

Proyecto de investigación aplicada: Introducción a la modelación asistida de sistemas de distribución de agua (MASDA). Caso de estudio: campo/escuela Scout de Costa Rica

Maikel Méndez M.¹

En la actualidad, el constante crecimiento y expansión que experimentan los centros urbanos ha aplicado gran presión sobre los sistemas de abastecimiento y distribución de agua para consumo humano.

Palabras clave

Agua, abastecimiento, eficiencia, EPANet, modelación

Resumen

En la actualidad, el constante crecimiento y expansión que experimentan los centros urbanos ha aplicado gran presión sobre los sistemas de abastecimiento y distribución de agua para consumo humano. Los bajos niveles de eficiencia que muchos administradores de sistemas de distribución de agua (ASDA) exhiben tienden a agudizar este problema. A través de herramientas de modelación asistida de sistemas de distribución de agua (MASDA), es posible generar un mayor conocimiento sobre la naturaleza y posibilidades de cada sistema. Como caso de estudio, CIVCO/ITCR, analizó la situación del sistema de distribución de agua potable del campo/escuela Scout de Costa Rica. Al identificarse deficiencias irremediables, se decidió diseñar un nuevo sistema que pueda afrontar adecuadamente

una ocupación máxima de 280 personas durante un evento crítico de 8 días. Una vez definidos los patrones de diseño, se evalúan diversos escenarios de modelación a través de EPANet 2.0. La información arrojada indica que los supuestos originales de diseño son adecuados y el sistema presenta condiciones estables de flujo uniforme durante todo el período de modelación. Por otro lado, la concentración de cloro residual en el sistema llega a estabilizarse después de pasado del período de ocupación máxima. El proyecto MASDA seguirá prestando en el futuro asesoramiento y apoyo tecnológico a los administradores de sistemas de distribución de agua, y les permitirá servir de una forma eficiente, constante y confiable a las comunidades bajo su administración, al tiempo que se reduce el impacto sobre las fuentes de producción.

Panorama actual

Muchos los de sistemas de distribución de agua (SDA) administrados por municipios

1. Profesor investigador del Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción (CIVCO). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: mamendez@itcr.ac.cr.

Con base en la elevada dependencia entre estos parámetros dinámicos, se hace difícil llevar a cabo un análisis profundo sin la asistencia de herramientas de simulación y modelación a causa de la complejidad que pueden alcanzar los sistemas de ecuaciones de equilibrio.

Las organizaciones comunales exhiben eficiencias de operación bajas. El índice de agua no contabilizada (IANC) que representa aquel balance de masas entre el flujo producido y el flujo facturado a los usuarios, oscila normalmente entre valores por debajo del 50% (Cabrerá, 2002). Las causas de esta situación son complejas; sin embargo, las pérdidas de flujo figuran dentro de las más relevantes. Tales pérdidas pueden darse ya sea por fugas en redes de distribución de agua, rebalses no controlados en reservorios o estructuras de almacenamiento, y en menor medida por conexiones ilícitas o morosidad de grandes consumidores (Mays, 2001). En el caso de las fugas, las redes se encuentran mayoritariamente bajo tierra, por lo que las pérdidas de flujo pueden muchas veces pasar inadvertidas. Aún más, si no existe una estructura eficiente de control sobre la macromedición (*flujo producido*) y la micromedición (*flujo facturado*), es difícil estimar con certeza cuánto flujo se pierde por infiltración profunda. Los rebalses en reservorios se presentan mayoritariamente por ausencia de sistemas esenciales y mínimos de control, lo que influye negativamente en el esquema operativo y representa una pérdida importante de flujo, recursos energéticos e insumos (*en el caso de tratarse de agua previamente potabilizada*). Aparte del coste ecológico y financiero que imponen las pérdidas de flujo sobre la operación de los SDA, estas imparten estrés sobre los usuarios al presentarse cortes o insuficiencias constantes en el servicio, principalmente durante la época seca. Las pérdidas de flujo también representan un factor de riesgo constante sobre la calidad de agua dada la posibilidad de intrusiones patógenas en zonas de baja presión (*pobrementemente sectorizadas*) en redes de distribución de agua y que posteriormente inician su recorrido incontrolado a lo largo de toda la extensión del sistema (Mays, 2001).

Dependiendo del contexto, aun cuando las causas de tales pérdidas de flujo hayan

sido detectadas, la posterior rehabilitación de los sectores afectados implica inversiones capitales significativas que el administrador muchas veces no está en capacidad de cubrir. Lo anterior puede ser causa de una deficiente gestión financiera, altos índices de IANC, subsidios y morosidad que no permiten la obtención de réditos para invertir en el mantenimiento o adecuación de los sistemas (Beckwith et al, 2005). La vía del ahorro y del uso eficiente del agua es la única alternativa válida que garantiza la sostenibilidad del recurso hídrico. Por ello, el grupo meta que este proyecto involucra incluye a administradores públicos tales como las municipalidades, las asociaciones administradoras de sistemas de acueductos y alcantarillados (ASADAS) y el sector privado.

Herramientas MASDA

La modelación asistida de sistemas de distribución de agua (MASDA) o Advanced Water Distribution Modeling (AWDM por sus siglas en inglés) se refiere al proceso de generar y utilizar una representación o modelo matemático de un sistema físico a escala real. El óptimo diseño, rehabilitación y operación de un SDA considera aspectos tales como la hidráulica, los materiales que integran el sistema, la calidad y estado del agua-fuente y los patrones de demanda y consumo. No obstante, los SDA son conjuntos dinámicos; parámetros tales como consumos, cargas de presión y controles cambian rápida y constantemente a través del tiempo (Rossman, 2000).

