administrar la red con el fin de contribuir a la mejora de la gestión de los inmuebles y servicios dentro del área de estudio. Este sistema permitirá disponer de información rápida y oportuna sobre las características y estado de los componentes que integran la red. La tecnología SIG brinda almacenamiento, análisis y producción de información georeferenciada, que debe ser aprovechada por los diferentes organismos y administraciones responsables de tomar decisiones sobre el agua, en su entorno físico, social y económico.

Algunos conceptos de utilidad en este tipo de proyectos, se describen a continuación.

Sistema: se plantea la gestión, ejecución, implementación y mantenimiento del sistema de red de agua potable, para mejorar la gestión de este importante servicio dentro de las unidades habitacionales de Bella Vista y Nueva España.

Diseño: se realizan los diseños conceptuales y lógicos del sistema, definiéndose la estructura básica y respetando el uso del Arc View como software base, por ser el programa que mejor satisface los requerimientos, además de su buena relación de interfase con Epanet y con el desarrollo en general del proyecto.

Alcances: contribuir a un inventario y georeferenciacion de los elementos que integran la red de agua potable de las unidades Bella Vista y Nueva España, que se encuentran ubicadas en la ciudad de Tehuacán, Puebla, así como la automatización de toda la información relacionada. Así, los usuarios directos serán todos los beneficiarios del sistema y los indirectos, los que en un futuro contribuirán a implementar nuevas tecnologías siendo este proyecto base para su desarrollo.

Sistemas de abastecimiento de agua potable

Los sistemas para abastecimiento de agua potable constan de diversos componentes para la captación, conducción, potabilización, desinfección, regulación y distribución. Para cada uno de ellos se construyen las obras necesarias para que sus objetivos particulares sean alcanzados de forma satisfactoria.

La captación se refiere a la toma del agua en las posibles fuentes; la conducción al transporte del recurso hasta el punto de entrega para su disposición posterior; la regulación tiene por objeto transformar el régimen de suministro del agua proveniente de la fuente, que generalmente es constante, en régimen de demanda variable que requiere la población, y el objetivo de la distribución es servirla en el domicilio de los usuarios, con las presiones adecuadas para los usos residenciales, comerciales e industriales normales, además de la reserva necesaria para la protección contra incendios en la zona de demanda urbana o rural (CONAGUA 2003).

*Conducción***.** Dentro de un sistema de abastecimiento de agua potable, se llama línea de conducción al conjunto integrado de tuberías, estaciones de bombeo y dispositivos de control, que permiten el transporte del agua desde una sola fuente de abastecimiento, hasta un solo sitio donde será distribuida en condiciones adecuadas de calidad, cantidad y presión. Las conducciones deberán entregar el agua a un tanque de regulación y así facilitar el procedimiento

del diseño hidráulico de los sistemas de agua potable, tener un mejor control en la operación de los mismos y asegurar un funcionamiento óptimo de los equipos de bombeo.

*Tanque de regulación***.** Esta es la parte del sistema de abastecimiento de agua potable que recibe un gasto desde la fuente de abastecimiento para satisfacer las demandas variables de la localidad en el transcurso del día; permite el almacenamiento de un volumen de agua cuando la demanda en la población es menor que el gasto de llegada y el agua almacenada se utiliza cuando la demanda es mayor. Generalmente este tipo de regulación se hace por periodos de 24 horas (CONAGUA 2003).

*Red de distribución***.** Es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde tanques de servicios o de distribución hasta las tomas domiciliarias y a los hidrantes públicos, lo cual se puede apreciar en la figura 1. La finalidad es proporcionar agua a los usuarios para consumo doméstico, público, industrial, comercial y para otras condiciones como incendios, etcétera.

