

Título Modelo Integral para Diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua

Tipo de Producto Ponencia (texto completo)

Autores Iervasi, Juan

Código del Proyecto y Título del Proyecto

A16T12 - Modelo Integral para Diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua

Responsable del Proyecto

Iervasi, Juan

Línea

Ingeniería de Software

Área Temática

TIC / MYS: Modelado y Simulación

Fecha

Noviembre 2016

Modelo Integral para Diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua

Iervasi Juan José

Fundación UADE

Universidad Argentina de la Empresa

Lima 775, Ciudad de Buenos Aires

jiervasiscokin@uade.edu.ar

Resumen

La propuesta consiste en la generación de una herramienta informática que permita abordar los diferentes aspectos técnicos y económicos a considerar al momento del desarrollo de un sistema de abastecimiento de agua potable.

El concepto que atraviesa de manera transversal el proyecto es la visualización del impacto que producen las distintas sensibilidades que se realicen a las variables que configuran el modelo en el resto de los aspectos del mismo, lo cual hace a la herramienta especialmente apta para la instrucción y capacitación de profesionales. En este sentido, el flujo de trabajo y la organización que la aplicación impone, orienta y guía al usuario en la forma en la cual un proyecto de este tipo debe ser abordado.

El modelado integral de un sistema de abastecimiento de agua que aquí se postula conjuga la determinación de los parámetros básicos de diseño, el cálculo de la hidráulica del sistema y la evaluación económica del proyecto como partes de un todo que deben resolverse simultáneamente y de manera interrelacionada.

1. Introducción

El presente trabajo describe las funcionalidades y objetivos desarrollados en la aplicación para el modelado de un sistema de abastecimiento de agua potable según los principios de simultaneidad e interrelación de los distintos aspectos que aquí se desarrollan.

Se prevé la modelación de sistemas de mediana complejidad, esto queda determinado por la red de distribución del sistema, sobre la cual no hay una dimensión limitante pero puede tornarse dificultoso su diseño dentro de una aplicación pensada para un análisis global del proyecto. Independientemente de la dimensión, la rigurosidad en el cálculo no se ve afectada y está garantizada por la utilización de una biblioteca de cálculo globalmente reconocida, EPANET [1] para la resolución del cálculo hidráulico de redes de superficie y las guías del ENOHSa [2] para la metodología de cálculo integral del sistema.

En las secciones subsiguientes se describen cuáles son los objetivos y cómo se pretenden alcanzar a través de un modelo integral que articule lo siguiente:

- Determinación de la región geográfica del proyecto, estableciendo las dimensiones del área de trabajo y las coordenadas geográficas de la misma, a partir de lo cual, cada instalación ingresada estará geo referenciada.
- Determinación de la población futura utilizando diferentes métodos a fin de obtener la cantidad de habitantes para las diferentes etapas del cálculo.
- Cálculo de los parámetros principales de diseño: dotación, porcentaje de cobertura del servicio y caudales característicos para cada etapa del cálculo.
- Resolución de la hidráulica de la red de distribución diseñada y visualización de los resultados para cada etapa de cálculo.
- Posibilidad de desarrollo de sistemas subsidiarios a partir de los puntos de consumo que se desprenden del sistema principal.
- Ingreso de valores y costos para inversiones de cada instalación ingresada, mantenimientos, ingresos, egresos, etc.
- Evaluación económica a partir de los datos ingresados (costos, instalaciones, ingresos).

La sección Discusión da cierre al trabajo explicitando los pareceres y comentarios finales.

Palabras clave

Sistemas de abastecimiento de agua potable, Modelado de redes de distribución, EPANET, ENOHSa.

2. Objetivos

El objetivo del presente trabajo es la generación de una herramienta informática que ofrezca al usuario una metodología de trabajo y/o aprendizaje basado en los siguientes conceptos:

- Modelado integral del sistema de distribución de agua potable: diseño y análisis del modelo basado en la interrelación de los diferentes aspectos del mismo.
- Visualización de los parámetros ingresados y resultados calculados en forma simultánea y versátil.

- Modificación y re cálculo de todos los parámetros y resultados según se modifiquen variables, opciones o métodos, con la correspondiente visualización instantánea de los cambios.
- Brindar la posibilidad de modificar las bibliotecas de cálculo utilizadas, de manera de hacer evolucionar la aplicación incorporando módulos de cálculo de desarrollo propio, basado en la propia experiencia y conocimiento de cada usuario o grupo de trabajo.