Con base en la elevada dependencia entre estos parámetros dinámicos, se hace difícil llevar a cabo un análisis profundo sin la asistencia de herramientas de simulación y modelación a causa de la complejidad que pueden alcanzar los sistemas de ecuaciones de equilibrio. El propósito de MASDA es reproducir con la mayor precisión posible, mediante computadores y programas de análisis, el comportamiento real del sistema físico que representa, calculando, para los elementos que integran el modelo, los

parámetros hidráulicos que los caracterizan. MASDA permite predecir y anticipar la respuesta de los sistemas a diversas condiciones y escenarios. Además limita el grado de experimentación y disrupción a escala real (Abebe & Solomatine, 2002). Con MASDA se persigue mejorar las condiciones de suministro mediante el control de parámetros dinámicos bajo un marco de suficiencia informativa que suministre datos confiables y relevantes que puedan ser utilizados en la toma de decisiones. Las herramientas MASDA tienen aplicaciones diversas, dentro de las que destacan:

- Diseños de SDA a pequeña o gran escala incluyendo nuevos desarrollos, rehabilitación y proyección de crecimiento tanto poblacional como del sistema mismo.
- Estudios sobre protección contra incendios.
- Evaluación de calidad bacteriológica y físico-química del agua, incluyendo el efecto residual de oxidantes o intrusión de contaminantes.
- Ahorro energético donde los mayores costos operativos corresponden al pago de potencia consumida.
- Manejo de escenarios de crisis con el objeto de minimizar impactos negativos.
- Optimización de la operación rutinaria y entrenamiento de los operarios.
- Integración de herramientas de planificación urbana y geográfica, SIG, CAD, otros.

Existe diversidad de herramientas MASDA, algunas de dominio público, mientras que otras se rigen por licenciamientos que, además de ser costosos y no estar disponibles para cualquier administrador, presentan limitaciones en sus capacidades de acuerdo con las características originalmente adquiridas. Dentro las herramientas de dominio público se encuentra EPANet™.

EPANet™ es un modelo computacional que realiza simulaciones en periodos prolongados del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en SDA operados a presión bajo el precepto de flujo uniforme y constante. EPANet fue desarrollado a principios de la década de los 90 por la Environmental Protection Agency (EPA) de los EE.UU. y traducido al castellano por la universidad de Valencia, España. Sus capacidades incluyen diseño de programas de muestreo, diseño y calibración de modelos hidráulicos y análisis de migración o consumo de oxidantes o contaminantes en redes de distribución de agua (Rossman, 2000).

Caso de estudio

A nivel internacional, existe diversidad de casos de estudio que han arrojado información valiosa y positiva alrededor del potencial uso de las herramientas MASDA en cuanto a diseño, evaluación y optimización de sistemas de distribución de agua (Aliad et al, 2002; Bahadur et al, 2003; Castro & Neves, 1998; Fujiwara, 1998; Harding & Walski, 2002). Específicamente a nivel de CIVCO/ITCR, durante el primer semestre de 2006 se realizó un proyecto de análisis y replanteamiento del sistema de distribución agua potable del campo/ escuela Scout de Costa Rica.

Situación existente

El campo/escuela pertenece al Cuerpo Scout de Costa Rica y se encuentra ubicado en los cerros de la Carpintera, provincia de Cartago, cantón de Tres Ríos, Costa Rica (Hoja Cartográfica Istarú, 3445 IV, Escala 1:50,000; Instituto Geográfico Nacional). Con un área cercana a las 160 ha, el campo escuela presenta en la actualidad deficiencias considerables en el suministro de agua potable (Méndez et al, 2006). Tales deficiencias han venido de la mano con un crecimiento desmedido y poco planificado de la demanda de flujo, una inadecuada y antigua red de

A nivel internacional, existe diversidad de casos de estudio que han arrojado información valiosa y positiva alrededor del potencial uso de las herramientas MASDA en cuanto a diseño, evaluación y optimización de sistemas de distribución de agua.

distribución que presenta innumerables puntos de pérdidas de flujo, una ausencia de controles y comando electromecánicos e hidráulicos, una insuficiente capacidad de almacenamiento y distribución, una limitada tasa de producción versus demanda y, finalmente, una pobre definición sobre las zonas de presión establecidas aunadas a elevadas cargas piezométricas, por arriba de 100 m en algunos sectores de la red (Méndez et al, 2006). Una vez levantada la información topográfica y sistemática de red actual, se procedió a modelar el escenario actual mediante EPANet 2.0. Los resultados arrojados por EPANet para el escenario actual fueron inútiles ya que, por las razones anteriormente descritas, el sistema constantemente se indefinía fuera de los límites estipulados para flujo uniforme. Por estas y otras razones se tomó la decisión de rediseñar totalmente la red de distribución.

Sistema propuesto, escenario ideal

Dada la capacidad máxima de producción en la fuente (0,570 L/s) y con base en las estimaciones de ocupación y permanencia suministradas por la administración del campo escuela, se definió una ocupación máxima de 280 personas para este escenario ideal. La ocupación máxima definida fue de 8 días (192 horas) y una dotación de 200 L/p/d (litro por persona por día) con factores de consumo de 0,50; 2,25; 1,50 y 1,00 de la demanda media diaria en rangos de 6 horas a lo largo de las 24 horas del día. De igual manera y fundamentados en la legislación vigente (AyA, 2001), se estipuló un volumen de almacenamiento de 400 m³ (50 m³/d consumidos a lo largo de 8 días por 280 personas sin tomar en consideración la operación del sistema de bombeo) que a su vez se fraccionó mediante dos tanques de almacenamientos de 200 m³ cada uno (fig 1).

