

Herramienta de Gestión del Daño, Acueducto Metropolitano de Bucaramanga

Niño, César

Ingeniero Civil, MSc.

Investigador Centro de Investigación de Acueductos y Alcantarillados de la Universidad de los Andes (CIACUA). E-mail: ce-nino@uniandes.edu.co.

Jurado, César

Ingeniero Sanitario, MSc.

Investigador Centro de Investigación de Acueductos y Alcantarillados de la Universidad de los Andes (CIACUA). E-mail: c-jurado@uniandes.edu.co .

Saldarriaga, Juan

Ingeniero Civil, MSc.

Profesor Titular Universidad de los Andes, Director del Centro de Investigación de Acueductos y Alcantarillados de la Universidad de los Andes (CIACUA). E-mail: jsaldarr@uniandes.edu.co.

XVIII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología

Sociedad Colombiana de Ingenieros

Bogotá D.C. 22, 23, y 24 de mayo de 2008

Resumen. En el presente trabajo se desarrolló una herramienta computacional dirigida a mejorar el proceso de la atención del daño en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. El objetivo de la herramienta es determinar las válvulas que deben ser cerradas para que un tubo identificado como afectado por un daño o cierre a realizar, quede sin agua. Para lograrlo, es necesario contar con un modelo hidráulico calibrado que represente de manera precisa la topología de la red y los usuarios asignados a los nodos para determinar cuál es la afectación que puede causar un daño o cierre específico. La plataforma tecnológica usada es un Sistema de Información Geográfica que permite desplegar gráficamente cada uno de los componentes y hacer desarrollos para poder personalizar y satisfacer las necesidades que se quieren cubrir con el programa para dar soporte a la atención del daño

Palabras clave. Atención del daño, redes de distribución, sistemas de información geográfica.

1. Introducción

Uno de los aspectos más destacados que se presenta en la operación de un sistema de distribución de agua potable, es aquel relacionado con la afectación en el servicio a los usuarios de determinado sector, por la presencia de un trabajo. Los cortes en el servicio son situaciones que se presentan de forma muy común en las redes de distribución de agua potable, debido a labores de reparación y mantenimiento de las tuberías o accesorios que las conforman. Esto sucede a pesar de que el agua potable se considera un servicio de tipo fundamental, el cual no debe interrumpirse sin previo aviso y en caso de que sea necesario hacerlo, se debe garantizar que los cierres se realicen afectando al menor número posible de usuarios.

Para lograr lo anterior, es indispensable contar con una topología detallada de las redes que incluya el estado y ubicación de las válvulas de cierre. Igualmente se requiere la posición de los suscriptores y el nodo de consumo al cual se encuentran asociados.

A pesar de que estos conceptos han estado presentes en las empresas prestadoras del servicio de agua potable desde hace mucho tiempo, no había sido posible implementarlos, pues para ello se requiere el uso conjunto de Sistemas de Información Geográfica y programas de simulación hidráulica, cuya masificación es relativamente reciente.

Consciente de la importancia de una herramienta informática que supliera esta necesidad, la Universidad de los Andes le planteó al Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. dentro del marco de un proyecto de investigación sobre la Gestión Integral de Redes (GIR), aprovechar los conocimientos adquiridos durante los últimos años en simulación computacional de redes y Sistemas de Información Geográfica para crear un programa pionero a nivel nacional e internacional que permita establecer las válvulas a cerrar y los usuarios afectados por un daño en tiempo real. Como se verá más adelante, el programa **CIERRES** además de cumplir esta función, va un paso más allá permitiendo obtener información indispensable en la priorización de daños, que es un elemento fundamental en la GIR.

2. Mantenimiento de redes de distribución

2.1. Mantenimiento Preventivo - Predictivo

El mantenimiento predictivo-preventivo busca determinar los tubos prioritarios a ser cambiados mediante la identificación del punto en el cual los posibles costos de reparación pueden superar la inversión en la instalación de una nueva tubería. La implementación de la metodología para el mantenimiento predictivo-preventivo de redes de distribución de agua potable implica la recolección de la información topológica, de edades y ubicación de la tubería; información del comportamiento hidráulico (principalmente distribución de presiones) y la ocurrencia de daños en un período de tiempo determinado.