3. Metodología para la creación de modelos

Para la creación de modelos se adopta la metodología indicada en las guías del ENOHSa [3-6] para el diseño de redes de agua potable, la misma incluye, en primer lugar, el cálculo de los parámetros de diseño (las definiciones dadas en el presente trabajo se orientan a describir el uso y los parámetros que la aplicación necesita y no a fundamentar los conceptos teóricos que las mismas representan) y, a partir de los mismos, el modelado de la red de distribución:

3.1. Definición del área a desarrollar

La selección de la región geográfica del proyecto define las dimensiones de la superficie total donde se emplazará el sistema de abastecimiento. En la aplicación, dicha superficie se muestra como un lienzo sobre el cual el usuario distribuye los objetos (instalaciones) que conforman el sistema. La selección de la superficie debe realizarse para el proyecto principal y para cada sub proyecto que se diseñe de manera independiente.

Las opciones planteadas en la aplicación para la definición de esta área son:

- Sin escala: el área de trabajo no tiene una dimensión definida, la longitud de las cañerías se define individualmente configurando las propiedades de las mismas.
- Definición de las dimensiones totales del área: sólo se definen alto y ancho del área del proyecto, luego los objetos ingresados tomarán una ubicación y dimensión relativa a estos valores.
- Utilizando una imagen y sus coordenadas geográficas: mediante las *Google Static Maps API* [7] para localizar y descargar la imagen de la región de trabajo, junto con las dimensiones y las coordenadas geográficas.

3.2. Parámetros básicos de diseño

La definición de los parámetros de diseño permite evaluar la demanda actual de la población en estudio y su

proyección durante la vida útil del sistema. La aplicación sólo exige la definición de los parámetros cuantitativos que afecten directamente al cálculo hidráulico y el dimensionamiento de las instalaciones en el tiempo.

3.2.1. Horizonte de diseño

Definido en cantidad de años, determina el alcance de las previsiones y cálculos que se realizarán en el caso en estudio.

3.2.2. Intervalo de cálculo

Determina la distancia entre las etapas de cálculo y, en conjunto con el horizonte de diseño, define la cantidad de etapas de cálculo.

3.3. Población de diseño

El cálculo de la población futura se constituye en un paso fundamental para el diseño de un sistema de abastecimiento ya que el valor de la cantidad de habitantes proyectado en el tiempo, junto con el porcentaje de cobertura de servicio en cada etapa del proyecto, determinará la población servida.

Las proyecciones de población deben alcanzar el horizonte de diseño y las etapas de cálculo están separadas por el intervalo de cálculo ingresado.

Para la utilización de los diferentes métodos, se requiere como primer paso el ingreso del valor para la población actual como requisito mínimo, aunque para una mejor proyección en el tiempo, será necesaria la evolución histórica de la población a partir de los datos disponibles, idealmente de los censos realizados para la localidad en estudio.



Figura 1. Parámetros Básicos

Los métodos disponibles son:

- Ajuste lineal por tendencia histórica
- Tasa geométrica decreciente
- Curva logística

A partir de la evolución histórica ingresada, la aplicación ofrece la facilidad de visualización y cálculo de todos los métodos de forma simultánea, debiendo el usuario seleccionar la tendencia futura a utilizar según su criterio.

En la Figura 1 se muestra cómo en la misma interfaz se determinan el horizonte de diseño, el intervalo de cálculo y los datos históricos de la población, con estos valores se calculan simultáneamente los distintos métodos para la determinación de la población futura, a partir de la visualización conjunta de las tendencias, el usuario selecciona cual se utilizará para el diseño del sistema de distribución.

3.4. Distribución de la demanda de agua

Tanto para el proyecto principal, como para cada sub proyecto, puede ingresarse una distribución de la demanda de agua en la población, es decir, una división de la superficie en regiones con diferentes valores para la demanda de agua (caudal), las cuales serán consideradas al momento de asignar las demandas en los puntos de consumo ingresados para el cálculo hidráulico. Esto permite un dimensionamiento de la red de distribución con un mayor nivel de detalle. No obstante, en caso de no disponerse de esta información, puede ingresarse un valor de demanda para cada nodo en forma manual o dejar que la aplicación distribuya de forma homogénea la demanda calculada entre los nodos ingresados.

La figura 2 muestra la interfaz desarrollada para la asignación de las demandas, en la misma se divide la totalidad de la región sobre la que se desarrolla el proyecto en celdas (determinando cantidad de filas y columnas), luego a cada celda se le asigna un valor de demanda.