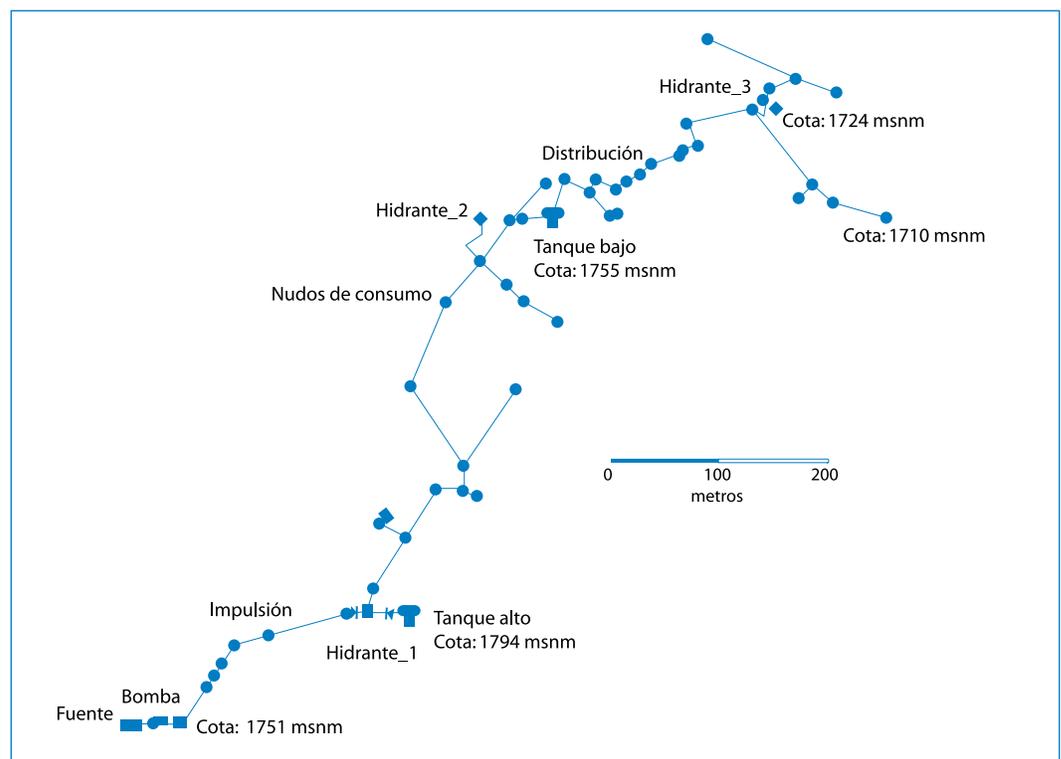


Figura 1. Sistema de distribución de agua ideal para el campo/escuela Scout modelado a través de EPANet.

Fuente (el autor).

Cada tanque tiene niveles máximos y mínimos de operación de 0,60 y 3,00 m respecto al nivel de fondo. Los 0,60 m de tanque muerto solamente se utilizarían dentro de escenarios de emergencia. Al mismo tiempo, con los dos tanques se definieron claramente dos zonas de presión conocidas como zona de presión alta (entre los 1794 y 1755 msnm) y zona de presión baja (entre 1755 y 1710 msnm). La alimentación del tanque alto se da por bombeo/impulsión desde la fuente (1751 msnm), mientras que la del tanque bajo se da por gravedad desde el tanque alto. Ambos tanques se dotaron con válvulas de hidráulicas limitadoras de caudal en sus entradas con el fin de evitar desplazamientos masivos de flujo. Además se concibió un sistema de telemetría que controla la operación del sistema de bombeo con base en los niveles del tanque alto. El escenario de ocupación máxima se enfrentaría con ambos tanque totalmente llenos ya que, de lo contrario, el sistema sería incapaz de enfrentar la demanda. Para la red de distribución se seleccionó tubería PVC SDR-26 de 50 mm diámetro nominal con reductores de presión (calibrados a 10 m) en los nudos de consumo con el propósito de ajustar y limitar las demandas a rangos

uniformes. Tres cabezales de hidrantes para incendios se colocaron en sectores estratégicos de la red (fig 1). Sistemas de soporte en la red tales como válvulas de evacuación y entrada de aire, válvulas de purga y válvulas de alivio se instalaron en puntos relevantes de ella. La bomba seleccionada fue de la marca STA-RITE, modelo DSS4HG, con carga manométrica máxima de 75 m. Una vez programadas las condiciones de diseño, se procedió a simular el escenario ideal mediante EPANet para verificar la existencia constante de un estado de flujo uniforme (a lo largo de las 192 horas de simulación) y al mismo tiempo evaluar parámetros dinámicos relevantes tales como cargas de presión, velocidades y horas de operación del sistema de bombeo.

Los resultados muestran que estipulando niveles mínimos y máximos de 1,75 y 3,00 m de arranque/pare respecto al nivel de fondo del tanque alto y mediante el sistema de telemetría, el sistema de bombeo no empezaría a operar hasta las 40 horas de iniciado el evento de ocupación máxima de 192 h (figura 2), lo que se traduce en un ahorro energético significativo.

Los resultados muestran que estipulando niveles mínimos y máximos de 1,75 y 3,00 m de arranque/pare respecto al nivel de fondo del tanque alto y mediante el sistema de telemetría, el sistema de bombeo no empezaría a operar hasta las 40 horas de iniciado el evento de ocupación máxima de 192 h (figura 2), lo que se traduce en un ahorro energético significativo.