2.2. Mantenimiento correctivo

Este mantenimiento es el que se realiza a diario en las empresas prestadoras del servicio de agua potable, en donde por deterioro de los materiales, sobre presiones, cambios de operación, obras civiles aledañas a la red, desplazamientos del terreno, entre otros, se averían los tubos y los accesorios, generando fugas que en la mayoría de los casos se hacen visibles en la superficie del terreno. Una vez se presenta el daño, éste es reportado a la compañía por vecinos, transeúntes o personal de la empresa para que sea reparado.

Este tipo de mantenimiento se diferencia del preventivo – predictivo en que sólo se interviene la red hasta el momento de ocurrencia y registro del daño, no antes. Esa forma de respuesta a eventualidades, obliga a la empresa a tener siempre disponible personal, vehículos, y materiales para su atención, generando la necesidad de contar con protocolos, políticas y metodologías que conduzcan a un óptimo aprovechamiento del tiempo y recursos.

Es en el mantenimiento correctivo en donde se ve la gran utilidad de la herramienta informática **CIERRES**, debido a que, para poder hacer reparaciones en tuberías y en algunas acometidas domiciliarias, es vital aislar totalmente el tubo afectado. **CIERRES** orienta tanto al personal de campo como de oficina a dirigir los esfuerzos a cerrar las válvulas indicadas sin tener que depender del conocimiento experto de los operarios, que como toda labor humana, es susceptible de fallar.

3. CIERRES

El programa **CIERRES** es una herramienta informática desarrollada para que sea ejecutada dentro del programa ArcGIS 9.1 bajo el lenguaje *Visual Basic for Applications*. Además de establecer las válvulas que se deben cerrar para aislar un sector de una red de distribución, permite encontrar cuales son los usuarios que resultan afectados por el corte del servicio y calcula los caudales que éstos dejan de consumir. Así mismo, cuenta con un módulo capaz de calcular el caudal que se pierde por los daños, a partir de las características geométricas del mismo y las presiones en ese sitio de la red; éstas pueden ingresarse manualmente o a partir de los resultados de un modelo calibrado.

Para obtener los resultados deseados, el programa **CIERRES** se apoya en una herramienta de modelación hidráulica desarrollada en la Universidad de los Andes (**REDES**); este programa se encarga de la parte hidráulica del aplicativo, corre el algoritmo de búsqueda y verificación de válvulas que aíslan un tubo determinado.

Como **CIERRES** está acoplado con ArcGIS, toda la información geográfica es desplegada gráficamente para facilitar su entendimiento y permitir la ubicación georeferenciada de los usuarios sin agua y de las válvulas que deben ser cerradas.

3.1. Diseño de CIERRES

Es importante para el diseño de cualquier herramienta informática definir el tipo de arquitectura que va a utilizar; ella se encarga de abstraer de manera general el comportamiento, restricciones, y principales actividades que va a tener el aplicativo final.

La arquitectura busca definir por medio de capas y componentes cuáles van a ser las responsabilidades, la interacción entre cada uno de ellos y su ubicación física. Por ejemplo, si se habla de un sistema distribuido, en su arquitectura hay componentes que están en un servidor central con responsabilidades específicas de seguridad, persistencia, procesamiento y concurrencia, entre otras. Mientras que en aplicaciones stand alone, las responsabilidades son diferentes, ya no es necesario comunicarse con otra máquina, no hay problemas de concurrencia, la seguridad se maneja de manera diferente, entre otros aspectos que hacen que dicha arquitectura se acomode a las necesidades y requerimientos propios de la naturaleza del software a desarrollar.

Para diseñar el programa **CIERRES**, se pensó en una arquitectura de tres capas: Interfaz – Lógica – Persistencia. Diseñarlo así permite que se separen y definan muy bien las responsabilidades para mejorar el entendimiento del programa, tanto en el proceso de implementación como para hacerle mantenimiento y mejoras a la herramienta una vez ésta se ha terminado de implementar. En la Figura 3-1 se muestran las tres capas del programa **CIERRES**. En la capa GUI (por sus siglas en inglés: Graphic User Interface) se encuentran las clases relacionadas con la interfaz gráfica, las cuales se encargan de interactuar con el usuario, pidiendo y recibiendo información de él para transmitir los mensajes a la lógica del negocio.