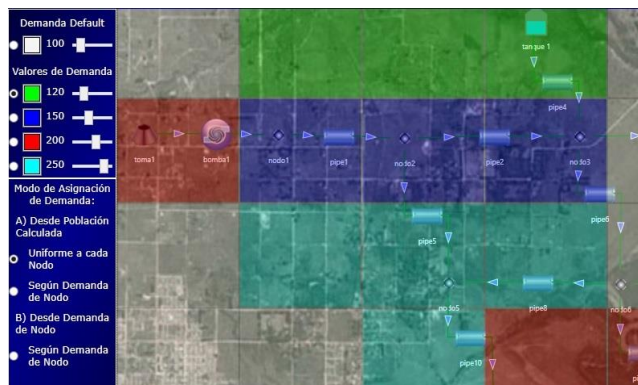


Figura 2. Regiones de Demanda

El modo de asignación de demanda tiene las siguientes posibilidades:

- Desde la población calculada: permite asignar un valor de demanda que se ajuste al valor necesario para satisfacer el caudal obtenido a partir de los datos de población y cantidad de usuarios del proyecto manteniendo las diferencias relativas dadas por las regiones configuradas por el usuario.
- Desde la demanda del nodo ingresada: se ignora la población ingresada para determinar el caudal de cada nodo y se toma como referencia la demanda ingresada por el usuario.

3.5. Dotación

Definida con unidades de litro por habitante por día, representa un valor estimado de consumo por habitante, el cual debe ser también proyectado en el tiempo según se prevea la variación de consumo por parte de la población. La misma puede adoptar diferentes formas de acuerdo a la política de control de consumo del prestador de servicio y acceso previsto al servicio de cloacas. Por ejemplo, la instalación de micro medición sumada a una facturación de acuerdo al consumo hace suponer una disminución de la cantidad de agua consumida en el tiempo, es decir, que debería preverse una dotación cada vez más baja a partir de dicho evento, así como también el ingreso del usuario al servicio de recolección de líquidos cloacales se vería reflejado en un aumento del consumo de agua.

De manera de poder incluir una dotación creciente o decreciente en el tiempo, la aplicación plantea una interfaz de carga donde es posible el ingreso de un valor de dotación inicial y final sobre los cuales se calcularán los valores intermedios para cada etapa de cálculo.

3.6. Cobertura del servicio

Expresado en porcentaje de la población total que accede al servicio en función del tiempo, este porcentaje puede comenzar siendo cero al momento de inicio del proyecto o tener un valor inicial mayor a cero correspondiente a la población que ya cuenta con acceso al servicio al momento de inicio del proyecto. El valor final de cobertura será el previsto a alcanzar en el horizonte de diseño.

El valor de porcentaje de cobertura del servicio junto a la población de cada intervalo de cálculo, permite obtener la población servida, valor que se utilizará para el resto de los cálculos.

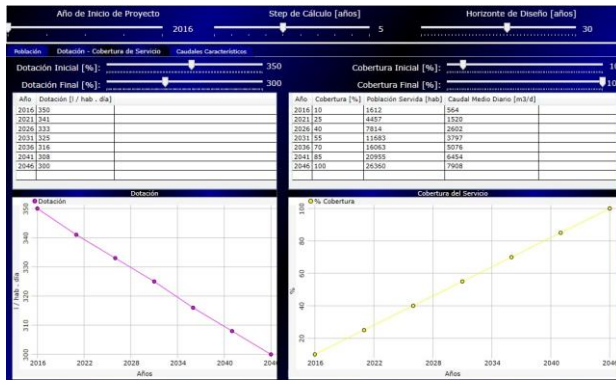


Figura 3. Dotación y Cobertura

En la figura 3 se muestra la interfaz para la determinación de la dotación y la cobertura del servicio para cada etapa del cálculo, partiendo del valor inicial y final de los mismos, al tiempo que se fijan dichos valores, se muestra el cálculo de la población servida y el caudal medio diario (tomando también el valor de la población determinado previamente).

3.7. Caudales característicos

En un sistema de distribución de agua potable pueden definirse cinco caudales característicos [6] para cada etapa de cálculo de diseño:

- Caudal medio diario: Q_C
- Caudal máximo diario: Q_D
- Caudal máximo horario: Q_E
- Caudal mínimo diario: Q_B
- Caudal mínimo horario: Q_A

Estos caudales se calculan a partir del caudal medio diario, obtenido del producto de la población servida y la dotación de cada etapa. Una vez obtenido el caudal medio diario, el resto de los caudales característicos son determinados a través de los coeficientes de pico de consumo.