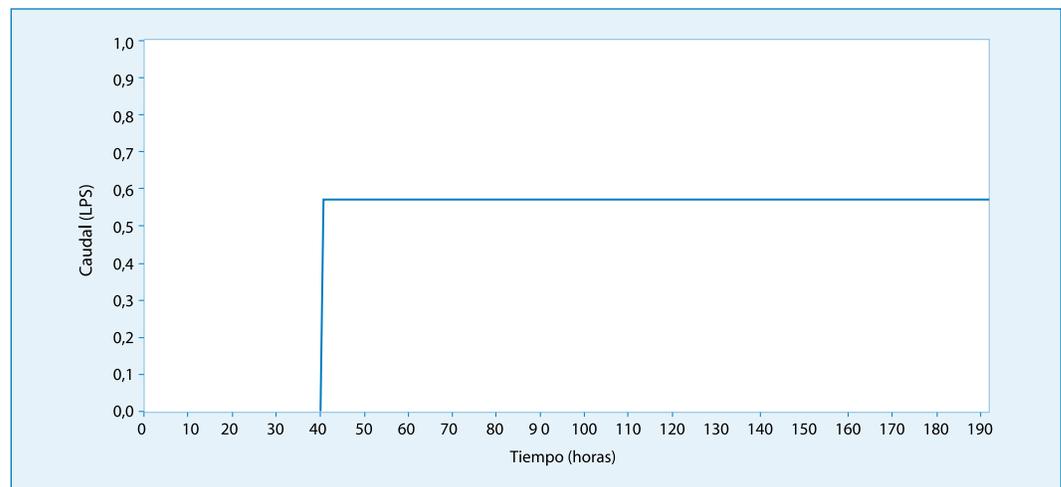


Figura 2. Tasa de flujo vs. tiempo de operación en el sistema de bombeo basado en las reglas de control del sistema de telemetría del tanque alto.

Fuente (el autor).

La caída de niveles en el tanque alto (fig. 3) luego de las 192 horas llega hasta el nivel 0,95 m respecto a nivel de fondo de tanque, 0,35 m por arriba del nivel mínimo de operación estipulado en 0,60 m. Lo anterior garantizaría una capacidad de modulación hidráulica y flujo uniforme a lo largo de todo el período sin que exista riesgo de indefinición o entrada masiva de aire. Es evidente que, hasta el momento

en que el sistema de bombeo empieza a operar, la caída de niveles en el tanque alto obedece a una pendiente más inclinada para luego estabilizarse a una pendiente menos inclinada (fig. 3). Si el operador decidiese llegar al final del período de simulación de 192 h con un nivel de agua en el tanque superior por arriba de 0,95 m, ello implicaría mayores horas de operación del sistema de bombeo y, por ende, mayores costos económicos.

Por otro lado, al comparar la respuesta en los niveles en el tanque bajo (fig. 4) con aquellos del tanque alto (fig. 3), resulta evidente que, al cabo de las 192 horas, el tanque bajo exhibe un nivel cercano a los 1.7 m (por arriba de los 0,95 m del tanque alto) respecto al nivel de fondo, además de mostrar una pendiente de caída relativamente estable con ligeros altibajos cada 24 h.

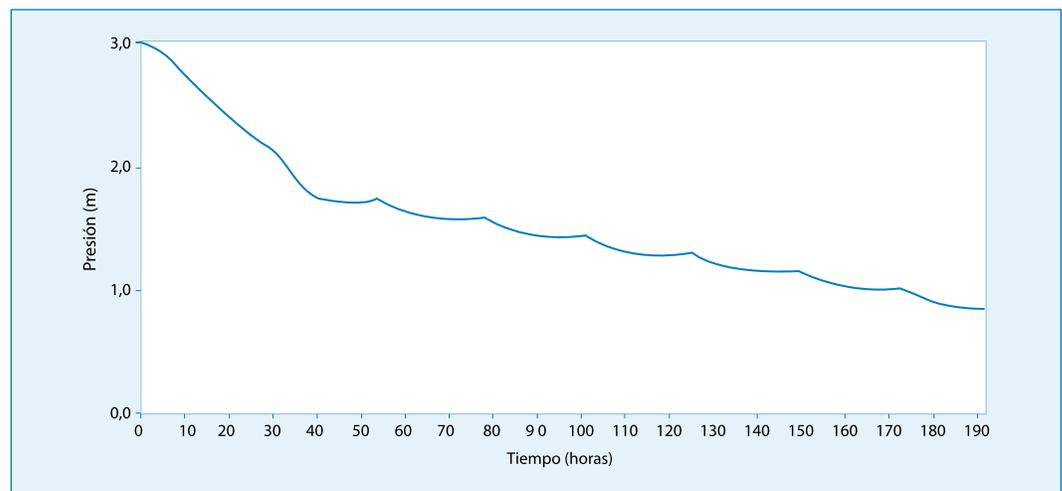


Figura 3. Comportamiento de los niveles dinámicos en el tanque alto a lo largo del período de simulación de 192 h.

Fuente (el autor).

Por otro lado, al comparar la respuesta en los niveles en el tanque bajo (fig. 4) con aquellos del tanque alto (fig. 3), resulta evidente que, al cabo de las 192 horas, el tanque bajo exhibe un nivel cercano a los 1.7 m (por arriba de los 0,95 m del tanque alto) respecto al nivel de fondo, además de mostrar una pendiente de caída relativamente estable con ligeros altibajos cada 24 h. Lo anterior queda explicado por el hecho de que el tanque alto debe no solamente alimentar los nudos de caudal bajo su zona de presión, sino que debe además alimentar el tanque bajo y subsecuentemente los nudos de caudal de la zona de presión baja. Dado que los niveles mínimos de operación en

ambos tanques es de 0,60 m respecto del nivel de fondo, se debería llegar al fin del período de simulación de 192 h con niveles por arriba de 0,60 m, lo cual se consigue con los niveles de arranque/pare de la telemetría y ubicados en el tanque alto (1,75 m y 3,00 m respectivamente). Un ajuste del nivel mínimo de arranque/pare por debajo de 1.75 m implicaría un arranque tardío del sistema de bombeo (por arriba de las 40 h en la figura 2) y, por ende, un nivel final peligrosamente cercano a 0,60 m, por lo menos para el tanque alto, aunque no necesariamente para el tanque bajo, donde el nivel estaría por arriba de ese mínimo valor.

