

# MODELO CONCEPTUAL DE PRONÓSTICO PARA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE DEL VALLE DE MÉXICO

Guillermo leal Báez

Inesproc, S.A. de C.V., México.  
E-mail: guillermo.leal@inesproc.mx

## Introducción

La sostenibilidad de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) radica, principalmente, en garantizar su seguridad hídrica. En este sentido, el abastecimiento de agua potable representa uno de los mayores retos a resolver en el valle; sin embargo, existe otro problema poco observado por la población, que incide directamente en la salud pública, la conservación del medio ambiente, la infraestructura, el equipamiento urbano y, sobre todo, en la calidad de vida y la seguridad de los mexicanos que habitan esta región. Este problema es la planeación, diseño, construcción, operación, mantenimiento y conservación del sistema de drenaje sanitario y pluvial de la ciudad.

El sistema de drenaje de la Ciudad de México es sumamente complejo operativa y administrativamente; requiere de la coordinación de los gobiernos Federal, de la Ciudad de México y del estado de México. Con el propósito de lograr el adecuado desalojo de las aguas, principalmente en temporada de lluvias, las instituciones involucradas han establecido políticas de operación a través del “*Protocolo de operación conjunta para la atención de fenómenos hidrometeorológicos en la zona metropolitana*” (Conagua y GDF, 2013). Los criterios dictados por el Protocolo, sin duda han sido de gran utilidad y han reducido en gran medida el peligro de desbordamiento de conductos o fallas de la infraestructura, así como afectaciones a las personas y sus bienes; sin embargo, estos lineamientos son susceptibles de mejorarse, dado que la mayoría de sus reglas se derivan de la experiencia en campo y sólo algunas de ellas han sido obtenidas de estudios integrales de funcionamiento hidráulico, realizados mediante la implementación de modelos de simulación hidráulica.

Por lo anterior, desde hace muchos años, se han puesto en marcha diversas acciones, cuyo propósito es contar con una red completa de monitoreo que permita concentrar y procesar la información en un centro de control. De manera que, mediante la implementación de un modelo de simulación hidráulica, se modele en tiempo real el funcionamiento hidráulico; o incluso, se pueda pronosticar su funcionamiento a través del procesamiento de los datos generados por radares meteorológicos. Resolver esta situación llevará muchos años y necesitará de importantes inversiones, un modelo de simulación hidráulica operado en tiempo real, la automatización de estructuras especiales y su correspondiente sistema de operación remota.

En el presente trabajo se expone una solución de corto plazo al problema específico de la operación del sistema, visto como un elemento único que dependa de un solo operador. Se plantea una metodología mediante la cual sea posible contar con escenarios muy parecidos a los que se obtendrían como resultado de simular lluvias registradas en tiempo real (utilizando datos de estaciones pluviográficas e hidrométricas), o bien, de simular lluvias estimadas (utilizando datos de radares).

Para ello se propone la conformación de una base de datos que almacene resultados de simulaciones hidráulicas (previamente ejecutadas y analizadas) para diferentes condiciones de lluvia y distintas políticas de operación que, de acuerdo con lluvias registradas o teóricas, representen la lluvia esperada y el posible funcionamiento hidráulico del sistema, para así determinar cuál sería la mejor política de operación a implementar.

El objetivo es que, antes de que incida una tormenta en la

ZMVM, o cuando ésta apenas comience, se pueda contar con:

- Una buena aproximación del funcionamiento hidráulico del sistema, ante cualquier tormenta que lo ponga en riesgo.
- Los elementos suficientes para seleccionar la mejor alternativa de operación, con el fin de disminuir el peligro de desbordamientos o fallas en el sistema.
- El tiempo suficiente para transmitir las instrucciones necesarias para operar las estructuras estratégicas, de acuerdo con la política seleccionada.
- La posibilidad de enviar los cuerpos de emergencia con anticipación a los sitios o estructuras susceptibles de falla, para hacerle frente a cualquier eventualidad.