3.7.1. Coeficientes de pico de consumo

Estos coeficientes pueden obtenerse de la bibliografía o de datos históricos de sistemas de abastecimientos de agua similares, su definición es:

- α_1 : relación entre la demanda media del día de mayor consumo y la demanda media anual.
- α_2 : relación entre la demanda máxima horaria y la demanda media del día de mayor consumo.
- $\alpha = \alpha_1 * \alpha_2$: relación entre la demanda máxima horaria y la demanda media anual.
- β_1 : relación entre la demanda media del día de menor consumo y la demanda media anual.

- β_2 : relación entre la demanda mínima horaria y la demanda media del día de menor consumo.
- $\beta = \beta_1 * \beta_2$: relación entre la demanda mínima horaria y la demanda media anual.

La aplicación ofrece valores de referencia para los coeficientes utilizando diferentes fuentes:

- Referencias según las guías del ENOHSa [6]: adopta valores tabulados según la cantidad de habitantes.
- Fórmulas en función de la población: posibilidad de utilizar fórmulas de diferentes autores, ya sea de forma individual o promediando los diferentes resultados.

Con dichas formulas se determina el valor de α , para determinar los valores de α_1 y α_2 se ingresa manualmente alguno de ellos (según experiencia o bibliografía) y el restante se obtiene a partir de los valores ya determinados.

Una vez definida la metodología de cálculo, los coeficientes son calculados para cada etapa y, junto con ellos, se calculan los caudales característicos.



Figura 4. Caudales característicos

4. Diseño de la red de distribución

El diseño del sistema se realiza sobre la superficie definida (tanto para el proyecto principal como para los sub proyectos) posicionando los objetos (instalaciones) según su ubicación relativa y configurando las propiedades de los mismos.

La figura 5 muestra el diseño de un sistema sencillo de abastecimiento en el cual se ubicaron las instalaciones que lo componen sobre el área determinada para el mismo.

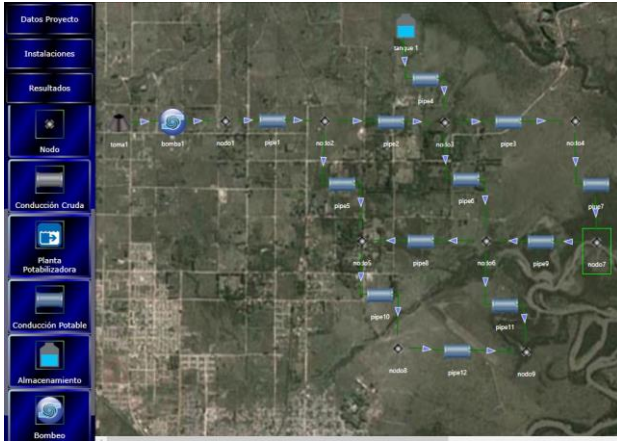


Figura 5. Diseño del sistema

4.1. Instalaciones

Cada instalación que se incorpora al sistema posee una ubicación relativa (dada por el lugar donde es posicionado) y una cantidad de propiedades (variable según el tipo de objeto) que deben ser configuradas por el usuario una vez ingresado el mismo.

Estas propiedades incluyen las mínimas necesarias para la descripción de la instalación y las necesarias para la interacción con la biblioteca de cálculo de EPANET, en la mayoría de los casos coincidentes.

La Figura 6 muestra la ventana de configuración de propiedades para una instalación de tipo Cañería.

Propiedades - Cañería	
Conexiones Ingresantes	
ID	20
Conexiones Salientes	
ID	21
Propiedades	
Coef. Min Loss	0
Coordenada X	256
Coordenada Y	157
Descripción	
Diametro	18
Estado	OPEN
ID	6
Longitud	10530
Material	PVC
Nombre	pipe1
Rugosidad	100
Resultados	
Caudal	1866.176
Estado	CLOSED
Pérdida de Carga Unitaria	19.117
Velocidad	2.353

Figura 6. Propiedades de instalaciones

Todo objeto utilizado para diseñar el sistema se encasilla dentro de una de las dos categorías básicas que contienen a los mismos, estas son: Nodos y Conexiones.