La lógica del negocio se encarga de recibir las solicitudes del usuario para representar cada uno de los componentes de la red, comunicarse con el programa **REDES** para correr la hidráulica del modelo, ejecutar los algoritmos de búsqueda de válvulas y extraer de éste la información necesaria para la priorización de daños.

En el último nivel se encuentra la persistencia, en ella están las clases que se encargan de extraer y escribir información de archivos planos y los relacionados con el sistema de información geográfica que usa **CIERRES**.

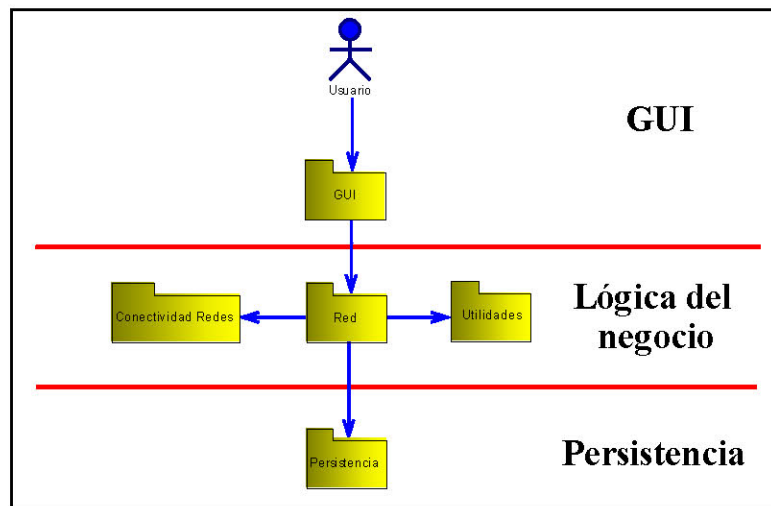


Figura 3-1 Arquitectura tres capas del programa CIERRES.

Con respecto a la arquitectura, es importante resaltar finalmente que el aplicativo es un programa Stand Alone, lo que significa que todos sus componentes están instalados y se ejecutan en un mismo computador y no hay comunicación con alguna otra máquina.

3.2. Algoritmo CIERRES

Es importante resaltar que si no se conoce la hidráulica de la red, no es posible determinar con certeza cómo se debe operar para encontrar soluciones al problema de aislar un tubo totalmente del sistema. De igual manera, la hidráulica de la red, la cual por lo general se maneja como un modelo digital, debe representar lo más cercanamente posible aquello que está instalado y funcionando en campo. Es por eso que tener un modelo hidráulico calibrado es indispensable para poder usar el algoritmo que se explica a continuación.

Para determinar las válvulas que se deben cerrar para que un tubo se quede sin agua, primero se selecciona dicho tubo, luego se establecen los caminos que el agua puede recorrer desde el nodo inicial y

nodo final a cada uno de los embalses o tanques. Dichos caminos son recorridos desde el nodo hasta el embalse o tanque que conlleve el camino seleccionado. El recorrido por el camino finaliza cuando el algoritmo encuentra una válvula (tubo que funciona como válvula de cierre) y almacena su ID. De no encontrar ninguna válvula en el camino, se indica que el tubo no puede ser aislado, y se deja a elección del usuario el cierre de las válvulas que se encuentran en otros caminos.

Durante el recorrido de un camino se marcan los nodos por donde se ha pasado, para evitar pasar por un mismo nodo en diferentes trayectos, es decir, si se encuentra un nodo marcado durante el recorrido de un camino, este finaliza sin haber encontrado una válvula o terminado en un embalse o tanque. El diagrama de flujo de este algoritmo se muestra en la Figura 3-2.

