

SISTEMAS DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DEL TIPO SCADA PARA LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA

Andrés Alberto Zuluaga Salamanca¹; Rafael Orlando Ortiz Mosquera²

Resumen - Los sistemas SCADA (Adquisición de Datos y Control de Supervisión), son hoy día una de las mayores herramientas que se tiene en cuanto a control y supervisión de redes hidráulicas, puesto que al trabajar en conjunto con un sistema de válvulas, medidores de caudal y aditamentos del tipo automatizado, se puede llegar a ejercer operaciones de maniobrabilidad, ajustes temporales, cierres de tuberías, reducciones de presión, registro de consumos y un sin número de manejo de variables y estadísticas que permiten hacer una adecuada programación y control del consumo, en aras de lograr un “Uso Racional del Agua”.

Siendo este el objetivo primordial del presente escrito y de la línea de investigación, que lleva este mismo nombre, en el GIREH (Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos), se muestra durante el desarrollo de este artículo, una evaluación tanto operacional como funcional, de las ventajas que traería consigo la implementación de este tipo de sistemas en la Red de Suministro de Agua de la Ciudad Universitaria.

Abstract - The systems SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), they are nowadays one of the biggest tools that one has as for control and supervision of hydraulic nets, since when working together with a system of valves, flow meters and additions of the automated type, you can end up exercising maneuverability operations, temporary adjustments, closings of pipes, reductions of pressure, registration of consumptions and a without number of handling of variables and statistical that allow to make an appropriate programming and control of the consumption, for the sake of achieving a “Rational Use of the Water”.

Being this the primordial objective of the present written and of the investigation line that takes this same name, in the GIREH (Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos), it is shown during the development of this article, an evaluation so much operational as functional, of the advantages that would bring I get the implementation of this type of systems in the Water Net of Supply of Water of the University City.

Palabras Clave - SCADA, Uso Racional del Agua, Válvulas, Automatización, Consumo.

Keywords - SCADA, Rational Use of the Water, Valves, Automation, Consumption.

¹ Universidad Nacional de Colombia - Ingeniero Civil - Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola – Unidad de Hidráulica - Integrante del GIREH (Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos – Bogotá (Colombia). Tel: (+57) 1 3165000 Ext. 13401 – Fax: (+57) 1 3165563 E-mail: aazuluagas@unal.edu.co

² Universidad Nacional de Colombia - Ingeniero Civil -- Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola – Unidad de Hidráulica - M.Sc. En Docencia - Candidato a M.Sc. en Recursos Hídricos - Director de la Unidad de Hidráulica - Investigador del GIREH (Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos – Bogotá (Colombia). Tel: (+57) 1 3165000 Ext. 13474 – Fax: (+57) 1 3165563 E-mail: roortizm@unal.edu.co

INTRODUCCIÓN

Durante el constante crecimiento, en su mayoría desmedido, que ha venido sufriendo Bogotá en sus últimas décadas, ha sido necesario la implementación de modificaciones y adecuaciones a las diferentes redes de suministro del recurso hídrico con el fin de suplir y amortiguar la incansable variación en la demanda de agua, que día a día da un campanazo de alerta a la Ingeniería del país, para que desarrolle nuevas tecnologías que permitan una óptima distribución y un manejo espacio – temporal del tan preciado y, hoy día, escaso recurso hídrico.

Es por ello en cuanto surge la necesidad en la Ciudad Universitaria de poner un orden y un control sobre las redes que distribuyen el agua, ya que su incansable paso y labor a lo largo de más de 50 años, las hace ver como redes obsoletas y fuera de foco en lo que es el entorno de los acueductos modernos a nivel mundial.

La generación de nuevas tecnologías que incorporan cada vez un mayor control y monitoreo del recurso, generadas principalmente en Israel (país que sufre de desabastecimiento del recurso) , hacen que se vea como una necesidad apremiante el proveer a las redes del campus de una modernización que vaya encaminada a la preservación, control y adecuado manejo del recurso hídrico, puesto que hoy día, existen lineamientos a nivel mundial que regulan la gestión ambiental, el desarrollo sostenible, la producción mas limpia, el uso racional del agua y programas de reserva y cuidado de páramos y fuentes de agua.

Ha sido, en los últimos cinco (5) años, de gran interés en la Universidad Nacional de Colombia el generar ese cambio en las redes de suministro y en el velar en pro del recurso hídrico y a su adecuado uso y manejo racional, por ello, se han venido implementado planes de renovación de las tuberías que presentan fugas y que ya han cumplido su vida útil, adicional a la instalación de medidores en la mayoría de las edificaciones y de válvulas de cierre que faciliten la determinación de fugas o daños y que hagan menos dispendiosa y más rápida su reparación, sin embargo, esto no es un cambio que se de a corto plazo, debido a los altos costos en que se incurren para determinar los lugares con principales afectaciones y la implementación de tramos adicionales de tubería que aprovisionen a las nuevas edificaciones que se han erigido dentro del campus universitario.

Este documento esta basado en una Tesis de Grado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia presentada en el año 2004 (Zuluaga, 2004), que busca primordialmente continuar con las labores que se vienen llevando a cabo tanto a nivel mundial como nacional, en cuanto al adecuado manejo y disposición del recurso hídrico. Para ello, se cuenta con el interés y apoyo de la Línea de Investigación sobre el “Uso Racional del Agua” del **GIREH** (Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos) de la Universidad Nacional de Colombia, en la cual se tienen algunos trabajos como antecedentes (Pérez, 2003).

Adicionalmente se busca aportar un concepto y sugerencia de los beneficios que se traerían al implementar en la red del campus sistemas de control y adquisición de datos del tipo SCADA junto con válvulas automatizadas de regulación de presión que suministren información en tiempo real del comportamiento que esta teniendo el fluido dentro de la ciudad universitaria, así como una operación más rápida y precisa ante los problemas que se puedan presentar, logrando con esto un mayor manejo y optimización del recurso y una disminución en el **IANC** (Índice de Agua No Contabilizada), lo que contribuirá a futuro, con una reducción en el consumo y por ende un descenso en la tarificación del mismo por parte de la empresa prestadora del servicio.