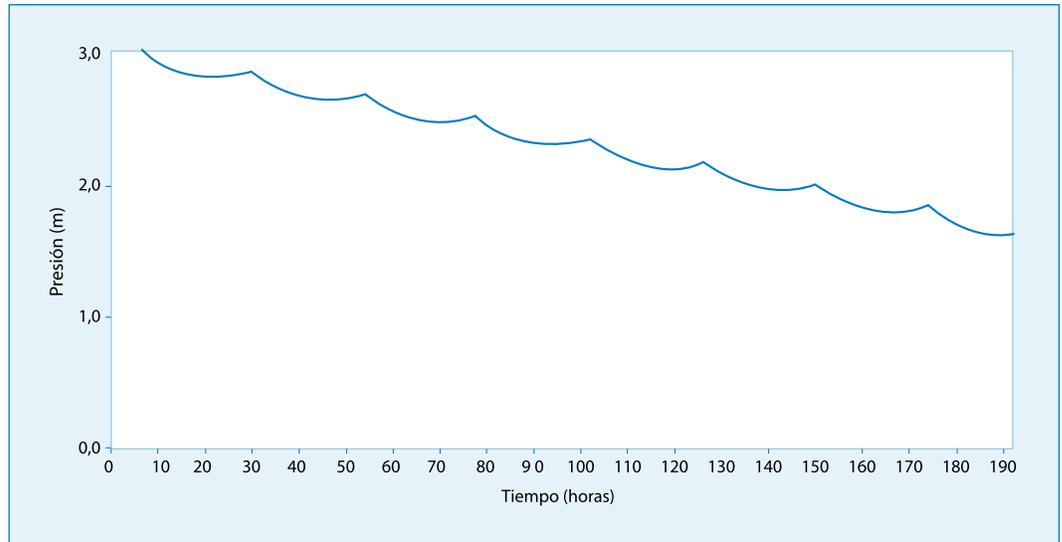


Figura 4. Comportamiento de los niveles dinámicos en el tanque bajo a lo largo del período de simulación de 192 h.

Fuente (el autor).

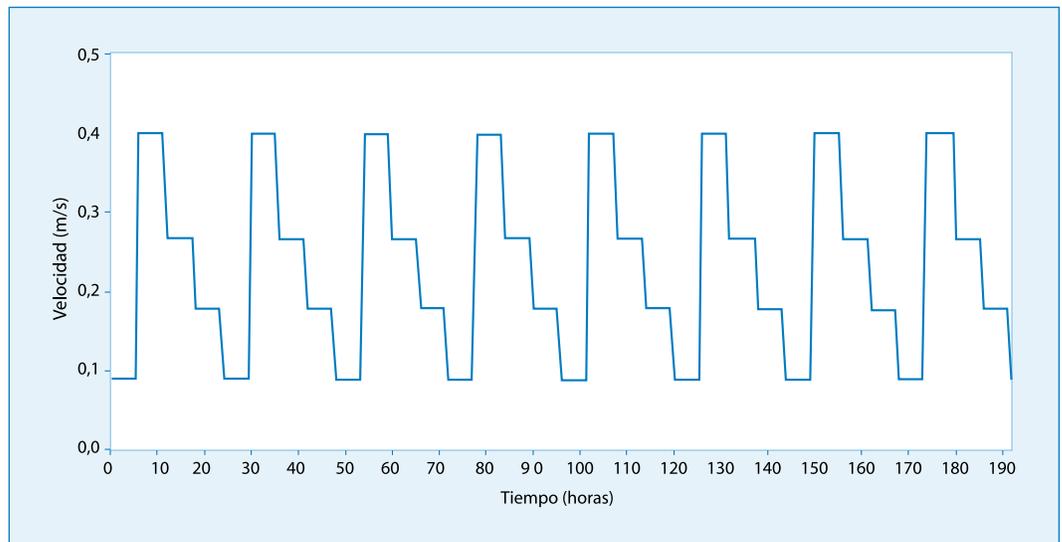


Figura 5. Comportamiento de las velocidades de flujo en el tramo de tubería aguas abajo del tanque bajo a lo largo del período de simulación de 192 h.

Fuente (el autor).

Con base en la relación establecida entre tiempo de arranque/pare y niveles finales en ambos tanques, resulta evidente que la población meta de 280 personas podría mantenerse más allá de las 192 h

estipuladas originalmente como el evento de ocupación máxima, dígase 48 h máximo como lapso de seguridad.

Al analizar los perfiles de velocidad en la red de distribución (fig. 5) se aprecian

rangos de velocidad que oscilan entre los 0,10 y los 0,50 m/s a lo largo de períodos de 24 h, lo que resulta congruente con los factores de demanda previamente estimados. Aun cuando los valores de velocidad horaria están por debajo del valor mínimo recomendado de 1,0 m/s (AyA, 2003), se han previsto válvulas de purga en sectores clave de la red con el propósito de realizar evacuaciones

periódicas de flujo y así reducir el riesgo de presentar sedimentación o formación de subproductos de desinfección a causa de un elevado tiempo de residencia hidráulico (TRH). Dado que la red de distribución está concebida en 50 mm de diámetro y que, dicho sea de paso, es el menor diámetro permitido por la legislación (AyA, 2003), se descarta reducir diámetros con el objeto de elevar la velocidad de flujo.