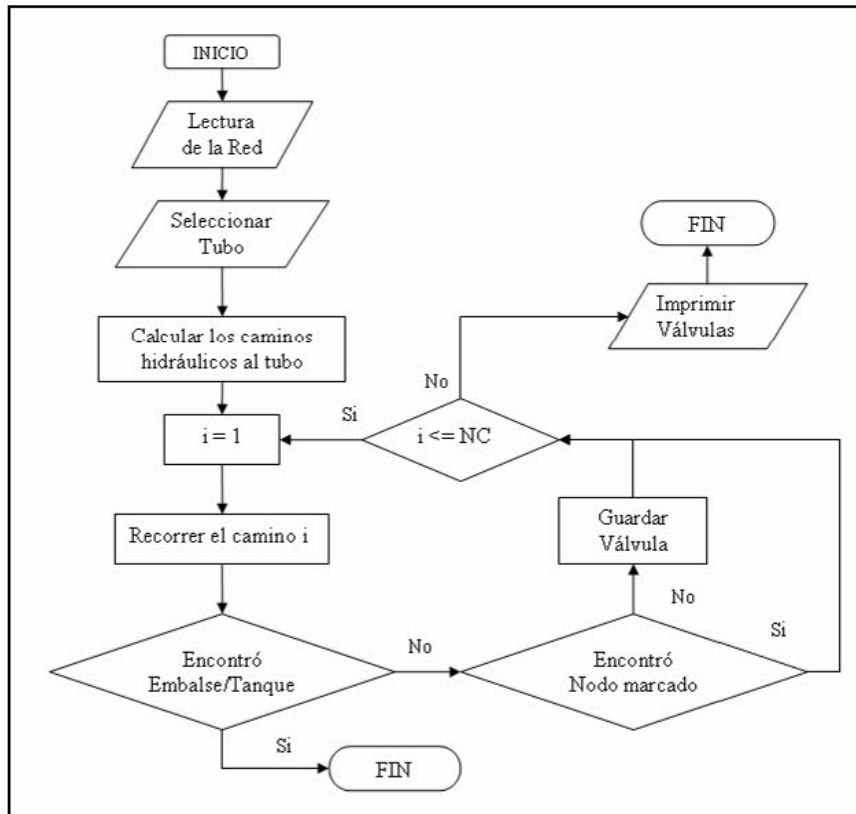


Figura 3-2 Algoritmo para la búsqueda de válvulas de cierre.

Una vez se han determinados las válvulas a cerrar, se corre un algoritmo adicional que evalúa la redundancia de válvulas. Se ha determinado que la redundancia de válvulas se presenta cuando dentro de la lista de válvulas a cerrar que arroja una primera ejecución del programa **CIERRES**, hay algunas que a pesar de que permanezcan abiertas, el flujo no llega al tubo del daño, entonces es necesario determinar cuáles realmente son útiles y cuáles no, para evitar que se dirija el personal encargado de cerrar las válvulas a hacer un trabajo inoficioso; este concepto de la redundancia de válvulas se representa en las siguientes figuras.

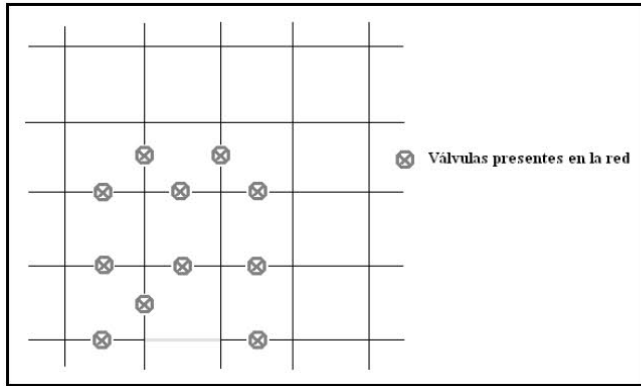


Figura 3-3 Válvulas iniciales aledañas a un daño.

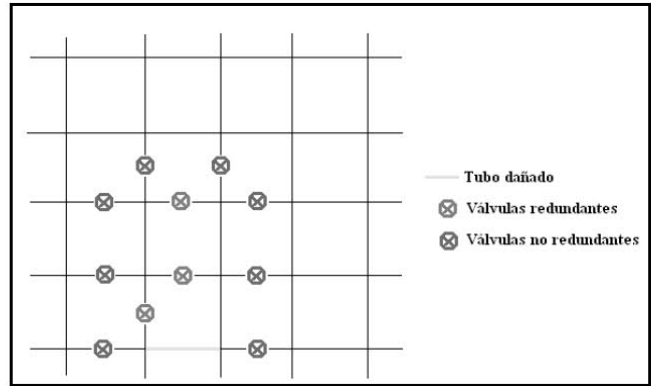


Figura 3-4 Determinación de válvulas redundantes.