DESCRIPCIÓN DE LA RED DE SUMINISTRO DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA

Generalidades - La red de suministro de agua potable se acopla a la forma de la Ciudad Universitaria (*Ver Figura 1*), es una red que en la actualidad se clasifica y funciona como Ramificada Abierta (*Inicialmente era una Red Ramificada Cerrada*), constituida por una tubería principal que recorre el anillo vial en sentido Sur - Norte de la cual se derivan varias tuberías para conducir el agua a los edificios internos y externos al anillo vial.

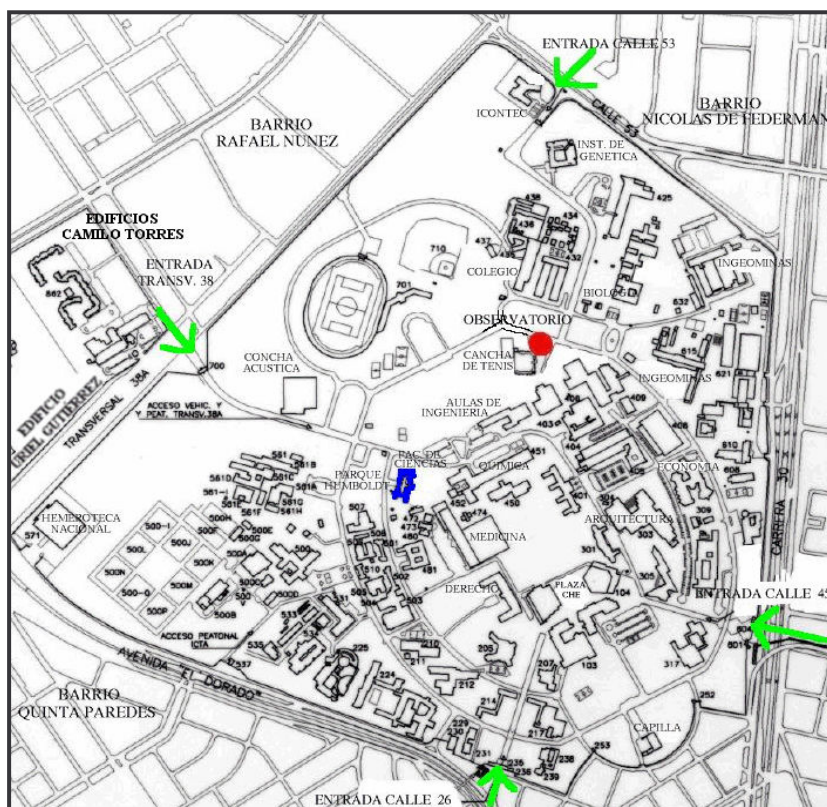


Figura 1. Ciudad Universitaria Actual.

Inicialmente el agua llega a la red de la ciudad por la entrada de la calle 26 en una tubería de 12" propiedad de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, que al entrar al campus se divide en dos, una de 6" y otra de 4", en donde a partir de 1999 existen los medidores totalizadores respectivos que hacen el constante registro del consumo de agua en la Ciudad Universitaria. De dichas acometidas, se ramifican tuberías en diámetros menores que llevan el agua a cada una de las edificaciones que componen la Ciudad Universitaria.

Gracias a la constante labor de medición, modernización y renovación de la red de la Universidad, el consumo en el campus universitario se ha venido reduciendo considerablemente (*Ver Figura 2*), antes del año 2000 la Universidad consumía en promedio 2500 m³/día, posteriormente se observa una zona con un promedio de 1000m³/día, hasta llegar al último consumo medido en el segundo semestre del 2003 que es de 870.10 m³/día, lo que se traduce en una reducción cercana al 65% del consumo, lo cual representa un ahorro considerable de dinero (*Ver Tabla1*).

A partir de esto se puede establecer que para una población de 30.211 estudiantes y un consumo de 870.10m³/día se obtiene una dotación promedio de 28.8 L/ estudiante.-día, valor que es muy inferior al que establecen las Normas de Diseño RAS – 2000 y las de E.A.A.B. (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá), las cuales tiene como parámetro de diseño una dotación de 50 L/ estudiante-día para centros universitarios. Dato que genera un

gran incentivo por seguir invirtiendo recursos en la red de suministro del campus universitario encaminándola hacia una completa automatización y uso racional del agua.

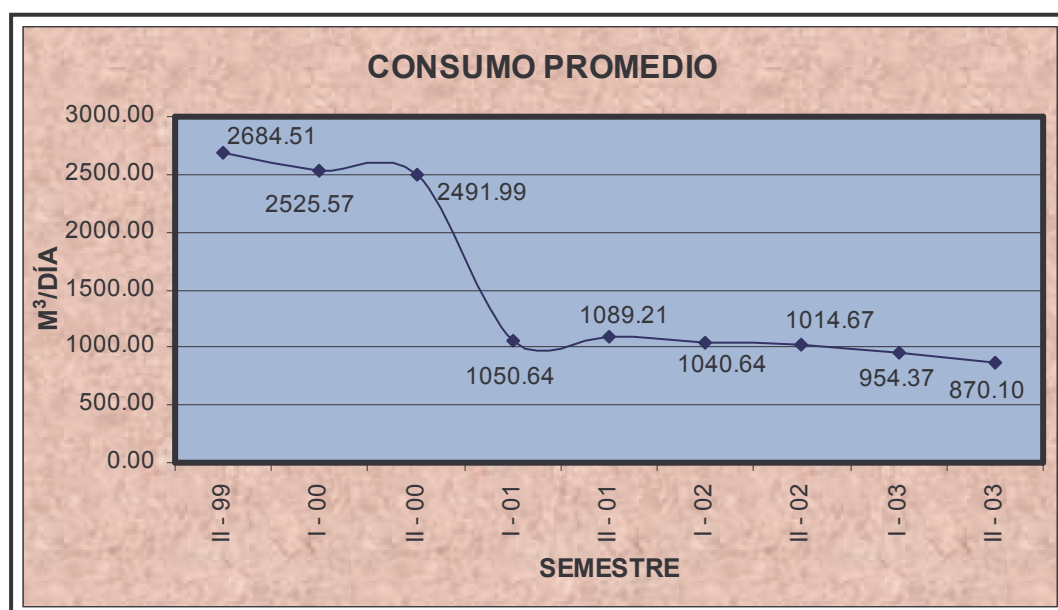


Figura 2. Consumo Promedio de Agua en la Ciudad Universitaria.

Tabla 1. Consumo y Valor Facturado por la E.A.A.B. para la Universidad Nacional.