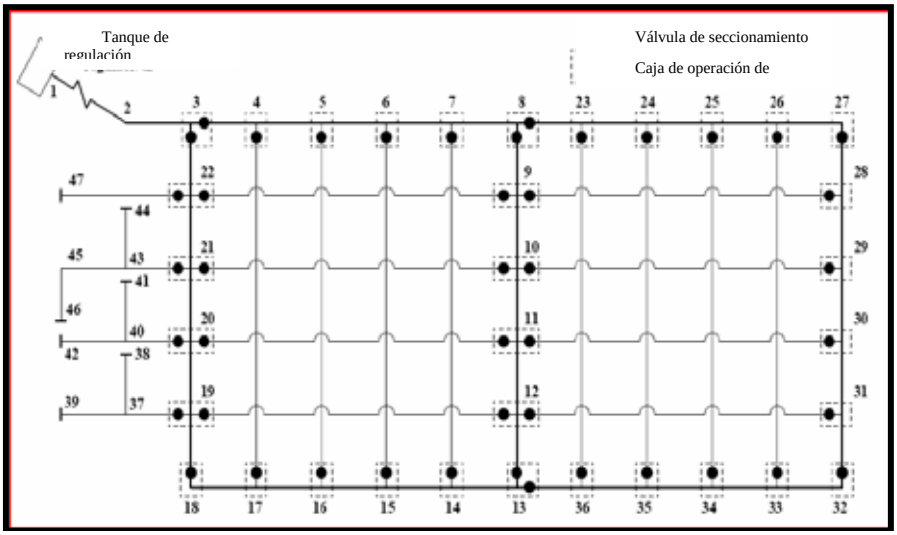

FIGURA 1. Esquema de una red de distribución

Ahora bien, el diseño de una red de distribución incluye la determinación de los diámetros de las tuberías, las dimensiones y el emplazamiento de los tanques de regulación y almacenamiento, las características y la ubicación de los dispositivos de bombeo y controles de presión. Estos deben seleccionarse de forma que se garanticen las demandas de agua con las presiones mínimas y máximas permisibles, asegurando así que no deterioren la operación de la red. Se considera su diseño óptimo cuando se logra minimizar el costo global de la red que incluye los costos de construcción, operación y mantenimiento.

Se puede ver que existen diversas formas de poder calcular una red de distribución, pero aquí se utilizó la que más se adaptó a las necesidades de cálculo del proyecto. Por lo tanto se tienen algunos requisitos de información, para realizar una buena planeación del proyecto, tales como:

- Plano regulador, desarrollo urbano (zonificación, expansión urbana).
- Plano topográfico.
- Sistema de agua si es que lo hubiese.
- Planos actualizados de servicios públicos (telefonía, electricidad, alcantarillado, etc.)
- Plano de pistas y veredas.
- Estudios de geotecnia, geológicos y de mecánica de suelos, etc.

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG son una nueva tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial y no espacial, que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato.

Los esfuerzos y la inversión necesaria para crear las bases de datos y tener un SIG eficiente y funcional no son pequeños pero tampoco son excesivos. Requiere de un esfuerzo permanente por ampliar y mejorar los datos almacenados utilizando las herramientas más eficientes para tal propósito (Barredo 1996).

Los SIG permiten: (a) realizar un gran número de manipulaciones, sobresaliendo las superposiciones de mapas, transformaciones de escala, la representación gráfica y la gestión de bases de datos; (b) consultar rápidamente las bases de datos, tanto espacial como alfanumérica, almacenadas en el sistema; (c) realizar pruebas analíticas rápidas y repetir modelos conceptuales en despliegue espacial; (d) comparar eficazmente los datos espaciales a través del tiempo (análisis temporal).

Las funciones de análisis en los SIG, que tratan conjuntamente los datos cartográficos y sus atributos temáticos, se identifican en cuatro grupos de funciones: recuperación, superposición, vecindad y conectividad (Chuvieco 1990).

ARC VIEW GIS 3.2A

Arc View GIS es un programa de sistemas de información geográfica para computadoras personales y workstations, de Enviromental Systems Research Institute (ESRI 1996). En su primera versión se encaminó principalmente hacia la modelación de resultados obtenidos mediante el empleo de otros programas. En la actualidad tiene mucha capacidad para interpretar, ver, consultar y analizar datos de forma espacial y no espacial (Lantada y Nuñez 2005); en la figura 2 se presentan los menús, botones y herramientas del ArcView.

Existen módulos independientes que funcionan sobre Arc View y permiten realizar operaciones de análisis. Dichos módulos son:

3D Analyst. Herramienta que permite crear modelados del terreno con estructura “triangle irregular network” (TIN) y GRID para datos continuos tales como elevación del terreno o gradientes de temperatura. Realiza estructuras GRID a partir de datos de puntos mediante interpolaciones por el método “inverse distance weighting” (IDW), “spline” o “kriging”.

Spatial Analyst. Además de manejar datos vectoriales, el Arc View con este módulo maneja datos raster sobre los cuales se pueden generar superficies que posteriormente se analizarán para crear mapas.

Network Analyst. Contiene herramientas para encontrar la mejor ruta, en distancia y tiempo entre dos puntos del terreno.

Estructuración de Datos con Arc View

Todos los componentes de las sesiones de Arc View se encuentran almacenados en un documento llamado proyecto (Project), que contiene las referencias de la ruta donde se encuentran se guarda la información gráfica y las tablas con las cuales se trabaja. El fichero del proyecto tiene extensión de *.APR.