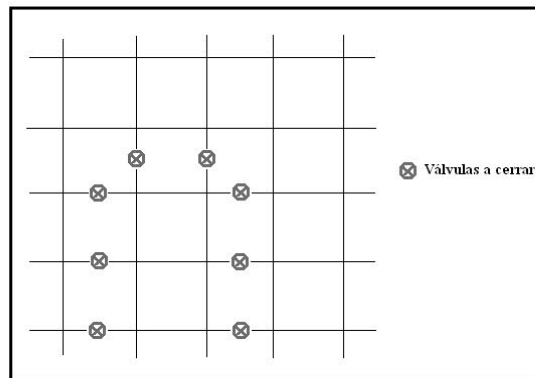


Figura 3-5 Respuesta definitiva de las válvulas que se deben cerrar.

3.3. Archivos utilizados por CIERRES

La determinación de los cierres necesarios para aislar una zona específica dentro de un sistema de distribución es una labor que depende fundamentalmente de la hidráulica de la red, cuya determinación requiere de un modelo hidráulico de la zona, el cual debe tener algunas características especiales que le permitan al programa CIERRES establecer la ubicación de las válvulas para aislar cualquier tubo seleccionado.

Los modelos hidráulicos de las zonas que deseen evaluarse a través del programa **CIERRES** deben ingresarse a través de un archivo (*.INP), que corresponde al tipo de archivos de intercambio utilizados dentro de la modelación hidráulica de sistemas de distribución de agua potable.

Dentro de la modelación hidráulica de sistemas de distribución no existe un elemento destinado exclusivamente a la simulación de las válvulas de cierre, por lo que típicamente se emplean tramos de tubería a las cuales se les varía el estado de "abierto" a "cerrado".

Para que el programa identifique correctamente el sitio y el estado de las válvulas de cierre del modelo, éstas deben representarse a través de tuberías cuyo identificador tenga como primer carácter la letra "V". En el caso de las tuberías que cumplan esta característica, el programa leerá su estado; si éste es "CERRADO",

sabr  que se trata de una válvula de cierre permanente. En caso contrario sabr  que es una válvula que se encuentra abierta y que podrá utilizarla para aislar algún sector.

Otro de los aspectos importantes relacionados con la información de entrada al programa está asociado con la ubicación espacial de los usuarios, sus consumos y los nodos a los cuales fueron asignados.

La información de los consumos debe cargarse a través de un archivo plano el cual contiene el identificador de cada usuario, sus coordenadas X Y Z y su consumo. El nodo de consumo al cual fue asignado cada suscriptor, se determina ingresando el archivo de salida de los suscriptores "nodos out" del programa ASIGNA (herramienta desarrollada por la Universidad de los Andes que asigna el consumo de cada usuario de la red de distribución al nodo más cercano), el cual contiene el identificador de cada usuario y el valor del nodo de consumo al que fue asignado.

3.4. Modo de uso de CIERRES

Estando dentro del entorno de trabajo de ArcMap en ArcGIS se despliega la ventana inicial de CIERRES, la cual se muestra en la Figura 3-6, en ella se ingresa la ubicación del archivo con el modelo hidráulico calibrado, del programa REDES que se ejecuta por debajo y los archivos que contienen los usuarios con su ubicación, demanda y asignación a nodos de la red.



Figura 3-6 Opciones para la generación de Shapes.

En la Figura 3-7 se observa el despliegue gráfico de los shapes creados. Los usuarios se representan a través de cruces de color amarillo ocre, los nodos con puntos de color negro, los tubos con líneas de color azul, las válvulas de cierre que se encuentran abiertas con líneas de color verde y las de cierre permanente con líneas rojas.