## Modelo conceptual

Se plantea un Modelo Conceptual que mejore y vuelva más eficiente el manejo conjunto del drenaje de la ZMVM, mucho menos complejo y costoso que un sistema operado en tiempo real. La propuesta, en general, consiste en lo siguiente y consta de dos etapas:

- **Conformación de la base de datos.** Crear una base de datos con la información y resultados de un gran número de simulaciones hidráulicas del sistema de drenaje; las cuales se realizarían para distintas combinaciones de lluvias (considerando su altura, duración y zona de incidencia) y políticas de operación, que podrían ser las definidas por el Protocolo, o bien, considerando modificaciones a éste que mejoren su eficiencia.
- **Uso de la base de datos.** Al presentarse un evento de lluvia, consultar la base de datos creada previamente para conocer el funcionamiento del sistema de drenaje bajo las condiciones de la lluvia monitoreada en tiempo real o pronosticada, así como la mejor política de operación para evitar desbordamientos, reduciendo con ello el peligro de inundación.

## Etapas

Consiste, básicamente, en construir un modelo matemático capaz de simular el funcionamiento del sistema principal de drenaje de la ZMVM, bajo distintas condiciones de lluvia y políticas de operación. En caso de que no se logre el adecuado funcionamiento de todo el sistema bajo la política definida actualmente por el Protocolo, se harán las modificaciones, simulaciones hidráulicas y análisis necesarios hasta encontrar la política que reduzca al mínimo el peligro de inundaciones.

A partir de los datos y resultados de todas las simulaciones elaboradas, se creará una base de datos para emplear en la Etapa 2.

Para lograr lo anterior, se sugiere la siguiente metodología:

1. Recopilar toda la información necesaria para la representación de las estructuras que conforman el sistema principal de drenaje en el modelo de simulación hidráulica.
2. Realizar análisis hidrológicos para determinar las lluvias con mayor probabilidad de ocurrencia en la Ciudad de México, considerando tres tipos de lluvia:

-Lluvias generalizadas.

-Lluvias concentradas.

-Lluvias históricas.

3. Calcular los hidrogramas de cuenca propia de las subcuencas de la ciudad, para cada una de las lluvias definidas en el punto anterior.

4. Armar un modelo específico para cada una de las condiciones de lluvia a simular.

5. En cada uno de los armados, introducir las políticas de operación correspondientes a cada lluvia a simular.

6. Realizar la simulación hidráulica de cada armado.

7. Analizar los resultados de cada simulación, con el propósito de detectar puntos críticos en el sistema de drenaje. En este punto se pueden presentar dos condiciones:

-No se detecta ningún problema en el sistema de drenaje y, por lo tanto, la política de operación definida en el Protocolo es adecuada.

-Se detectan conductos o estructuras cuyo funcionamiento se haya comprometido; por lo tanto, la política de operación definida por el Protocolo debe modificarse.

8. En cualquiera de los dos casos anteriores, almacenar los resultados en la base de datos.

9. En caso de que se hayan detectado problemas en el sistema de drenaje, hacer las modificaciones que se consideren pertinentes en el Protocolo, a fin de encontrar una política de operación que evite inundaciones y fallas en el sistema.

10. Realizar la simulación con las políticas de operación modificadas; analizar los resultados y determinar si mejora o no el funcionamiento del sistema de drenaje. Almacenar los datos.

11. Repetir el paso anterior hasta encontrar una política de operación que permita desalojar los escurrimientos adecuadamente; o bien, hasta que se tengan los suficientes argumentos técnicos para determinar que bajo la condición de lluvia simulada no existe una política de operación que resuelva por completo el adecuado funcionamiento del sistema. Si este último es el caso, definir cuál fue la mejor política de operación.

12. Organizar y estructurar la base de datos con los resultados e información recopilada durante el proceso anterior.

## Etapa 2

En esta etapa se utilizará la base de datos construida en la Etapa 1, para conocer el funcionamiento hidráulico esperado para una determinada lluvia, así como la mejor política de operación para enfrentarla. La base de datos se utilizará de la siguiente manera:

1. Obtener los datos de la lluvia que se desea revisar, por cualquiera de los siguientes medios:

-Estaciones pluviográficas monitoreadas en tiempo real. Permiten dar seguimiento a una lluvia desde su inicio.