En general los distintos documentos con los que puede trabajar Arc View son:

Vistas (View). Donde se recibe información gráfica de forma distribuida en temas. Cada vista tiene por componente una gráfica y una tabla de contenidos que incluye los diferentes temas a tratar.

Tablas (Tables). Cada tema de las vistas tiene relacionada una tabla que contiene los atributos de las entidades gráficas de los mismos. También se puede disponer de tablas que contienen datos externos referidos a dichas entidades, las cuales se pueden relacionar o unir ambos conceptos.

Gráficos (Charts). Se realizan gráficos tipo, como son el de barras, sectores y dispersión, de los atributos ya sea por medio de tablas o de selección de los mismos.

Composiciones Gráficas (Layouts). Cualquier tipo de información que se encuentre en los documentos del proyecto debe incluirse en una composición gráfica para la realización de salidas gráficas como, por ejemplo, mapas temáticos, informes, etc.

Scripts. Son programas desarrollados en el lenguaje propio de Arc View, llamado Avenue, que permiten la automatización de tareas en el entorno particular.

Como herramienta para el desarrollo de un SIG, el ArcView es el medio más indicado para poder realizar tareas o proyectos de esta índole, ya que no solo proporciona un gran mecanismo por sí mismo, sino que admite ficheros externos, base de datos, etc., los cuales pueden ser agregados al proyecto en sí, modificados o cambiados (ESRI 1996).

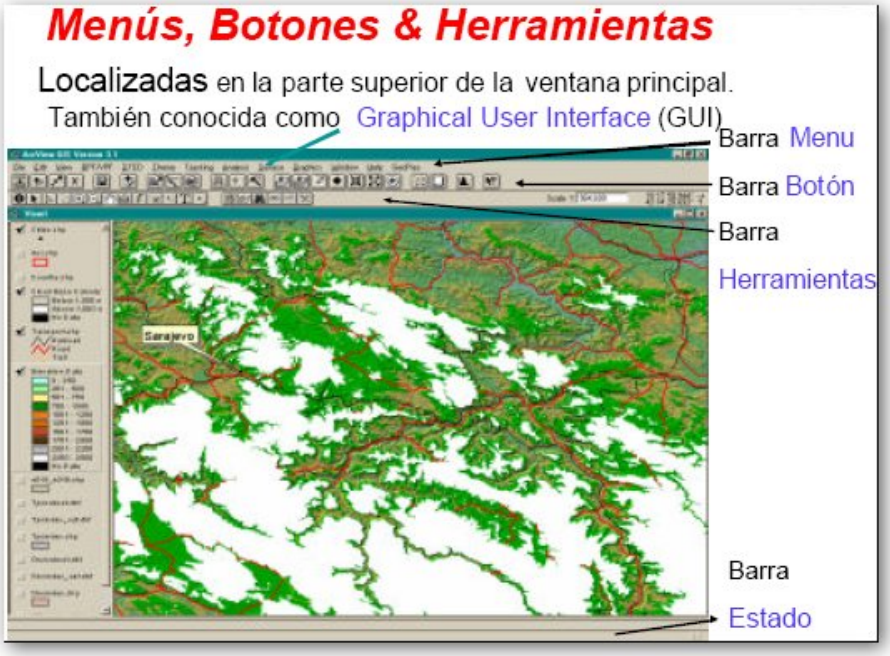

FIGURA 2. Menús, botones y herramientas del Arc View

EPANET

Aunque en el mundo actual existen diversos paquetes hidráulicos modernos capaces de modelar cualquier situación tipológica de redes de tuberías de agua, el software que se utilizó en este proyecto fue Epanet 2.0, con las características que a continuación se describen. Es un programa de ordenador que permite realizar simulaciones en periodos prolongados (uno o varios días) del comportamiento hidráulico y de la evolución de la calidad del agua en redes de suministro a presión. Una red puede estar conformada por tuberías, nudos (uniones de tuberías),

bombas, válvulas y depósitos de almacenamiento o embalses. EPANET realiza un seguimiento de los cambios de los caudales en las tuberías, las presiones en los nudos, los niveles en los depósitos, y la concentración de las especies químicas presentes en el agua, a lo largo de todo el periodo de simulación, discretizado en múltiples intervalos de tiempo. Además de la concentración de las distintas especies, puede también simular el tiempo de permanencia del agua en la red y su procedencia desde las diversas fuentes de suministro (Martínez 2001).