Coherentemente con los factores de demanda a lo largo de período de 24 h, se esperaran cargas máximas en las horas de la madrugada y mínimas cercanas al mediodía cada 24 h.

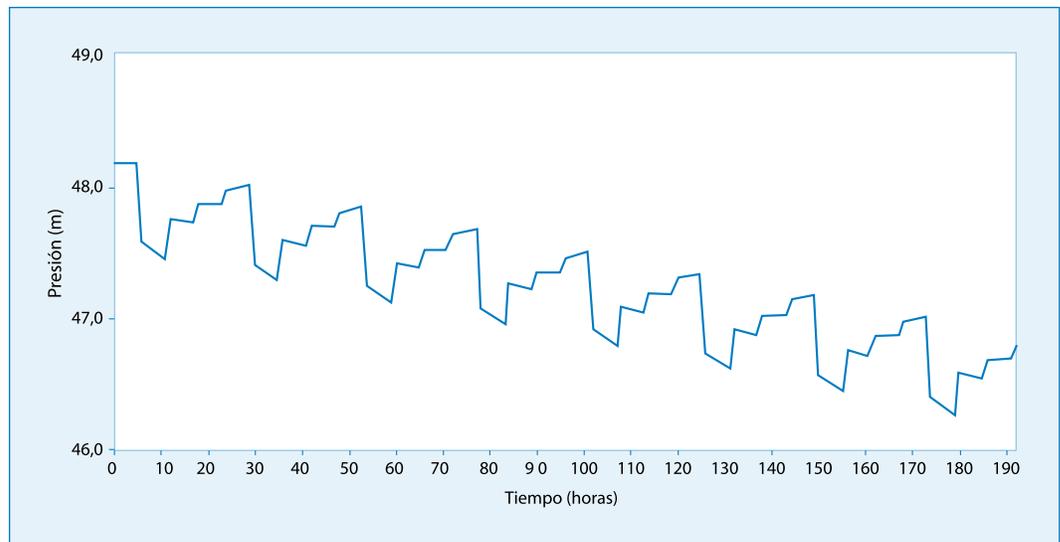


Figura 6. Comportamiento de las cargas de presión en el nudo de caudal más bajo de la zona de presión baja a lo largo del período de simulación de 192 h.

Fuente (el autor).

Dado que ambos tanques definen por sí mismos zonas de presión hidrostáticas de alrededor de 45 m (fig. 1) es lógico esperar valores de cargas de presión dinámicas similares en los puntos más bajos de cada zona de presión (fig. 6). Coherentemente con los factores de demanda a lo largo de período de 24 h, se esperaran cargas máximas en las horas de la madrugada y mínimas cercanas al mediodía cada 24 h. Además ha de presentarse una pendiente de descenso de acuerdo con la pérdida de nivel en los tanques a lo largo de las 192 h del período de simulación crítico (fig. 6). Por otro lado y dado que ambos tanques fueron colocados sobre cotas claves (fig.

1), ninguno de los nudos de caudal más cercanos a ellos presenta cargas de presión por debajo de 10 m a lo largo de las 192 h.

Refiriéndose a un posible escenario de incendio, con base en la legislación vigente (INS, 1990), a cada hidrante conectado a una red de distribución de agua se deberían entregar 0,032 m³/s para combatir un incendio durante 9,0 min. No obstante, para el caso en estudio, ello implicaría instalar tuberías con un diámetro superior a 50 mm para poder entregar la tasa de flujo normada de 0,032 m³/s, lo cual, para efectos prácticos, es difícil, dado el elevado costo capital y los subsiguientes problemas operativos.

Aun así, se modeló un escenario de incendio crítico, en el cual dos de los tres hidrantes presentes se estuviesen utilizando. Los resultados muestran (*fig. 7*) que el máximo caudal a obtener en cada hidrante oscilaría entre los 5,0 LPS sostenidos por las 192 h del período de simulación. Nuevamente, mayor tasa de flujo implicaría una red de distribución de mayor diámetro.

En cuanto a la calidad de agua, se propuso un sistema de cloración por difusión en la fuente de producción (*fig. 1*) y se eligieron valores típicos de reacción global química de primer orden de $-0,35$ 1/d para el cloro libre (*Castro & Neves, 1998*). Se asumió igualmente que, aunque ambos tanques estuviesen totalmente llenos, su concentración de cloro libre inicial fue de $0,0$ mg/L. Según este precepto y dado que el sistema de bombeo no empieza a operar hasta pasadas 40 h, la concentración de cloro libre en el tanque alto (*fig. 8*) inicia su ascenso hasta pasadas 40 h para llegar a valores cercanos a $1,0$ mg/L de cloro libre a las 192h. El tanque bajo, por su

lado, empieza a ganar concentración de cloro solo hasta las 50 h de iniciado el evento (*fig. 9*) y su patrón de crecimiento es menos marcado que en el caso del tanque alto, causado en parte por el hecho de que hay consumo de cloro entre los tanques a causa de los nudos de caudal de la zona de presión alta. Si la tendencia en ambos tanques se mantuviese, es claro que en algún momento, por arriba de las 192 h, la concentración de cloro libre prácticamente en toda de la red llegaría a alcanzar valores cercanos a $1,0$ mg/L, dada su corta extensión longitudinal. Factores tales como coeficiente de reacciones en pared o pérdida de cloro en los tanques no han sido aún tomados en cuenta. Dado que la fuente de producción está fundamentada en una galería de captación encapsulada en una zona netamente montañosa, no se espera tener cantidades importantes de carbón orgánico en el agua, por lo que el peligro de formación de subproductos de cloración debería ser bajo. No obstante, debería implementarse un programa de control y muestreo de la calida de agua.