AÑOS	METROS CÚBICOS (M³)	PESOS COLOMBIANOS (\$)
2000	763,239	1,458,474,860
2001	461,883	881,714,920
2002	382,093	929,558,240
2003	294,189	939,577,320

Materiales Que Conforman La Red De Suministro – A lo largo de sus 11.225 metros de longitud se encuentran 4 materiales: Hierro Fundido (HF), Hierro Galvanizado (HG), Asbesto Cemento (AC) y Policloruro de Vinilo (PVC). En los últimos años se ha venido cambiando toda la red a PVC teniendo en cuenta las ventajas que ofrece este material en cuanto a sanidad, salubridad y funcionamiento hidráulico (menor fricción); sin embargo todavía existen tramos de la red en materiales diferentes que se pretenden reemplazar a mediano plazo. En la Figura 3 se muestra una distribución porcentual de estos materiales en la totalidad de la red de suministro a fecha de Junio de 2.004.

Tipos De Suministro A Las Edificaciones - Actualmente la Ciudad Universitaria cuenta con un total de 109 edificaciones las cuales tienen diferentes usos como: aulas, laboratorios, oficinas, bibliotecas, centros de investigación, cafeterías, entre otros, todos ellos con consumos de agua diferentes pero característicos. Razón por la cual cada edificación adopta un sistema de suministro para satisfacer los requerimientos de caudal y presión impuestos por los diferentes aparatos hidráulicos con que cuenta y su localización al interior de la misma.

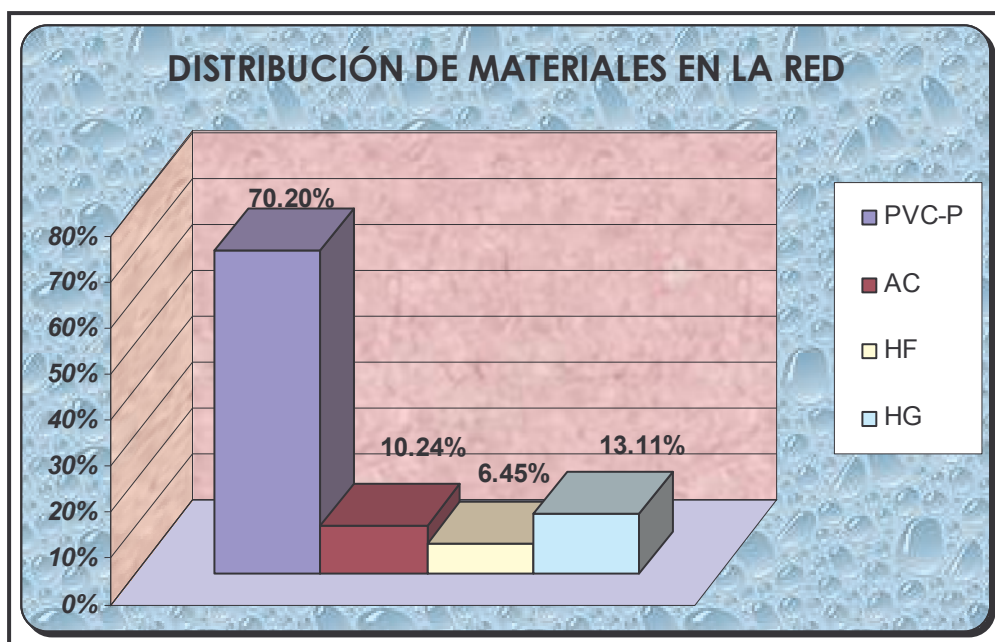


Figura 3. Distribución porcentual de los materiales en la Red de Suministro.

Los tipos de suministro existentes en la Red de Suministro son (Ver Figura 4): **A** = Suministro por Tanque Alto, **B** = Suministro por Tanque Bajo y Sistema de Bombeo, **C** = Suministro por Tanque Alto, Bajo y Sistema de Bombeo, **D** = Suministro con la presión directamente de la red, **R** = Instalaciones que utilizan el Reservorio, **OR** = Edificaciones dentro del campo universitario que se alimentan de una red externa, **OI** = Obra Inconclusa (Edificaciones en Construcción).

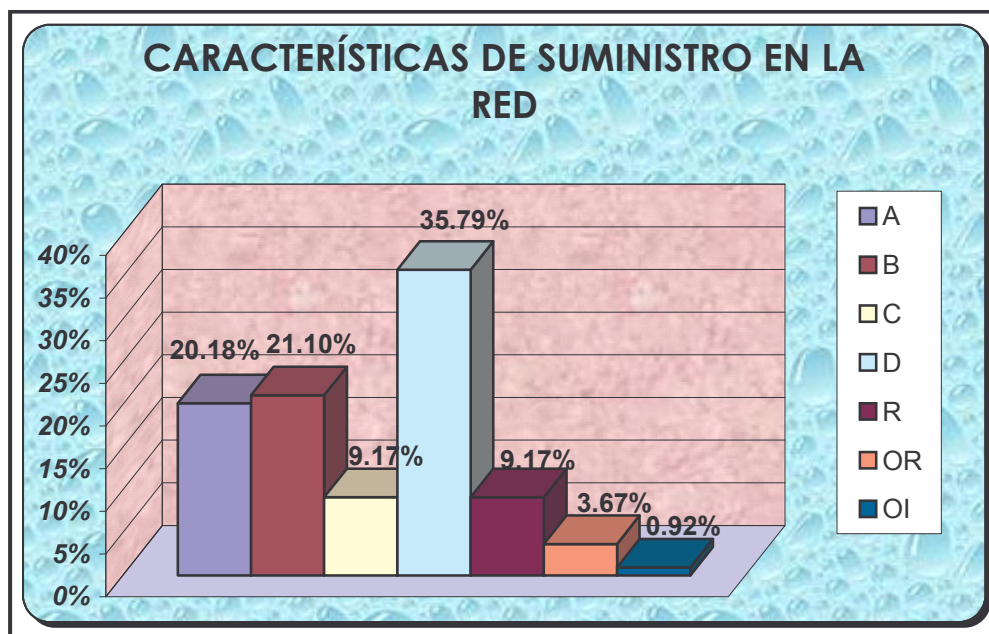


Figura 4. Distribución Porcentual por Tipo de Suministro.