EPANET se ha concebido como una herramienta de investigación para mejorar el conocimiento sobre el avance y destino final de las diversas sustancias transportadas por el agua, mientras ésta discurre por la red de distribución. Entre sus diferentes aplicaciones puede citarse el diseño de programas de muestreo, la calibración de un modelo hidráulico, el análisis del cloro residual, o la evaluación de las dosis totales suministradas (Martínez 2001). Puede resultar también de ayuda para evaluar diferentes estrategias de gestión dirigidas a mejorar la calidad del agua a lo largo del sistema. Entre estas pueden citarse:

- Alternar la toma de agua desde diversas fuentes de suministro.
- Modificar el régimen de bombeo, o de llenado y vaciado de los depósitos.
- Implantar estaciones de tratamiento secundarias, tales como estaciones de recloración o depósitos intermedios.
- Establecer planes de limpieza y reposición de tuberías.

Con el EPANET se puede modelar un sistema de distribución de agua como un conjunto de líneas conectadas por sus nudos extremos. Las líneas representan tuberías, bombas o válvulas de control. Los nudos representan puntos de conexión entre tuberías o extremos de las mismas, con o sin demandas (nudos de caudal), y también depósitos o embalses (Rossman 2000).

Proporciona un entorno integrado bajo Windows para la edición de los datos de entrada a la red, la realización de simulaciones hidráulicas y de la calidad del agua, y la visualización de resultados en una amplia variedad de formatos. Entre éstos se incluyen mapas de la red codificados por colores, tablas numéricas, gráficas de evolución y mapas de isolíneas.

Ha sido desarrollado por la División de Recursos Hídricos y Suministros de Agua (anteriormente División de Investigación del Agua Potable) del Laboratorio de Investigación Nacional para la Gestión de Riesgos, de la Agencia del Medio Ambiente de los Estados Unidos. Dos de los requisitos fundamentales para poder construir con garantías un modelo de calidad del agua son la potencia de cálculo y la precisión del modelo hidráulico utilizado. Además, contiene un simulador hidráulico muy avanzado que ofrece las siguientes facilidades**:**

- No existe límite en cuanto al tamaño de la red que puede procesar.
- Las pérdidas de carga pueden calcularse mediante las fórmulas de Hazen-Williams, de Darcy-Weisbach o de Chezy-Manning. Contempla pérdidas menores en codos y accesorios.
- Admite bombas de velocidad fija o variable, puede calcular el consumo energético y sus costos, permite considerar varios tipos de válvulas, tales como válvulas de corte, de retención y reguladoras de presión o caudal.
- Admite depósitos de geometría variable (esto es, cuyo diámetro varíe con el nivel), permite considerar diferentes tipos de demanda en los nudos, cada uno con su propia curva de modulación en el tiempo, también modelar tomas de agua cuyo caudal dependa de la presión (p. ej. rociadores), admite leyes de control simples, basadas en el valor del nivel en los depósitos o en la hora prefijada por un temporizador, y leyes de control más complejas basadas en reglas lógicas.

Implementación del SIG

La construcción e implementación de un SIG en cualquier organización es una tarea siempre progresiva, compleja, laboriosa y continua. Los análisis y estudios anteriores a la implantación de un SIG son similares a los que se deben realizar para establecer cualquier otro sistema de información; sin embargo, en los SIG hay que considerar las características especiales de los datos utilizados y sus correspondientes procesos de actualización.

Es indiscutible que los datos son el principal activo de cualquier sistema de información. Por ello el éxito y la eficacia de un SIG se miden por el tipo, calidad y vigencia de los datos con los que opera. En la mayoría de los sectores, los SIG pueden ser utilizados como una herramienta de ayuda a la gestión y toma de decisiones.

Los sistemas de información geográfica constituyen una herramienta formidable para la gestión de medios hidráulicos porque permiten construir modelos digitales a partir de la información asociada a estos. Con esta utilización, el desarrollar aplicaciones informáticas y comprender mejor la realidad de los medios de distribución de agua es una tarea sistemática por lo que es preciso establecer un programa de secuencia de eventos, el cual ayuda a lograr una mejor aplicación de los datos recolectados, para posteriormente utilizar dicha información y plasmarla en el sistema. Por lo tanto, la ejecución del SIG del sistema hidráulico antes mencionado se realizó de acuerdo con los objetivos de este trabajo. Entonces, a través de un diagrama de flujo se presenta el esquema de desarrollo del sistema en la figura 3 y en la figura 4 se muestra el plano del sistema de agua potable en ArcView GIS 3.2a.