Estas categorías corresponden a la clasificación de objetos necesaria para el diseño y resolución de una red de conductos y accesorios conectados por los que circula un fluido:

- Nodos: representan uniones, tanques de almacenamiento, captaciones, baterías de pozos y redes secundarias de distribución.
- Conexiones: representan cañerías, bombas y válvulas.

Para complementar el modelado del sistema de distribución se incluyen también curvas (conjuntos de pares ordenados) para representar el comportamiento de ciertos equipos.

4.2. Sistemas subsidiarios

El concepto de sub sistemas, dentro de la aplicación, hace referencia a la posibilidad de diseñar el sistema de abastecimiento dividido en uno o más sistemas con el fin de simplificar el diseño.

Existe siempre un sistema principal, en donde se incluyen los objetos (instalaciones) que definen al proyecto de manera global, es decir, la o las fuentes de agua, las tomas y captaciones, las baterías de pozos, los troncales hacia y desde la planta potabilizadora, las estaciones de bombeo correspondientes y los puntos de demanda que representan la ubicación de las redes de distribución.



Figura 7. Sub sistemas

En la Figura 7 se observa que un sistema principal posee un nodo modelando la red de distribución, la cual es modelada en detalla en el sub sistema que se muestra debajo en la imagen.

Cada subsistema posee una configuración independiente y realiza un intercambio de información con las bibliotecas de cálculo de EPANET a partir de un archivo de configuración propio, es decir, constituye un modelo independiente también en EPANET. Esto hace posible que distintos usuarios diseñen cada sub sistema de forma independiente.

5. Interacciones con EPANET 2.0

Para el cálculo hidráulico, la aplicación utiliza la biblioteca de cálculo (DLL) que ofrece EPANET 2.0 [8]. La forma de utilizar dichas funciones es a través de la instancia de un objeto de programación, el cuál se configura y adquiere sus propiedades mediante un archivo de texto plano, que la aplicación escribe a partir de la red que el usuario diagrama en las interfaces previstas para el diseño del sistema de abastecimiento.

La figura 8 muestra el diagrama de flujo para la interacción de la aplicación con las bibliotecas de cálculo, en este caso se ejemplifica para el caso de las bibliotecas de cálculo de EPANET, no obstante el flujo de trabajo es el mismo para cualquier biblioteca de cálculo, para las cuales sólo se modifican las funciones de transferencia y lectura de resultados.

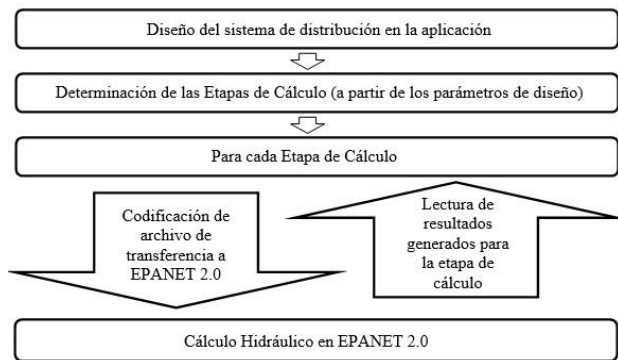


Figura 8. Interacción con EPANET

5.1. Archivos de transferencia

La transferencia de información hacia EPANET se realiza mediante archivos de texto planos en los cuales se listan los objetos (Nodos, bombas, tuberías, curvas de funcionamiento, etc.) y sus propiedades (Longitud, diámetro, conexiones, etc.).

```

UNITS  CMD
HEADLOSS  D-W

[JUNCTIONS]
;ID Elev  Demand  Pattern
25  212  546  ;
26  216  0    ;
30  183  819  ;
31  217  819  ;

[RESERVOIRS]
;ID Head  Pattern
20  244  ;

[TANKS]
;ID Elevation  InitLevel  MinLevel  MaxLevel

[PIPES]
;ID Node1  Node2  Length  Diameter  Roughness
21  26  31  3210  457  30.48  0  Open;
23  30  25  1610  254  30.48  0  Open;
  
```

Figura 9. Archivo de transferencia

5.2. Funciones de cálculo

Una vez configurado el objeto de cálculo a partir de los archivos de transferencia, el uso de las funciones de cálculo y la recuperación de resultados se realiza mediante un bloque de programación con la siguiente estructura:

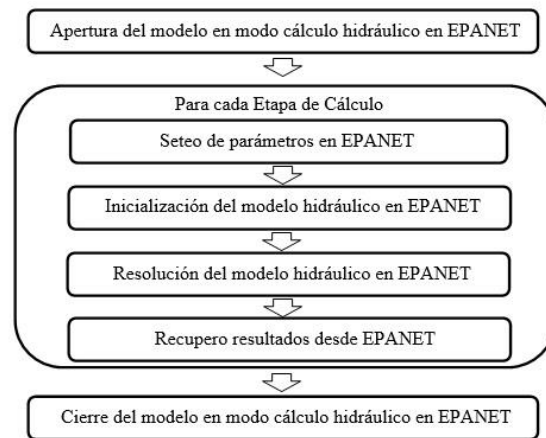


Figura 10. Cálculo en EPANET

6. Resultados

La resolución del cálculo hidráulico devuelve, para cada etapa, los valores de presión y altura para cada nodo del sistema y los valores de caudal y pérdida de carga para cada cañería de la red.

Estos resultados, que determinan el funcionamiento de la red, deben visualizarse para cada etapa de cálculo, para ello la aplicación genera una interfaz gráfica que extrae una maqueta del modelo creado donde sólo se

representan los nodos mediante circunferencias y las cañerías mediante líneas, ambos varían su tamaño y color según el valor de la propiedad que muestran.

Como muestra la figura 11, esta representación de los resultados puede verse de forma simultánea para todas las etapas de cálculo, lo que permite analizar rápidamente la evolución de la red en el tiempo.

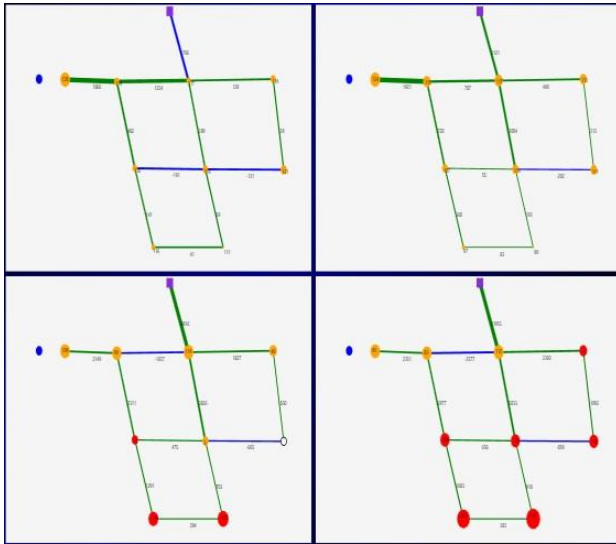


Figura 11. Resultados hidráulicos

7. Evaluación económica

Una de las herramientas que más contribuye al modelado integral del sistema es la generación de un cuadro de evaluación económica del proyecto [9].

Ya definida la evolución de la población, los parámetros de diseño, creado el modelo principal y los sub proyectos con las correspondientes configuraciones de cada objeto, la aplicación reúne dicha información en un cuadro de evaluación económica donde proyectará el flujo de caja para cada etapa definida en el proyecto.

Para generar esta evaluación, deben definirse valores para ciertos parámetros económicos y financieros, tales como:

- Costo de inversión en conexión por conexión.
- Costo de inversión en redes por conexión.
- Costo de inversión en planta potabilizadora.
- Costo anual de operación y mantenimiento incremental en redes por conexión.
- Costo anual de operación y mantenimiento de planta.
- Tarifa anual de agua.
- Costo para el usuario por conexión de agua.
- Costos por metro de conducción, discriminados según diámetro y material utilizado.

- Habitantes por vivienda.
- Tasa de descuento utilizada para la evaluación.

Cada uno de los parámetros mencionados produce un impacto determinante en la evaluación económica del proyecto, un análisis rápido a las sensibilidades a la variación de los mismos constituye una herramienta fundamental de la aplicación, para lograrlo se propone la ventana que muestra la figura 12, cada modificación de las variables que se muestran produce una inmediata modificación en la evaluación económica que puede visualizarse en la ventana que contiene la evaluación.