SISTEMAS DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

Aunque la variedad de este tipo de productos y tecnologías es muy variada en el mercado internacional, solo se hará una pequeña síntesis de algunos de estos, en especial los que se recomiendan para que sean implementados en la red de suministro de la Ciudad Universitaria, de acuerdo a las necesidades que se observaron durante el desarrollo del proyecto.

Válvulas - En un sistema de abastecimiento de agua es muy importante mantener una óptima maniobra de operación a cualquier hora del día, es por ello que adicionalmente de las estructuras que se idealicen para cumplir con este cometido durante el recorrido que hace la red, es necesaria la implementación de algunos aditamentos especiales o sistemas de control como las válvulas, quienes son las encargadas de proteger el sistema, asegurando su buen desempeño y manteniendo un abastecimiento continuó para todo el sector demandante del recurso. A continuación se hace una clasificación y descripción un poco sintetizada del tipo de válvulas, tanto convencionales (*Ver Figura 5.*), como las de función especial o de diafragma (*Ver Figura 6*), necesarias en un sistema de abastecimiento de agua.

- Convencionales (Greene, 1992): Válvula Tipo Compuerta, Válvula De Globo, Válvula Mariposa, Válvula De Retención (Cheque), Válvula De Bola.
- De Diafragma (Bermad, 2000): Válvula de Control Eléctrico, Válvulas Reductoras de Presión, Válvulas Reductoras & Sostenedoras de Presión, Válvulas Sostenedoras & De Alivio de Presión, Válvulas Anticipadoras de Onda, Válvula de Control de Bomba, ,Válvulas de Flotador, Válvulas Reguladoras de Caudal, Válvulas de Control de Altitud.



Figura 5. Válvula Mariposa.



Figura 6. Válvula Limitadora de Caudal.

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) - SCADA viene de las siglas de "Supervisory Control And Data Acquisition", es decir: Adquisición de Datos y Control de Supervisión. Se trata de una aplicación software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Además, provee de toda la información

que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores dentro de la empresa: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

En este tipo de sistemas usualmente existe un ordenador, que efectúa tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamiento de datos y control de procesos. La comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

Los programas necesarios, y en su caso el hardware adicional que se necesite, se denomina en general sistema SCADA. Los sistemas SCADA están primordialmente conformado por cinco componentes: una computadora maestra, una terminal remota (RTU), periféricos para la comunicación (PLC), software de aplicación y transductores. Siendo este último un componente adicional dependiendo de las necesidades de medición que se tengan.

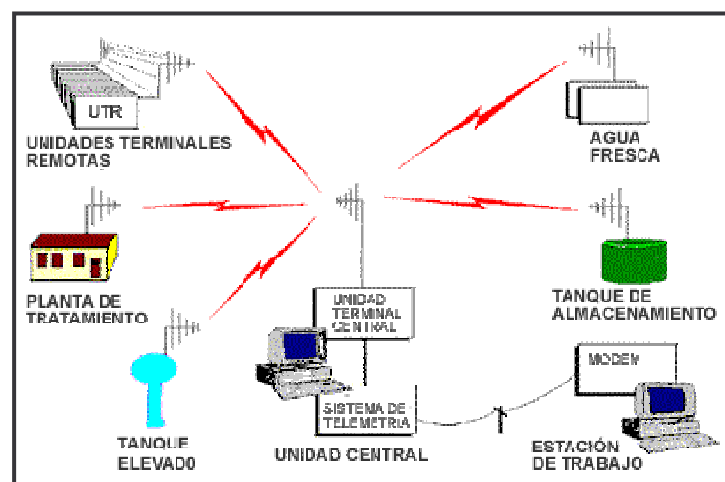
La conectividad entre sitios SCADA puede realizarse mediante fibra óptica, microondas, cable telefónico, etc. (Ver Figura 7) Y el protocolo de datos que utilizan está basado en los estándares internacionales de la materia (OSI).

- Prestaciones

Un paquete SCADA debe estar en disposición de ofrecer las siguientes prestaciones:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de historiales de los datos que se recopilan para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso anular o modificar las tareas asociadas a la automática (RTU), bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador.

Con ellas, se pueden desarrollar aplicaciones para ordenadores (tipo PC, por ejemplo), con captura de datos, análisis de señales, presentaciones en pantalla, envío de resultados a disco e impresora, etc. Además, todas estas acciones se llevan a cabo mediante un paquete de funciones que incluye zonas de programación en un lenguaje de uso general (como C, C++, Java, Pascal, o Basic), lo cual confiere una potencia muy elevada y una gran versatilidad..



- Requisitos

Un SCADA debe cumplir varios objetivos para que su instalación sea perfectamente aprovechada:

- Deben ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes del proyecto.
- Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente el usuario con el servidor central y el resto de la empresa (redes locales y de gestión).
- Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables con el usuario.

- Módulos de un SCADA

Los módulos o bloques software que permiten las actividades de adquisición, supervisión y control son los siguientes:

- Configuración: permite al usuario definir el entorno de trabajo de su SCADA, adaptándolo a la aplicación particular que se desea desarrollar.
- Interfaz gráfico del operador: proporciona al operador las funciones de control y supervisión del proyecto. El proceso se representa mediante sinópticos gráficos almacenados en el ordenador de proceso y generados desde el editor incorporado en el SCADA o importados desde otra aplicación durante la configuración del paquete.
- Módulo de proceso: ejecuta las acciones de mando preprogramadas a partir de los valores actuales de variables leídas.
- Gestión y archivo de datos: se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- Comunicaciones: se encarga de la transferencia de información entre el proyecto y la arquitectura hardware que soporta el SCADA, y entre ésta y el resto de elementos informáticos de gestión.

Unidades Terminales Remotas (RTU) - Las Unidades Terminales Remotas (RTU) ofrecen la mejor opción integrada en adquisición, almacenamiento, control y comunicaciones en sitio, permitiendo capacidad de trabajo independiente del servidor central; cuando se necesite comunicación conmutada, es decir, comunicación no dedicada, o si se requiere de forma permanente.

Estos equipos poseen autonomía de control de tal forma que se puede programar en diversos puntos de ajuste (setpoints), que le permiten realizar maniobras a través de sus salidas digitales.