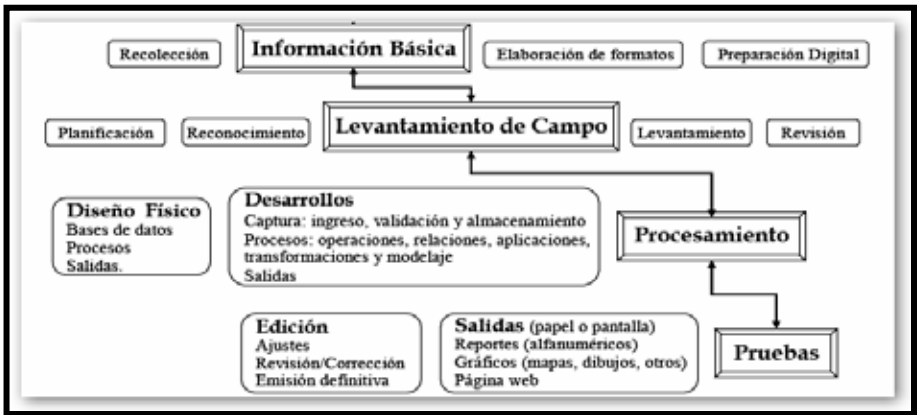

FIGURA 3. Fases para el desarrollo de un SIG

Ingreso de la red de agua potable a EPANET 2.0

Ya definida la red en un escenario de Arc View, se exporta a un formato de los archivos de EPANET por medio del programa shp2epa.exe, a través de la función “Import Junctions and Pipes”, figura 5, estableciendo el prefijo y la numeración inicial de cada elemento. Una vez realizado lo anterior, se procede a definir la tolerancia de ajuste de nodos, y finalmente se le asigna un nombre y se guarda el proyecto (Martínez y Sancho 2003).

FIGURA 4. Plano del Sistema de Agua potable

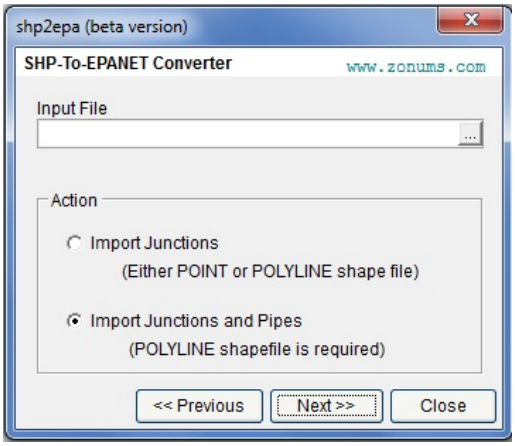

FIGURA 5. Programa SHP-to- EPANET Converter (shp2epa.exe)

A continuación se abre el archivo guardado para definir de forma correcta la red de agua potable (propiedades), de tal manera que sea congruente con el sistema real. Entonces lo que sigue es definir algunos entornos y objetos que son parte integral del desarrollo del sistema EPANET, como son los *valores por defecto*.

Si se pulsa la casilla identificativos ID, se despliega un cuadro que se muestra en la figura 6. Si se requiere de un incremento de ID en 1, se habilita la casilla y se acepta. Posteriormente es posible asignar un nombre o número que se quiera a cada objeto seleccionado del proyecto. El siguiente paso es presionar la casilla *opciones hidráulicas*, del mismo cuadro de la figura 6. De dicha opción se elige LPS (litros por segundo) para las unidades de caudal. Lo que conlleva a

que las unidades métricas del Sistema Internacional (SI) serán utilizadas también para las restantes magnitudes (longitudes en metros, diámetros de tubería en mm, presiones en mca, etc.). Al igual que en la forma anterior se pulsa Darcy-Weisbach (D-W) para el cálculo de las pérdidas de carga. Si se desea guardar estos valores para futuros proyectos, se valida la casilla de *guardar valores por defecto* y posteriormente se acepta.

ANÁLISIS HIDRÁULICO

Análisis en régimen permanente

Primera simulación hidráulica. Como primer paso en el cálculo, se pulsa en el menú *proyecto***,** y en seguida se presiona el botón *calcular*. Si todo está correcto aparecerá un mensaje diciendo que la simulación es válida y para ver los resultados existe una gran variedad de formatos de informes. En caso contrario aparecerá la leyenda que la simulación ha fallado, seguido de un informe de estado, indicando cuál ha sido el problema de la red.

FIGURA 6. Valores por defecto en el EPANET

Análisis en periodo extendido

Para que el proyecto tenga una simulación en periodo extendido o dinámico, se debe crear una curva de modulación para hacer que las demandas en los nudos varíen en forma periódica a lo largo del día.

El proceso para cargar una curva de modulación es el siguiente. Habrá que dirigirse al visor de EPANET, enseguida se pulsa *datos*, se da clic en el botón para ver las opciones que despliega la lista, luego se presiona *curva modulación* y posteriormente se le da clic al ícono *añadir*. Entonces se llenan las casillas con datos de los factores de gasto horario, publicados por CONAGUA (2005) y después simplemente se acepta y automáticamente se guarda la curva.