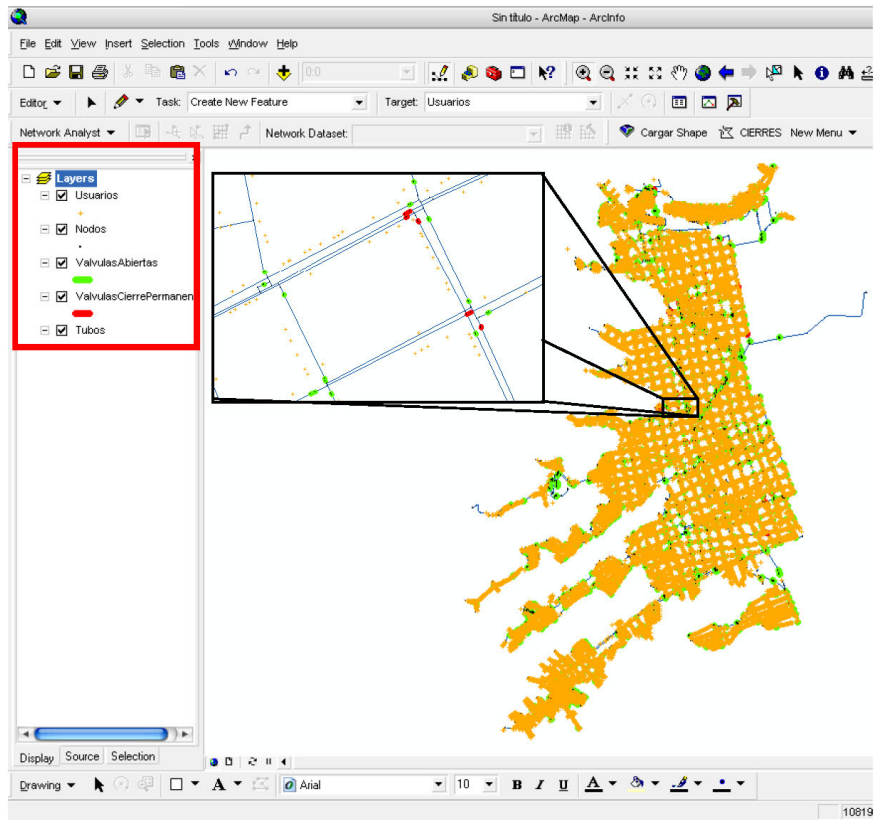


Figura 3-7 Despliegue gráfico de shapes.

Una vez procesados los archivos de entrada y creados los diferentes shapes del sistema, el paso siguiente es determinar en cuál tubo de la red ocurrió el daño, para que el programa establezca la zona que se verá afectada por las labores de reparación o mantenimiento. Para realizar lo anterior, el usuario debe utilizar el botón de selección de objetos mostrado en la Figura 3-8 y escoger el tubo en el que se reportó el daño, tal como se muestra.

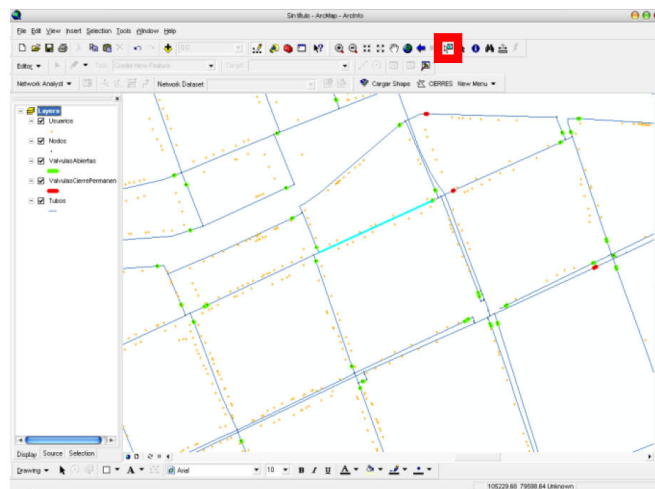


Figura 3-8 Selección del tubo en el que ocurrió el evento.

Una vez se ejecuta la herramienta CIERRES, el resultado es el que se aprecia en la Figura 3-9, en donde se muestran las válvulas que deben ser cerradas para atender el daño, los usuarios que se quedan sin servicio (puntos de color negro) y el tubo que va a ser reparado. Este resultado gráfico está acompañado de un reporte en un archivo plano que contiene los identificadores de las válvulas, usuarios y demás datos relevantes para realizar la atención del daño.