- Las características destacadas de este tipo de unidades son las siguientes:
- Registro en memoria no volátil (No existen conflictos)
- Modular y compacto
- Control y programación sencilla
- Transmisión por equipo celular/ radio/ satélite
- Amplia cobertura

La unidad cuenta con programas de cálculos sobre las variables de entrada como umbrales de máxima y mínima ya sean en los datos adquiridos como en la variación de los mismos, promediación, obtención de máximos y mínimos. La configuración de umbrales de Alta y de Baja, tiempos de medición y registro y los valores de escalado se realiza independientemente para cada entrada. Adicionalmente posee registro espontáneo de eventos ante situaciones de anomalía. Opcionalmente pueden proveerse programas de operación adecuados a cada necesidad específica, solicitados por el usuario.

Estos equipos necesitan de un Protocolo de Entrada de datos, que se implementa en el Puerto Serie de Comunicaciones, el cual dependerá de la casa de fabricación de la terminal, entre los mas usuales se encuentran el "Modbus" de los fabricantes Tecmes de Argentina, las RTU Piccolo de Motorola (*Ver Figura 8*) que trabajan conjunto con un PLC llamado MOSCAD (*Ver Figura 9*).

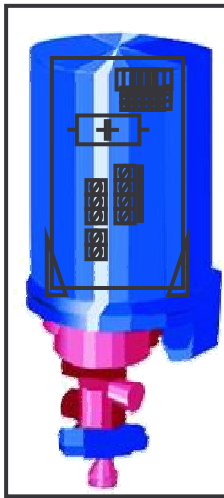


Figura 8. RTU Piccolo de Motorola.

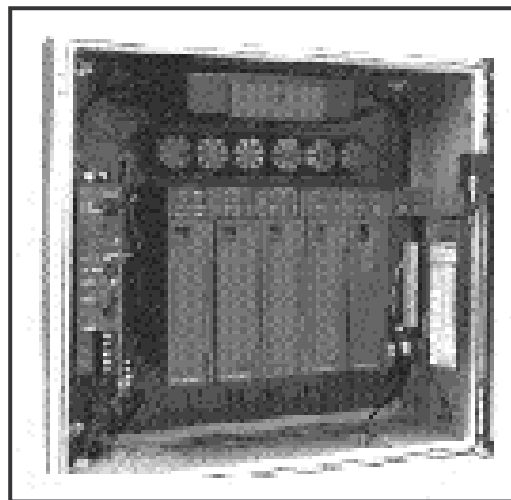


Figura 9. MOSCAD.

Controlador Lógico Programable (PLC) - Los controladores lógicos programables (PLC), en la mayoría de los casos, están diseñados específicamente para ser empleados en ambientes industriales exigentes y han sido continuamente desarrollados de forma que sus sistemas operativos en tiempo real representan su mayor virtud. Ellos son y seguirán siendo, no obstante, la primera elección para todo control de tareas críticas o extremas por su rendimiento y simpleza, en los que un PC podría estar simplemente "sobrecargado" debido al trabajo que le pueden suponer otras tareas de ámbito común, como la gestión y visualización de datos, accesos a periféricos, bases de datos, etc.

El hecho es que las tareas automatizadas de control, visualización y computación pueden ser efectuadas por PLCs (conectados en red mediante los módulos adecuados) mejor que con sistemas exclusivos de control basados en PC (Computadores Personales). Lo que finalmente es práctico, no obstante, depende de un gran número de factores y la mayoría deben ser considerados individualmente para cada proyecto de automatización.

Un ejemplo de ellos es el MOSCAD, el cual es un controlador programable lógicamente (PLC), capaz de funcionar como una unidad terminal remota (RTU) y conformar un sistema de comunicación. Sus capacidades únicas lo convierten en una buena solución para sistemas SCADA.

Los equipos Motorola para transmisión de datos fijos están diseñados para los requerimientos especiales de los sistemas de transmisión de datos estacionarios (SCADA) y

proporcionan dos funcionalidades; una de ser un terminal remoto (RTU) y la otra de poder ser programables lógicamente mediante un controlador (PLC).

Medidores Con Tecnología AMR - Los sistemas de energía fueron los pioneros en el tema de lectura remota de medidores. Con el tiempo, los demás servicios públicos han acogido la tecnología AMR (Automatic Meter Reading). Este sistema se implementa para el caso en que se requiere disponer de la información a distancias mayores, en tiempo real y posiblemente no solamente de un medidor sino de varios de ellos, por ello, se hace necesario la implementación de un sistema de red informática en donde la información capturada de cada uno de los medidores debe estar en forma digital.

Las ventajas que ofrece este sistema tanto para usuarios como para las empresas prestadoras del servicio de acueducto consisten en:

- La lectura es rápida y evita errores de apreciación.
- Los datos siempre están disponibles en forma legible tanto para el usuario como para la empresa.
- Se obtienen datos estadísticos de consumo en intervalos cortos de tiempo y se pueden utilizar como base para la optimización de la red.
- Una lectura remota ahorra gastos de personal, evita la entrada innecesaria en la esfera privada de los habitantes y permite montar los medidores en los lugares que son de difícil acceso.

Una de las tecnologías AMR más comunes es la M – BUS (*Ver Figura 10*), la cual es una estandarización europea en la codificación digital de la información para permitir la lectura remota de medidores de uso general como pueden ser medidores de energía, gas o agua, entregando la lectura de cada uno de ellos a una central o amo común; presenta múltiples beneficios como son: (a) A través de un solo cable duplex se transmite información de muchos medidores, (b) Cada medidor tiene su propia dirección dentro de la red, lo que hace inconfundible el medidor del cual proceden ciertos-datos, (c) Velocidad aceptable de transmisión, (d) Posibilidad de extender la red, (e) Costo de implementación mínimo.