El siguiente paso es darle el periodo de tiempo al sistema Epanet, en el cual se va a simular el comportamiento hidráulico del proyecto. Entonces nuevamente se va al visor y se da un clic a datos, y de la lista de opciones que da, se selecciona *opciones*, posteriormente aparece una nueva lista, de la cual se selecciona *tiempo* y se pulsa el botón editar. El cuadro que se despliega enseguida es el de controles de simulación, entonces se llena la casilla de tiempo con el que se

desee trabajar, y los demás ajustes pertinentes que sean necesarios. Una vez ingresados estos factores a la curva modulación se estará preparado para llevar a cabo la simulación en periodo extendido.

Para llevar a cabo la simulación, nuevamente habrá de dirigirse al menú *proyecto*, para posteriormente pulsar el botón *calcular*, y si la simulación es válida, los resultados se pueden apreciar en diferentes formatos de salida. Si la simulación falla, el propio sistema Epanet indicará dónde probablemente se encuentre el error.

Debido a que al sistema se le ingresa un lapso de tiempo de 72 h (3 días) de simulación, los resultados se pueden apreciar por cada hora de comportamiento hidráulico o en dado caso, en las horas de demanda críticas de los factores de variación del gasto horario, máximo y mínimo también recomendados.

Establecimiento de escenarios

El sistema de distribución de agua potable para las unidades habitacionales de Bellavista y Nueva España, por sus características hidráulicas únicas, presenta un esquema de red de tal forma que se pueden modelar escenarios de distribución diferentes, los cuales ayudarán a simular situaciones de emergencias y otras, en caso de presentarse, por ejemplo, revisiones, composturas y mantenimiento o simplemente eficiencia del funcionamiento de la red.

En este proceso a realizar habrá que modelar las situaciones o sistemas hidráulicos en EPANET, de tal forma que los resultados sean los esperados, considerando todos los casos posibles a presentarse en un momento dado. Los casos que se analizaron fueron los siguientes:

1) Bomba sin operar y válvula cerrada. 2) Bomba sin operar y válvula abierta. 3) Bomba en operación y válvula cerrada. 4) Bomba en operación y válvula abierta.

Primer caso: bomba sin operar y válvula cerrada

Para la red hidráulica establecida, se omitió o se cerró el paso de agua al punto o nodo 4, esto se hizo poniendo una válvula antes de dicho nodo. Lo anterior se considera con la bomba sin operar y el tanque funcionando normalmente, con lo cual se dejaría sin agua a la zona norte de la zona en estudio. Para efectos hidráulicos de modelación en Epanet, las características de cada nodo que proceden al número 4, se ponen en ceros en sus respectivas casillas de verificación, es decir se omiten tanto la curva modulación como la demanda base, que son características que el software requiere para poder funcionar, y con lo anterior, se obtienen los resultados lógicamente esperados.

Una forma de comprobar la corrida con válvula cerrada es eliminar toda la zona donde no hay fluencia de agua por las razones ya conocidas, y así se verifica lo acontecido, por lo tanto, lo anterior es muy congruente con el estado de válvula cerrada. En la figura 7 se puede apreciar que en los demás nodos o cruceros no hay cambios ni nada por el estilo por lo que dicho proceso se acepta como bueno.

A continuación se puede apreciar en los esquemas de salida de Epanet 2.0 (dos soluciones de modelación), cómo el agua no fluye en la zona que previamente se estableció, zona noroeste. La red hidráulica se comporta para un tiempo de dos horas de régimen del agua como se muestra en la figura 7.

Conclusión primer caso. En todo este modelado del primer caso, se puede establecer que el nodo donde siempre se tendrá una máxima presión es el 3A, por lo que en alguna contingencia de emergencia, como podría ser un incendio, se puede tener como base dicho crucero para

establecer un hidrante o alguna otra ramificación, mientras que el nodo que siempre presentó la mínima presión fue el D.

En lo que se refiere al tanque de regulación, este suministró en condiciones de demanda de agua normales para cada nodo de la red, solo tres horas de tiempo, puesto que como se sabe, la bomba estaba sin operar, de ahí su rendimiento en el tiempo y su suministro a la población.

Cada nodo de la red, para cada instante presentado, se comporta de manera eficiente y conforme a las necesidades de demandas y a la curva de modulación establecidas por la CONAGUA (2005), para 24 horas de régimen del mismo, y también según los requerimientos del proyecto para cada situación establecida y para cada nodo.