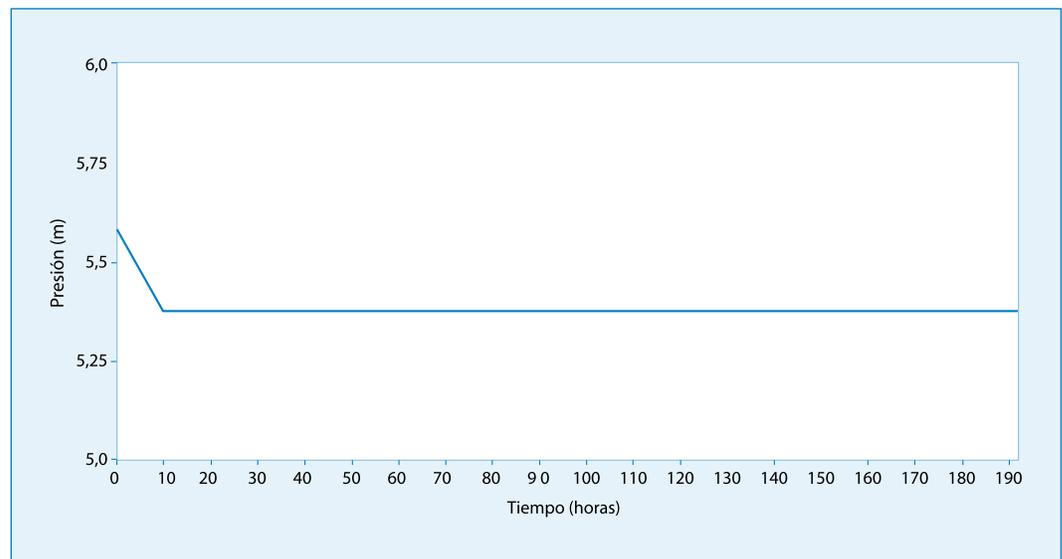


Figura 7. Expectativa de entrega de flujo para los hidrantes de la zona baja a lo largo del período de simulación de 192 h.

Fuente (*el autor*).

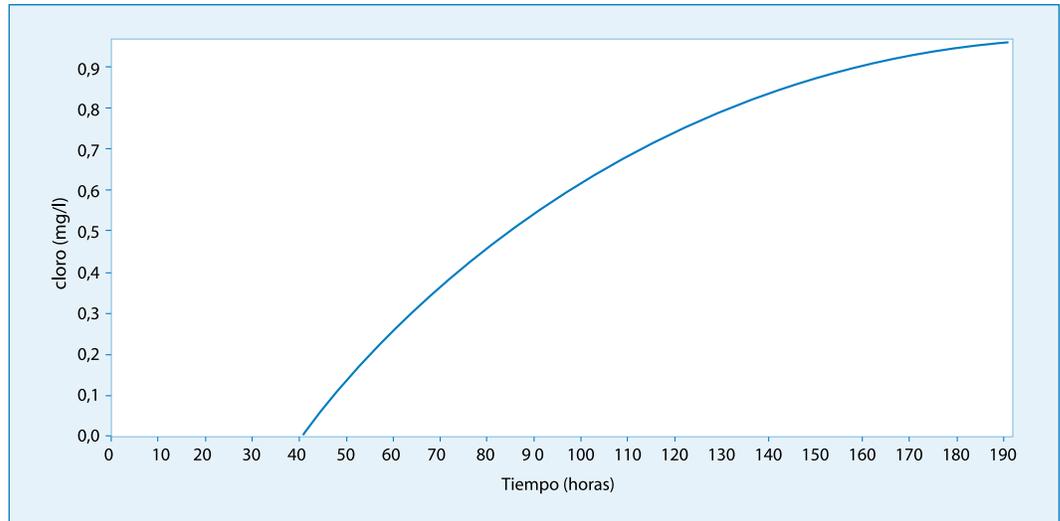


Figura 8. Perfil de crecimiento de cloro libre en el tanque alto a lo largo del período de simulación de 192 h.

Fuente (el autor).

En el momento de someter a publicación éste artículo, no se ha realizado ninguna modificación física o estructural sobre el sistema actual del campo/escuela Scout, por lo que no puede realizarse ningún análisis comparativo entre los escenarios modelados y los instalados.

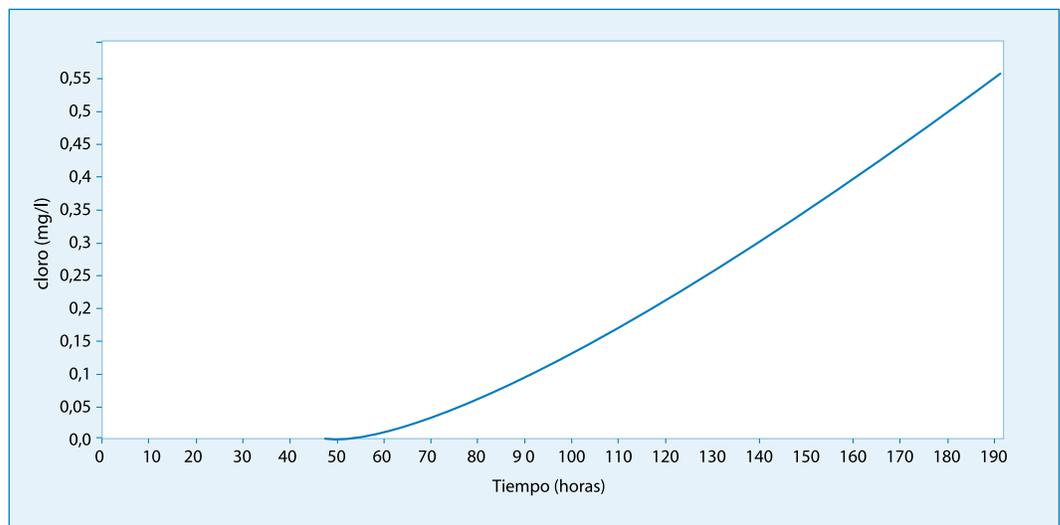


Figura 9. Perfil de crecimiento de cloro libre en el tanque bajo a lo largo del período de simulación de 192 h.