Item	Valor [\$]	
Costo Potencia Instalada [xHP]	1500	<input type="text"/>
Costo de inversión en conexión por conexión	250	<input type="text"/>
Costo de inversión en redes por conexión	150	<input type="text"/>
Costo de inversión en Planta Potabilizadora	6000000	<input type="text"/>
Costos anuales de operación y mantenimiento incremental redes	300	<input type="text"/>
Costos anuales de operación y mantenimiento de planta	2000000	<input type="text"/>
Tarifa anual agua	2500	<input type="text"/>
Tarifa de conexión de agua	1200	<input type="text"/>
Costo por metro de Conducción Troncal	1000	<input type="text"/>
Tasa de descuento	12	<input type="text"/>
Habitantes por vivienda	4	<input type="text"/>

Figura 12. Parámetros económicos

Para el caso de las cañerías, que deben ser discriminadas por diámetro y material, se utiliza una tabla especial donde para cada material se muestran rangos de diámetro y la opción de variar el costo de los mismos, la misma se muestra en la figura 13.

Material - Cañería	Diametro Hasta [Valor [\$]	
Fundición	8	100	<input type="text"/>
Fundición	12	150	<input type="text"/>
Fundición	16	200	<input type="text"/>
Fundición	20	250	<input type="text"/>
PRFV	8	100	<input type="text"/>
PRFV	12	150	<input type="text"/>
PRFV	16	200	<input type="text"/>
PRFV	20	250	<input type="text"/>
PVC	8	100	<input type="text"/>
PVC	12	150	<input type="text"/>
PVC	16	200	<input type="text"/>
PVC	20	250	<input type="text"/>
PEAD	8	100	<input type="text"/>
PEAD	12	150	<input type="text"/>
PEAD	16	200	<input type="text"/>
PEAD	20	250	<input type="text"/>

Figura 13. Costos de cañerías

El usuario sólo debe ingresar los valores para los costos para cada diámetro y material, al momento de calcular la evaluación económica, el módulo de cálculo de evaluación económica asigna el costo correspondiente para cada cañería ingresada en el modelo según material y diámetro. Esto hace que cada modificación, tanto en el modelo hidráulico cambiando diámetros o materiales, como en la tabla de costos, se vea reflejada en los resultados de la evaluación económica. Estos valores asignados por la aplicación se muestran graficados y tabulados como un resultado adicional con el fin de brindar mayor claridad y estar a disposición del usuario.

7.1. Resultados de la evaluación económica

Los resultados de la evaluación se muestran en gráficos y de forma tabulada, allí se detallan para cada etapa del proyecto los siguientes valores:

- Población
- Viviendas
- Cobertura
- Conexiones totales
- Conexiones nuevas
- Conexiones agregadas
- Inversión en redes
- Inversión en conexiones
- Inversión en plantas
- Inversión en cañerías de conducción
- Costo incremental de operación y mantenimiento
- Factor de descuento
- Ingreso incremental por conexiones de agua
- Ingreso incremental por tarifa de agua
- Flujo incremental neto privado
- Flujo incremental neto descontado

Como resultado representativo de la evaluación se muestra el valor actual neto, parámetro que permite comparar rápidamente alternativas de diferentes proyectos.

8. Almacenamiento de datos

Los datos ingresados para la creación del modelo, las distintas configuraciones de la aplicación y la totalidad de los resultados generados en la resolución de los modelos son almacenados en una base de datos relacional.

La inclusión de una base de datos para el almacenamiento y creación del modelo integral es una característica distintiva en sí misma de la aplicación, ya que permite la importación y exportación de los mismos utilizando diversas herramientas para la manipulación de bases de datos independientemente de la aplicación aquí desarrollada. No obstante, una explicación detallada de la

estructura de la base, sus tablas y relaciones, no constituyen la finalidad del presente artículo, sólo se harán algunas aclaraciones pertinentes al funcionamiento y metodología de la aplicación.

La estructura de datos se organiza a partir de la creación de un *proyecto*, del cual depende toda la información ingresada, es decir, la configuración de la aplicación, las imágenes incluidas, los parámetros para la creación del modelo, los parámetros para la evaluación económica, los objetos (instalaciones) junto con sus propiedades y las conexiones entre los mismos, las curvas de comportamiento y los resultados generados de la resolución del modelo hidráulico y la evaluación económica.

8.1. Objetos y conexiones

Los Objetos modelan las diferentes instalaciones (*ver sección 4.1*) que configuran la red de distribución de agua potable, para dicho modelado, los objetos deben estar conectados entre sí, es decir, existe una conexión entre cada objeto de tipo *nodo* y cada objeto de tipo *conexión*. Esta conexión no representa a un objeto físico de la red, simplemente indica que dos objetos están conectados.