-Radares meteorológicos. Permiten pronosticar en dónde se presentará una lluvia y estimar su magnitud.

2. La base de datos desplegará los expedientes correspondientes a una lluvia al ingresar los siguientes datos:

- Altura de precipitación (hp).

- Duración (d).

- Zona de incidencia.

3. Al realizar una consulta se visualizará lo siguiente:

- La simulación o el grupo de simulaciones correspondientes a los datos de lluvia ingresados.

- Los expedientes de cada una de las simulaciones asociadas a dicha lluvia, con los documentos descriptivos y de resultados. Si se trata de una sola simulación, estará identificada como "Solución única" (correspondería a las políticas de operación

del Protocolo original). Si es un grupo de simulaciones, se podrán tener los siguientes tipos:

a) Solución modificada. Corresponde a la simulación que proporciona una solución después de modificar las políticas de operación del Protocolo.

b) Funcionamiento inadecuado. Aquellas simulaciones con las que no se logró desalojar adecuadamente los escurrimientos; dentro de éstas estaría la correspondiente a las políticas de operación del Protocolo y, en su caso, las correspondientes al proceso iterativo que se siguió hasta antes de encontrar la solución final (Solución modificada).

c) Condición de alerta. Corresponde a la política de operación que reduce al mínimo el peligro de desbordamiento o mal funcionamiento, en el caso de que no exista una política que solucione por completo el funcionamiento del drenaje para la lluvia simulada.

-Los archivos de resultados generados por cada simulación. Es decir, los archivos de salida que genera el software, con el objetivo de poder consultar perfiles hidráulicos, hidrogramas, gráficas, etc. en cualquier elemento del sistema de drenaje.

4. En caso de que exista una solución para el adecuado desalojo de las aguas, ya sea con base en el Protocolo o modificándolo, se deberán transmitir las acciones a realizar a los operadores de las estructuras de control y plantas de bombeo (26 estructuras estratégicas del sistema), para lo que se empleará cualquiera de los medios de comunicación disponibles (radio, internet, etc.).

5. Si la tormenta en análisis provoca fallas por falta de capacidad en los conductos o estructuras especiales y, por lo tanto, no existiera en la base de datos una política de operación que resuelva el adecuado desalojo de las aguas, se tendrá que alertar a las instituciones correspondientes, para que envíen con anticipación brigadas de emergencia que puedan realizar procedimientos en campo que mitiguen los daños y, si es necesario, inicien el desalojo de personas en la zona.

## Conclusiones y recomendaciones

Con el Modelo Conceptual, se obtendrá, en corto plazo, la base técnica para operar el sistema de drenaje desde un centro de control único dependiente de un solo operador; requiriendo únicamente los datos de altura, duración y zona de incidencia de la lluvia. Con esta propuesta se aprovecharía la infraestructura existente para la medición de lluvia y el sistema de transmisión de sus datos; así como los medios para el envío de instrucciones de operación en campo. Lo que significa que en estos rubros no se causaría mayor inversión.

Cabe destacar que, una vez puesto en operación el radar adquirido recientemente por SACMEX, el alto rigor técnico en el que se basa el Modelo Conceptual dará seguridad a los tomadores de decisiones para operar el sistema con mayor certidumbre y con anticipación a la ocurrencia de una lluvia en la ZMVM.

A través de la creación de la base de datos, se contará con información teórica e histórica del funcionamiento hidráulico del sistema; condición que cubre, de forma importante, la necesidad de simularlo en tiempo real, aunque no se debe descartar la necesidad de iniciar lo antes posible las acciones para lograr lo anterior. Dada la complejidad del sistema de drenaje, el Modelo propuesto resulta una alternativa viable, de bajo costo y fácil de operar.

## Referencias bibliográficas

Comisión Nacional del Agua, Gobierno del Distrito Federal (2013). *Protocolo de operación conjunta para la atención de fenómenos hidrometeorológicos en la zona metropolitana.*