Fuente (el autor).

Evaluación y calibración

En el momento de someter a publicación éste artículo, no se ha realizado ninguna modificación física o estructural sobre el sistema actual del campo/escuela Scout, por lo que no puede realizarse ningún análisis comparativo entre los escenarios

modelados y los instalados. Sin embargo, se pretende dar seguimiento al proyecto en el futuro y poder así ejecutar calibraciones entre los modelos y las condiciones reales de construcción, puesta en marcha y operación. Respecto a los resultados de esta primera etapa, es importante hacer

El proyecto MASDA de ITCR/CIVCO pretende seguir prestando apoyo y asesoramiento a administradores de sistemas de distribución de agua.

notar que la información arrojada por la modelación indica que los supuestos originales de diseño son adecuados y que el sistema planteado presenta condiciones estables de flujo uniforme durante todo el período de modelación. Por otro lado, la concentración de cloro residual en el sistema llega a estabilizarse luego de pasado del período de ocupación máxima. Por esta razón, sería conveniente correr la simulación en el supuesto de una concentración de cloro libre estable en ambos tanques. Es menester profundizar en el planteamiento de otros escenarios, que no necesariamente sean críticos como el planteado, sino más bien de operación y ocupación normal. Esto permitiría calibrar parámetros operativos y maximizar el uso eficiente de la energía. La posibilidad de construir tanques de diferentes volúmenes, y no volúmenes uniformes de 200 m³, debería analizarse, dada la marcada desigualdad en la distribución de los nudos de caudal. Estos últimos deberían igualmente ser evaluados a profundidad y no limitarse a la instalación de reguladores de presión para controlar la entrega de flujo. La cantidad y calidad de los accesorios sanitarios en esos nudos instalados debería obedecer a criterios más planificados y menos erráticos. La fuente o fuentes de producción presentes en el sitio deberían ser caracterizadas a fondo principalmente desde el punto de vista hidrogeológico de manera tal que se pudiesen conservar su calidad y tasa de producción futura sin que ello afecte el ecosistema circundante.

Expectativas futuras

El proyecto MASDA de ITCR/CIVCO pretende seguir prestando apoyo y asesoramiento a administradores de sistemas de distribución de agua. Los móviles del proyecto han sido orientados desde sus inicios a la transferencia de tecnología y conocimientos, mediante la ejecución de talleres de capacitación y proyectos demostrativos. De esta forma,

se busca que los administradores sean solventes y autónomos en sus capacidades técnicas y puedan por sí solos llevar adelante la tarea de mejorar sus sistemas sin que necesariamente exista intervención de agentes externos o consultores. Es claro que debe existir, por parte de los administradores, un compromiso hacia el desarrollo y la calidad, aunque este compromiso necesariamente conlleve la inversión de recursos capitales y humanos importantes, cuyos beneficios se verán reflejados en el mediano y largo plazo.

Agradecimientos

Especial agradecimiento a los ingenieros Elías Rosales y Rolando Fournier por su apoyo en la concepción y formulación del proyecto MASDA. A la Liga de Municipalidades de Cartago. A los estudiantes Hugo Chaverri y Silvia Campos, de la Escuela de Ingeniería en Construcción del ITCR, y en general a todo el cuerpo de apoyo de CIVCO.

Bibliografía

- Abebe, J; Solomatine, D. 2002. Application of global optimization to the design of pipe networks. International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering (IHE).
- Aliod, R; Angulo, B; Haztida, H. 2002. Primeros resultados de la implementación de un modelo de simulación para la red de abastecimiento de la ciudad de Zaragoza. Área de Mecánica de Fluidos de la Universidad de Zaragoza, España.
- Cabrera, E. 2002. Agua y Sostenibilidad. Instituto Tecnológico del Agua, Universidad Politécnica de Valencia.
- Castro, P; Neves, M. 1998. Chlorine decay in water distribution systems case study – lousada network. Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry. ISSN: 1579-4377.
- Beckwith, E; Cattran, S; Chase, D. 2005. Advanced Water Distribution Modeling and Management. Haestad. Methods Inc. NY.

- Fujiwara, O. 1998. Reliability Analysis of Water Distribution Networks in Consideration of Equity, Redistribution, and Pressure-Dependent Demand. Water resources research, vol. 34, n. 7, p. 1843-1850, Jul.
- Harding,B; Walski,T. 2002. Long Time-series Simulation of Water Quality in Distribution Systems. Hydrosphere, Resource Consultants, Denver, CO
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. 2003. Normas de diseño y construcción para urbanizaciones y fraccionamientos
- Instituto Nacional de Seguros. 1990. Informe Técnico, Hidrantes.
- Mays, L. 2001. Water Distribution Systems Handbook. American WaterWork Association. Mc Graw Hill Inc. NY.
- Rossman, L. 2000. EPANET 2, Users Manual. Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory. U.S. Environmental Protection Agency. OH.