La Figura 14 muestra una parte de una red diseñada en la aplicación. Allí se observan los objetos de tipo nodo:

- “toma 1” (Captación).
- “nodo 1” y “nodo 2” (Unión)

Y los objetos de tipo conexión:

- “bomba 1” (Bomba)
- “pipe 1” y “pipe 5” (Cañerías)



Figura 14. Fragmento de red

En la figura, las conexiones a las que hacemos referencia están representadas con una flecha celeste, por ejemplo: una conexión une al objeto “toma 1” con el objeto “bomba 1” y otra conexión une al objeto “bomba 1” con el objeto “nodo 1”. En la base de datos, la tabla *Connections* almacena todas las conexiones, los campos que definen la conexión de dicha tabla son:

- idObject: identificador del objeto del cual parte la conexión.
- idTargetObject: identificador del objeto de destino de la conexión.

Cada conexión crea un nuevo registro en la tabla, pudiendo un objeto tener múltiples conexiones que lo tienen como origen o como destino, la limitación a esta cantidad está determinada por el tipo de objeto en cuanto a la instalación física que representa, por ejemplo, un objeto tipo Bomba sólo admite una conexión de entrada y una de salida, un objeto tipo Captación no admite conexiones de entrada y sólo admite una salida y un objeto tipo Unión admite múltiples conexiones de entrada y salida.

9. Tecnología utilizada

- Tecnología: .Net Framework 4
- Lenguaje de programación: C#
- Marco de interfaz de usuario: WPF
- Sistema Operativo: Windows 64 bits

10. Discusión

La realización de este trabajo fue encara en dos frentes:

- El planteo teórico y conceptual, expresado en el presente documento.
- El desarrollo y programación de la primera versión de la aplicación que aquí se plantea.

Esta posibilidad de llevar a la práctica los planteos generó una retroalimentación entre los planteos y su ejecución práctica que depuró algunos aspectos que encontraban dificultades en su implementación y fortaleció a otros en los cuales pudo demostrarse su factibilidad:

- El presente desarrollo se apoya fuertemente en la utilización de las rutinas de cálculo de EPANET, sin embargo, la resolución del modelo hidráulico (esto es, en concreto, lo que ofrecen las bibliotecas de cálculo utilizadas) es solo un aspecto de los que la aplicación pretende resolver y parte de lo planteado incluye la posibilidad de incorporar otras bibliotecas de cálculo para realizar comparaciones entre las mismas, incluyendo alguna de desarrollo propio.
- Reforzando lo anterior, puede decirse que este desarrollo pretende incorporar módulos ya desarrollados y no competir con los mismos, las variantes e innovaciones se pensaron en función de plantear una metodología para un enfoque global del diseño utilizando motores de cálculo ya reconocidos.

- Resulta dificultoso y poco práctico utilizar esta aplicación para el diseño de sistemas de abastecimientos con redes de distribución modeladas con excesivos detalles, ya que la aplicación resuelve múltiples aspectos del proyecto en simultáneo y no tiene como único fin la resolución del modelo hidráulico.
- Según lo expresado y desarrollado a lo largo del presente trabajo, la posibilidad de utilizar la aplicación como herramienta para la enseñanza y el entrenamiento de profesionales o técnicos dedicados al diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable surge como la alternativa más competitiva. Además, dicha utilización puede generar nuevas funcionalidades propuestas y desarrolladas entre alumnos e instructores que hagan más robusto el proyecto.

11. Referencias

- [1] US Environmental Protection Agency, "EPANET", *Software that models the hydraulic and water quality behavior of water distribution piping systems, Programmer's toolkit*, <https://www.epa.gov/water-research/epanet#toolkit>
- [2] Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento, <http://www.enohsa.gob.ar/>
- [3] ENOHSa, "Guías para la presentación de proyectos de agua potable", *Proyecto Típico. Red de distribución de agua potable*.
- [4] ENOHSa, "Normas de Estudio, Criterios de Diseño y Presentación de Proyectos de Desagües Cloacales", Argentina, 1993.
- [5] ENOHSa, "Normas de Estudio, Criterios de Diseño y Presentación de Proyectos", Argentina, 1972.
- [6] ENOHSa, "Fundamentaciones", *Cap. XIII, Redes de distribución*.
- [7] Google Static Maps API, <https://developers.google.com/maps/documentation/>.
- [8] Lewis A. Rossman, "EPANET 2 User's Manual", *Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, OH, US, September 2000*.
- [9] CEPEP, "Metodología General para la Evaluación de Proyectos", 2008. http://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/documentos/metodologia_general.pdf.