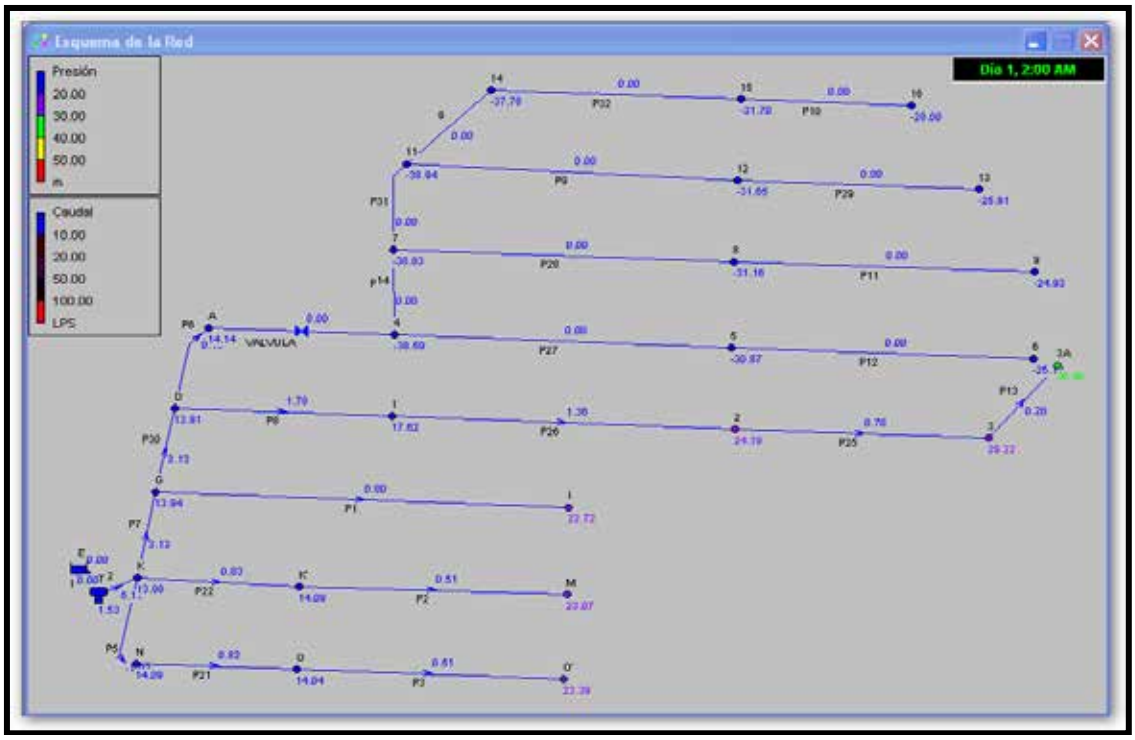

FIGURA 7. Esquema de la red para un tiempo de dos horas de simulación.

En todo el lapso de tiempo del modelado de la red y con las condiciones previamente establecidas como bases, tanto la presión máxima como la presión mínima estuvieron dentro del rango de aceptación de las normas que exige CONAGUA, por lo tanto se considera el modelado como correcto y eficiente (aquí solo se describió brevemente el primer escenario por razones de espacio).

Resultados de la simulación hidráulica

En la simulación de los cuatro escenarios antes establecidos, se encontraron resultados lógicamente esperados y conclusiones que de alguna u otra manera, vienen a reforzar los mecanismos de estudio de una red de distribución de agua.

Para el primer caso con la válvula cerrada, es obvio esperar que el flujo de agua no circule hacia la zona cerrada, aun así, toda la red tiende a comportarse de acuerdo con las variaciones por hora y con los datos de la demanda de la curva de modulación. En cuanto a la bomba, en un estado de parada, no suministra más agua al tanque, por lo que el suministro del mismo solo alcanza un máximo de tres horas.

Para el segundo escenario, que es igual que el primer caso, solo que con la válvula abierta, se distribuirá el agua en todos y cada uno de los nodos de la red, puesto que la válvula ya no impedirá el flujo de agua a esa zona, pero de igual forma que en el caso anterior, la bomba no suministra agua al tanque, por tanto la simulación solo alcanza para un máximo de dos horas, es decir, el agua se agota en la red a la segunda hora de funcionar normalmente. Las presiones tanto para el primer caso como para el segundo entran dentro del rango de aceptables, ya que la mínima esperada para zonas semi-urbanas es de 10 m y la máxima de 50 m respectivamente.