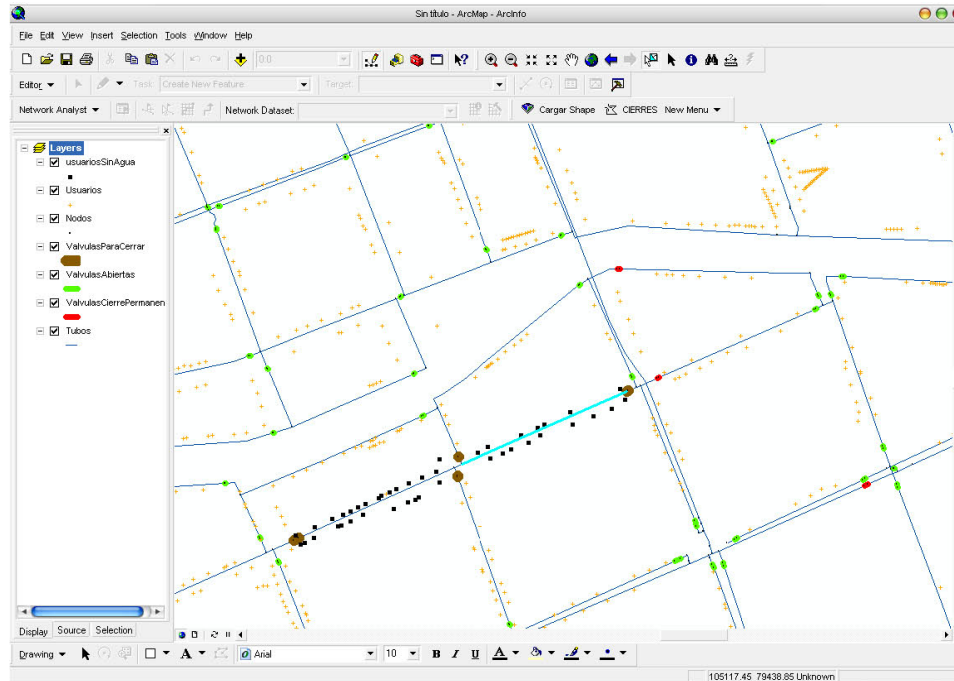


Figura 3-9 Respuesta del programa CIERRES.

4. Conclusiones

Es importante resaltar que uno de los resultados más relevantes del proyecto investigativo desarrollado entre el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. y la Universidad de los Andes, es el desarrollo de una herramienta informática capaz de establecer las válvulas que deben cerrarse para aislar un sector de cualquier red de distribución, encontrar los suscriptores afectados por el cierre y al mismo tiempo calcular tanto el caudal que se pierde por el daño como el que se deja de vender mientras duren los trabajos. Todo esto a partir de un modelo hidráulico calibrado, lo cual hace que este tipo de desarrollos sea único en su clase.

El programa **CIERRES** representa un avance en la Gestión Integral de Redes de Distribución, ya que aporta información indispensable para el cálculo de indicadores, priorización de daños y atención al cliente.

Esta herramienta vanguardista, permite en la oficina tener un contacto directo con lo que se está modificando en campo, permite detectar sectores en donde es necesario instalar nuevas válvulas para hacer que menos cuadras se queden sin agua y por ende, el indicador de usuarios afectados disminuya en pro de un mejor servicio.

La herramienta es capaz de identificar con exactitud los suscriptores que se quedan sin servicio frente a cualquier evento, estos suscriptores son almacenados en un reporte que puede ser cargado por alguna

herramienta que se encargue de dar información al Call Center e información clara y actualizada al público. Esto mejora sustancialmente la atención del cliente y por ende la imagen de cualquier empresa frente a la sociedad.

5. Referencias

- CIACUA, "Informe final del Proyecto Plano Óptimo de Presiones del Distrito Estadio de la Red de Distribución del Municipio de Bucaramanga", Bogotá, 2006.
- Saldarriaga Juan, "Hidráulica de Tuberías", McGraw-Hill, Bogotá Colombia, 2007.
- Rossman Lewis, User's manual EPANET, USA, EPA, 1999.
- CIACUA, "Informe final del proyecto Plano Óptimo de Presiones de los Municipios de Andalucía, Ansermanuevo, Bolívar, Bugalagrande, Candelaria, Ginebra, Guacarí, La Cumbre y Toro.", Bogotá, 2006.
- Sisa, Augusto. "Análisis de parámetros para la calibración de redes de tuberías con algoritmos genéticos". Tesis de maestría, Universidad de los Andes, 2003.
- Salas, Daniel. "Evaluación de métodos de inteligencia artificial para calibración de redes de acueducto". Tesis de maestría, Universidad de los Andes, 2003.