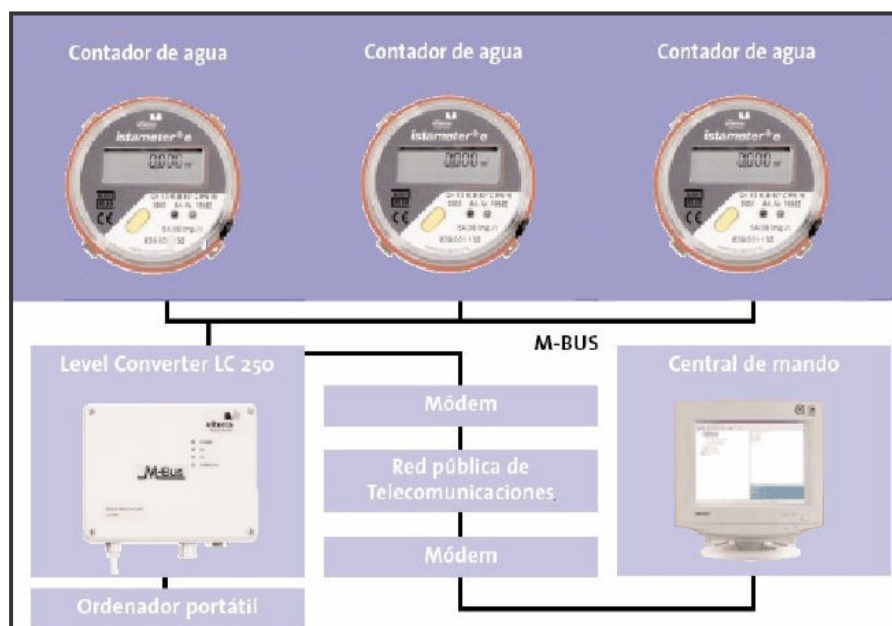


Figura 10. Sistema M-BUS.

MODELACIÓN DE LA RED DE SUMINISTRO CON EPANET

Después de lograr recopilar toda la información existente de la red de suministro de la ciudad universitaria y de establecer los parámetros necesarios para realizar su correcta modelación en el programa EPANET, se procedió a realizar diversas modelaciones de la red tanto en condiciones de flujo permanente, como en condiciones dinámicas de consumo durante un intervalo de 11 horas, acorde a las curvas de consumo que se obtuvieron en el desarrollo del trabajo de grado (Pérez, 2003).

De esta manera se lograron establecer los lugares y horas críticas de consumo y presión, así como las necesidades que se tienen en cuanto a la implementación de válvulas que controlen o regulen la presión y el caudal en cada una de las edificaciones y de la implementación de un sistema SCADA que brinde una completa supervisión, control y automatización de la red de la universidad.

Debe ser claro que esto es tan solo una primera aproximación a la verdadera solución con el sistema automatizado, puesto que después de implementado, se deberá tener en funcionamiento y calibración durante mínimo un semestre de clases para establecer el comportamiento real de las variables día a día y minuto a minuto; posteriormente se procederá a realizar las modificaciones correspondientes en los equipos de control y medición en aras de optimizar el desempeño de la red de suministro en cada una de las edificaciones y del sistema SCADA como tal.

Modelación En Flujo Permanente - Para lograr hacer un primer análisis del comportamiento de la red de suministro del campus universitario, se procede a realizar su modelación teniendo en cuenta solo las demandas bases de cada edificación sin la variación del consumo temporal a lo largo del día, es decir se realiza una modelación en estado de flujo permanente (*Ver Figura 11, 12 y 13*).

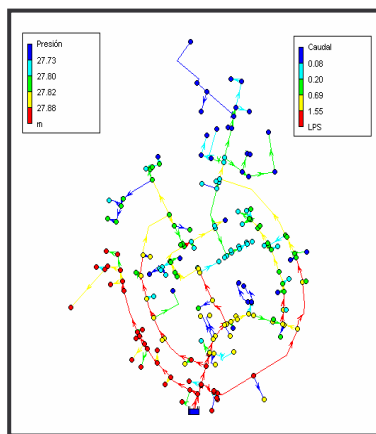
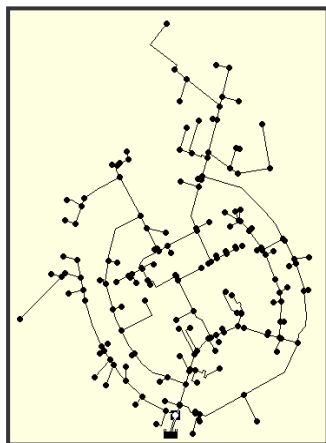


Figura 11. Esquema de la Red montada

Figura 12. Resultados de Presión y Caudal

En general se puede decir que la red posee unas muy buenas condiciones de presión en todos los puntos de la red, pues como bien es conocido la presión mínima que se requiere en una edificación según la normatividad del RAS – 2000 es de 15 m.c.a, valor que es superado por todos los puntos de la red. Además, la variación de presión entre el punto con mejor presión y el de menor presión es de tan solo 7 m.c.a., lo cual representa un valor muy pequeño para una red con más de 10 km. de tubería y con un caudal circulante mayor a los 15LPS. Sin embargo existen problemas en la red, puesto que cuando se hace una modelación con curvas de consumo se observan caídas de presión y problemas de abastecimiento en algunas

edificaciones a ciertas horas del día, tal y como se constata con registros históricos de la Universidad.

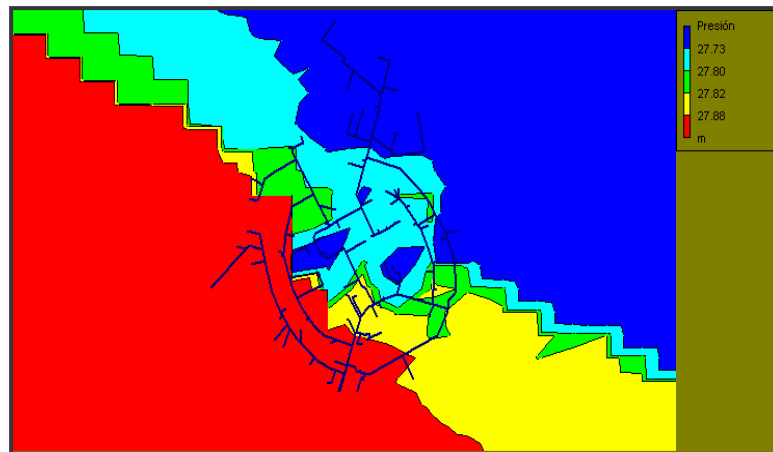


Figura 13. Mapa de Isobaras (Líneas de igual presión).

Modelación Con Las Curvas De Consumo - Con base a la modelación de la red en condiciones de Flujo Permanente, se procedió a realizar una evaluación de su comportamiento dinámico durante el transcurso de la semana, más precisamente de Lunes a Viernes y a lo largo del día, explícitamente en el horario comprendido entre las 8:00 AM y las 7:00 PM, al incluir las curvas de consumo (*Ver Figura 14*). De esta manera se tendrá una plataforma muy sólida que permita experimentar diversos sistemas de control como las válvulas reguladoras de presión o limitadoras de caudal, que generen una optimización del consumo en la red y con ello un Uso Racional del Agua, además de conducir a la red para que opere en condiciones mas homogéneas en cuanto a distribución de presiones se refiere.