Para la simulación del tercer caso se tiene la misma válvula cerrada para esa zona, pero con la condición de bomba funcionando normalmente. Es de esperar situaciones normales de presión y caudal para toda la red, por lo tanto se presentan resultados lógicos, pero para EPANET en la zona sin flujo de agua solo manifiesta situaciones de presiones negativas, lo que significa cero circulación de agua. Lo anterior se debe al caso de que la válvula se encuentra en estado cerrada.

El cuarto caso es igual que el tercer caso pero se modifica solo en cuestiones de abrir la válvula y se genera la situación de presiones resultantes en toda la red normales, además de circulación del flujo en toda ella, según las demandas establecidas y siempre presentando resultados que se encuentran dentro del rango de aceptación de las normas de (CONAGUA 2005).

En todos los casos, la presión más alta se presentó en el nodo 3A, mientras que la presión mínima se manifestó en el crucero D. En cuanto a los demás nodos, sus presiones no variaron drásticamente, es decir tendieron a comportarse normalmente, presentándose presiones medias, en la zona centro, las más bajas en la zona Suroeste y las más altas en la zona Noreste.

CONCLUSIONES

La gestión de los sistemas de distribución de agua constituye un motivo de estudio, actualización e innovación en las diversas dependencias gubernamentales y privadas, en los sectores involucrados dentro de la sociedad. Las acciones orientadas a crear capacidades de gestión y regulación en el manejo del agua son temas prioritarios para el desarrollo de las comunidades rurales y de la sociedad urbana en general.

En general, resultan evidentes las ventajas que presenta el uso de los sistemas de información geográfica (SIG) que pueden ser referenciados a entidades espaciales, particularmente por la gran utilidad que significa combinar la potencialidad de la parte gráfica del sistema con un banco de datos interactivo y de actualización automática.

En cuanto al software utilizado en el proyecto, se puede decir que Arc View es una herramienta de gran ayuda en los SIG, ya que provee herramientas para incorporarlas en la información espacial y atributiva, crear mapas, realizar consultas, desarrollar análisis espaciales, acceder a base de datos externas e implementar aplicaciones bajo programación en lenguaje Avenue.

Para concluir, es importante destacar que el uso de los SIG no debe ser manejado como un problema de tecnología, como ha ocurrido durante ya varios años, sino que su uso debe reflejar la necesidad de una herramienta para el manejo de datos espaciales con la finalidad de resolver un problema.

RECOMENDACIONES

El proyecto, por ser un sistema de información geográfica, se deberá actualizar y retroalimentar conforme se tengan necesidades de la población servida, que a su vez son directamente proporcionales a las mejoras, gestión, reparaciones, abastecimiento de la red de agua y por lo tanto este proceso se vuelve cíclico, lo cual ocasiona que se tengan que tomar medidas de control y actualización sobre todo de la red de agua, que solo beneficiará a la población y con este propósito, tener un mejor servicio de calidad de agua distribuida en el fraccionamiento.

Por último, resulta muy recomendable el aplicar este tipo de proyectos a otros casos, en las múltiples redes de distribución de agua potable que se tienen o que se tendrán que construir para servir a la creciente sociedad mexicana, lo que facilitaría la operación, mantenimiento y gestión de dichos sistemas.

REFERENCIAS

Barredo, C. J. I. (1996). "Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación territorial". Editorial RAMA, Madrid, España.

Bosque, S. J. (1997), "Sistemas de Información geográfica". Ediciones Rialp S.A., Segunda edición corregida, Madrid, España.

Chuvieco, E. (1990). "Fundamentos de teledetección espacial". Ediciones Rialp, Madrid, España.

CONAGUA (2003), "Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento". Comisión Nacional del Agua, México.

CONAGUA (2005). "Manual para el levantamiento de las redes hidráulicas en áreas urbanas". Comisión Nacional de Agua, Subdirección General de Construcción, Coordinación de Asuntos Fronterizos, México.

ESRI (1996). "Manual Arc View Gis". Environmental Systems Research Institute, Redlands, California 92373-8100 USA.

Lantada, Z. N. y Nuñez, A. M. A. (2005). "Sistemas de Información Geográfica, Prácticas con Arc/View 3.2". Ediciones UPC, Editorial Alfaomega. Cantabria, España.

Martínez, F. (2001). "Manual de Epanet 2.0 en Español". Distribuido por internet. http://es.scribd.com/doc/7751741/EPANET-2.0-en-español-Manual.

Martínez F. B. y Sancho H. (2003) "Obtención de modelos hidráulicos de redes de suministro de agua desde SIG. Conexión ArcView- EPANET 2". XXIII Jornadas Técnicas de la AEAS. Salamanca, España. Actas de las Jornadas, pp 293-310.

Rossman, L. (2000), "Epanet 2 User's Manual". USEPA. Cincinnati, USA.