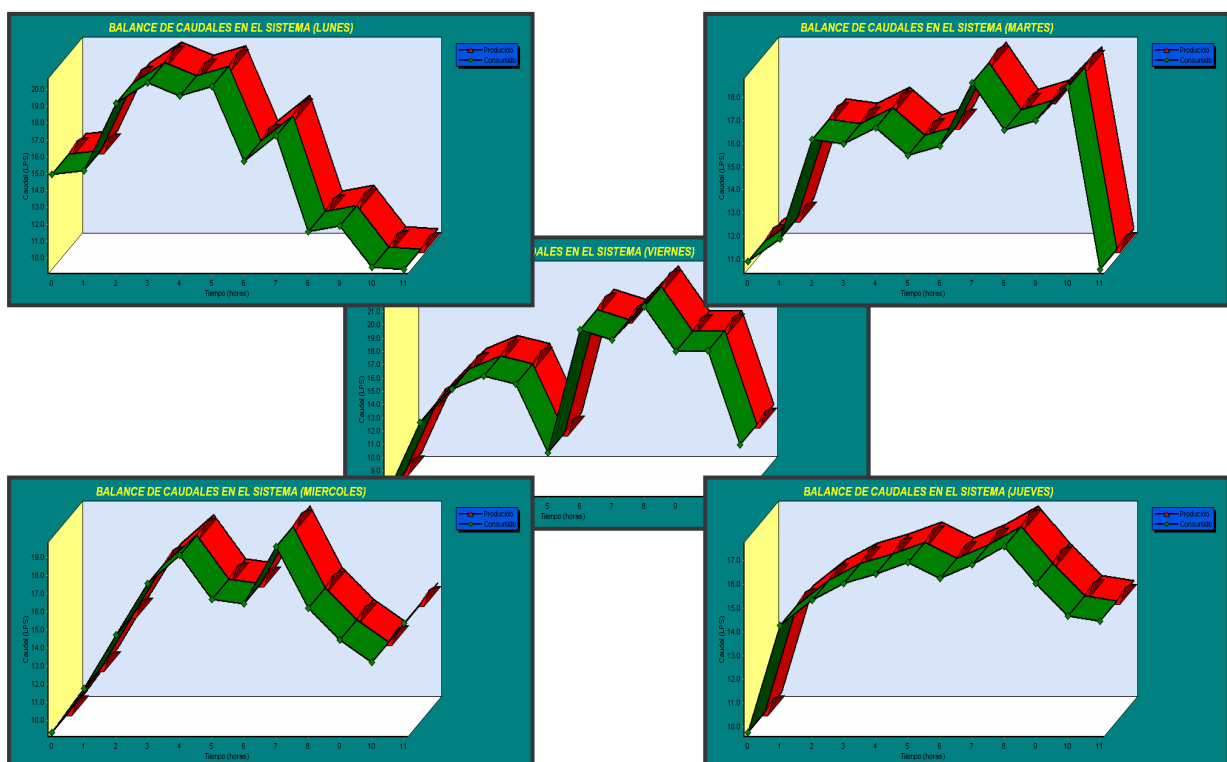


Figura 14. Curvas de Consumo utilizadas en la modelación para los días entre semana.

Con esta modelación se logró establecer las horas con mayor y menor consumo, así como el caudal que se conduce a través de la acometida de 4" y por la de 6" (*Ver Tabla 2 y 3*)

Tabla 2. Consumos Máximos de la Semana.

CONSUMOS MÁXIMOS							
DÍA	HORA	Q - 4" (LPS)	% Q. TOTAL	Q - 6" (LPS)	% Q. TOTAL	Q. TOTAL	% Q. BASE
Lunes	01:00 p.m.	7.429	36.81%	12.755	63.19%	20.184	131.37%
Martes	06:00 p.m.	6.698	36.29%	11.759	63.71%	18.457	120.13%
Mcoles.	04:00 p.m.	5.678	35.04%	10.528	64.96%	16.206	105.48%
Jueves	04:00 p.m.	5.960	33.88%	11.634	66.12%	17.594	114.51%
Viernes	04:00 p.m.	7.310	34.18%	14.078	65.82%	21.388	139.21%

Tabla 3. Consumos Mínimos de la Semana.

CONSUMOS MÍNIMOS							
DÍA	HORA	Q - 4" (LPS)	% Q. TOTAL	Q - 6" (LPS)	% Q. TOTAL	Q. TOTAL	% Q. BASE
Lunes	07:00 p.m.	3.429	36.85%	5.877	63.15%	9.306	60.57%
Martes	07:00 p.m.	3.838	36.35%	6.721	63.65%	10.559	68.73%
Mcoles.	08:00 a.m.	3.331	35.74%	5.99	64.26%	9.321	60.67%
Jueves	08:00 a.m.	3.459	35.46%	6.295	64.54%	9.754	63.49%
Viernes	08:00 a.m.	2.485	33.71%	4.887	66.29%	7.372	47.98%

Propuesta Final - Después de contar con una aproximación un poco más precisa del comportamiento espacio temporal de la red, se procedió a realizar diversas modelaciones y variaciones en donde el factor principal a modificar era la ubicación y el tipo de válvula de control automatizada que se debería implementar.

Finalmente se llegó a la conclusión de que en las edificaciones donde se presenta un suministro con la presión directa de la red (40% de las edificaciones del campus), el consumo no estaba siendo controlado de ninguna manera, puesto que era dominado del todo por los usuarios en la edificación, es decir, desperdiciaban todo lo que querían haciendo uso de la buena presión que se presentaba a determinadas horas del día y por ende generaban una reducción de presión en las edificaciones vecinas, llegando en algunos casos a producir desabastecimiento. Por ello se pensó que a estas edificaciones era necesario lograrlas adaptar

a las condiciones de presión que les diera una red controlada y automatizada, más precisamente a las condiciones hidráulicas que se presentan en el flujo a través de un orificio restrictor (Ecuación 1). Para lograr análogamente dicho orificio fue necesario colocar una válvula que regulara la presión de acuerdo a las condiciones de consumo que se presentaran y se requirieran tanto en la edificación en la que operaba como en las edificaciones vecinas, sin influir esto en un desabastecimiento en algún momento determinado.

$$Q = K (P)^{0.5} \quad (1)$$

Donde:

Q (Caudal), K (Constante dada por el fabricante), P (Presión)

Adicionalmente se concluyó que inmediatamente antes de las acometidas de las edificaciones fuese cual fuese su tipo de suministro se debería colocar una válvula de regulación de presión, que haría sus veces de válvula de cierre, junto con una RTU Piccolo de Motorola que sería constantemente monitoreada y cuyos datos se recopilarían y analizarían en una estación de control en donde se debería ubicar un PLC del tipo MOSCAD, para ello fue muy útil la ayuda y colaboración prestada por las diferentes empresas del sector por explicar las ventajas y desventajas de los diferentes SCADA que se encuentran en el mercado, junto con las cotizaciones que fueron enviadas, en donde se eligió como más viable y económica la que trabaja con el sistema de **Control Dinámico de Presiones** de la empresa SCADA & TECNOLOGÍA LTDA.

Los resultados hidráulicos obtenidos fueron en síntesis una homogenización de la presión en toda la red y por ende una regulación y control del consumo (*Ver Figura 15 y 16*).

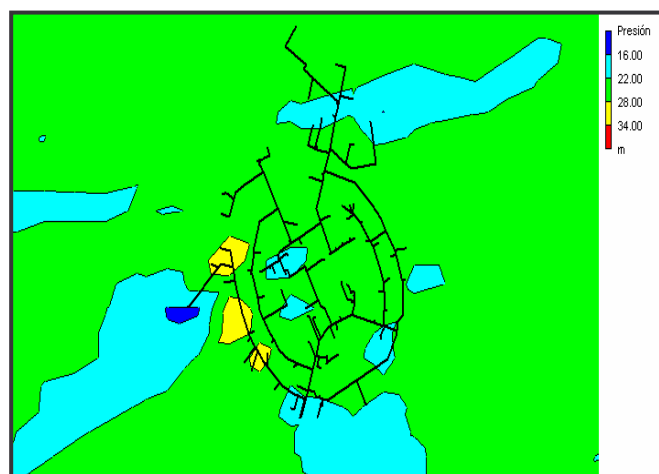
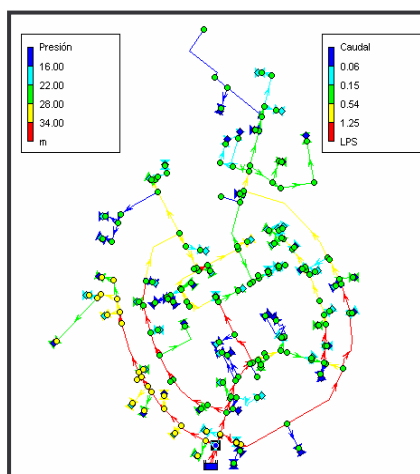


Figura 15. Resultados de Presión y Caudal

Figura 16. Mapa de Isobaras

CONCLUSIONES

Más a nivel de recomendación que de conclusión es claro que la Red de Suministro de Agua de la Universidad Nacional de Colombia debe operar como una red del tipo cerrada, tanto para generar un mejor funcionamiento hidráulico de las instalaciones como para contar con alternativas de abastecimiento en las edificaciones que se encuentran ubicadas en el ramal que inicia en la acometida de 4". Actualmente se encuentran independizadas y al momento de hacerse una reparación en el sistema todos los edificios ubicados sobre esta línea se deben desabastecer del fluido.

Es importante que el sistema que se instale cuente con el medidor y con la válvula reguladora de presión para cada una de las edificaciones, ya que esto permitirá un control del consumo de cada edificación y la posibilidad de detectar fugas; con lo que es posible cuantificar las pérdidas de agua por daños que se encuentren presentes en la red de suministro, adicionalmente se permite independizar la edificación en caso tal que se requiera hacer algún tipo de operación de mantenimiento o control.

Cuando se vaya a implementar el sistema **SCADA** en la Universidad según la modelación y las necesidades evidenciadas se recomienda uno del tipo **Motorola**, es decir, un sistema con **Control Dinámico de Presiones**, con RTU Piccolo y con un PLC MOSCAD, junto con medidores emisores de pulsos y válvulas de regulación de presión y caudal cuya información será transmitida a través de un cable que irá enterrado paralelo a la red.

Adicionalmente es estrictamente necesario que este sistema sea sometido a un proceso de entrenamiento y calibración por un tiempo prudente de por lo menos un semestre. Este semestre denominado “*Semestre Tipo*”, servirá como modelo para ir realizándole ajustes a la red en cuanto a las presiones que se presentan en las diferentes edificaciones de la universidad, producto de los nuevos patrones de consumo que se van generando en el campus universitario. Estos ajustes se realizan en el software del **MOSCAD** teniendo como referencia los valores obtenidos de la modelación realizada. Es decir, que se requiere hacer una modelación a futuro después de implementado el sistema en donde se tengan en cuenta los nuevos valores de consumo registrados por el sistema y las curvas de comportamiento para cada edificación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bermad (2000), Catálogo Interactivo CD – ROM, Versión 2.3D, Bogotá – Colombia, 2000.
- Epanet, Versión 2.0., Construcción 2.00.10 en español, “*Programa para el análisis de redes*”, Grupo Multidisciplinar de Mecánica de Fluidos, Universidad Politécnica de Valencia, España, Grupo REDHISP, Grupo Aguas de Valencia. URL: << www.redhisp.upv.es >>.
- Greene, Richard W. (1992), “*Válvulas: selección, uso y mantenimiento*”. Editorial McGraw - Hill. México, 1992.
- Ministerio de Desarrollo Económico (2000), Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, “*Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000*”, Título B. Páginas B141 - B142, Noviembre de 2000.
- Pérez R., Edison; Castillo R., Yovanny (2003), “*Estudio para el uso racional de agua en la ciudad universitaria mediante la implementación de un sistema de medición*”, Proyecto de grado, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Unidad de Hidráulica, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., 2003.
- Scada & Tecnología Ltda. (2004), “*Propuesta Técnico Económica para la lectura remota AMR de medidores de agua y control dinámico de presiones en la red de suministro de la ciudad universitaria*”, Noviembre 22 de 2004.
- Zuluaga S., Andrés; Ñustes V., Johanna (2004), “*Evaluación de sistemas de control para la red de suministro de agua en la ciudad universitaria*”, Proyecto de grado, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Unidad de Hidráulica, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., 2004.

