

Comparación y diseño de acueducto con el método tradicional y modelos digitales en el Resguardo Nazaret de la comunidad tikuna del Amazonas¹

RESUMEN

Se presenta el diseño de una red de distribución de agua potable (RDAP) a través del método de Hardy Cross. Se modela y optimiza la red por medio de una herramienta digital denominada Epanet, la cual simula su comportamiento dinámico.

Palabras clave: Red de distribución, Hardy Cross, optimizar, RDAP, Epanet.

1. Introducción

Esta investigación surge de la necesidad que tienen los seres humanos de obtener agua potable, líquido indispensable para la subsistencia de la humanidad. Actualmente, en el mundo más de mil millones de habitantes no cuentan con agua potable y más de dos millones de personas, especialmente niños, mueren por enfermedades causadas por beber agua contaminada. En Colombia, el agua es abundante, pues representa el 5% del volumen total mundial. Sin embargo, este recurso no cuenta con una distribución uniforme en nuestro territorio. Las costas tienen una precipitación 16 veces menor que la de las cordilleras y casi 100 veces menor en comparación con la de la selva. El 98% del agua disponible en el país se encuentra en la región amazónica. En el Amazonas la mayoría de la población es indígena, de diversas comunidades, entre ellas, se distinguen las nukak, aún nómadas, y las uitoto, yagua, tucano, tikuna, camsá e inga. La ausencia del gobierno en esta región ha provocado su abandono, al no suministrar los servicios de primera necesidad, lo que causa el deterioro en la calidad de vida.

La Constitución Política de Colombia, en el Artículo 365, dispone que los servicios públicos son inherentes a la finalidad social del Estado y que es su deber asegurar la prestación eficiente de este servicio a todos los habitantes del territorio nacional, lo cual no se cumple en este tipo de poblaciones. En el Resguardo Nazareth, de la comunidad tikuna, el aprovisionamiento de agua viene de la quebrada Pacotúa, de la recolección de aguas lluvias o del río

Autores

Yeison Andrés Ávila Sánchez²

Juan Sebastián de Plaza Solórzano³

Director

Fernando González Casas⁴

1 Proyecto curricular de Tecnología en Construcciones Civiles.

2 Tecnólogo en Construcciones Civiles, correo electrónico: yaas14@gmail.com

3 Tecnólogo en Construcciones Civiles, correo electrónico: jusedepla@hotmail.com

4 Ingeniero Civil, docente Facultad Tecnológica Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Amazonas. Las anteriores fuentes hídricas carecen de tratamientos físico-químicos que permitan el consumo humano, lo que conlleva que la población posea una alta probabilidad de adquirir enfermedades gastrointestinales, especialmente en la población infantil. Hace algunos años, la comunidad de Nazareth contaba con un sistema de acueducto que permitía la explotación y distribución de agua subterránea, por este sistema se encuentra actualmente abandonado, ya que la comunidad no recibió capacitación o divulgación acerca de los beneficios que trae un proyecto de saneamiento básico.

2. Resguardo indígena Nazareth

El Resguardo se encuentra ubicado al sur de la Amazonía, en la rivera de la quebrada Pacotúa, zona de influencia de Leticia. El caserío se halla a 15 kilómetros del casco urbano de Leticia, aguas arriba del río Amazonas; y la comunicación de Nazareth con Leticia se hace por río o por la región selvática. Se extiende por un área de 25 hectáreas y cuenta con un puerto, un salón comunal, espacios deportivos, un puesto de salud, una escuela, un internado, un jardín comunitario, un cementerio y una capilla católica. Sus calles están construidas en concreto.

La estructura social y política de esta población está en cabeza del *curaca* y del vice *curaca*, elegidos por la comunidad para períodos de un año. La estructura básica de la organización social se mantiene y se identifica por medio de clanes; es importante resaltar que cada familia es responsable de su propio sustento, y para esto una gran parte de las familias tienen su chagra donde cultivan diferentes productos. Una parte de estos productos se utilizan para el consumo familiar y la otra se intercambia por aceite, sal o azúcar.

El clima en el área amazónica se caracteriza por una precipitación pluvial total promedio anual en toda la región cercana a 2.500 mm, con una temperatura media mensual que fluctúa entre 24 y 27 °C. La humedad relativa del aire es mayor del 75%. La selva amazónica constituye un 56% de los bosques húmedos tropicales de la tierra, y esto explica que en la Amazonía colombiana abundan los recursos hídricos.

3. Diseño de la red de acueducto con el método tradicional

Los sistemas convencionales de acueducto están conformados por estructuras hidráulicas que permiten la captación (bocatoma), el tratamiento (plantas de tratamiento de agua potable), la conducción, el almacenamiento (tanque alto) y la distribución (red de distribución) de agua hacia la comunidad.

Los diseños de acueductos deben cumplir con un mínimo de requerimientos, que dependen de las características económicas, sociales y políticas de la población beneficiada. El factor económico suele ser la principal característica a tener en cuenta, pues no es igual diseñar un acueducto para un casco urbano que para una vereda o caserío.

Para el caso de Nazareth, se optó por tomar el agua desde un pozo subterráneo ya existente, suprimiendo el uso de una bocatoma; el tratamiento del agua se realiza por medio de un filtro de vela, abandonando el uso de una planta de tratamiento de agua potable; el almacenamiento se hace por un tanque alto y la distribución por la RDAP. Las características anteriores permiten diseñar un sistema de acueducto de bajo costo, pero con un alto beneficio.

A continuación se describe el procedimiento realizado.

3.1 Proyección de la población

Con el fin de diseñar la estructura hidráulica necesaria para mejorar las condiciones actuales y futuras de la población, debe analizarse de forma concreta, entre otras cosas, el crecimiento de la comunidad; para esto se utilizaron censos realizados en el 2007, que estiman una población de 697 habitantes, es decir, una población con un nivel de complejidad bajo, según parámetros establecidos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000). Por medio de los diferentes métodos de cálculo de proyección de población especificados en la norma RAS-2000, se obtuvo como resultado 1.094 habitantes para

el año 2024, asumiendo este valor como la proyección de trabajo en nuestro proyecto.

3.2 Consumo

El consumo es el volumen de agua que utiliza una persona en un día (24 horas). Con este dato se establece el caudal de diseño de la red de distribución. Debe resaltarse que hay factores que afectan el consumo de agua, como, por ejemplo, la temperatura en las épocas del año y las diferentes pérdidas en los distintos tramos de la red. Los usos del agua en la comunidad tikuna se proyectaron para actividades de tipo doméstico, dando como resultado un consumo de 182 litros por habitante al día.

3.3 Caudales de diseño

El caudal de diseño es la cantidad apropiada de agua a distribuir, con la cual se garantiza el adecuado funcionamiento de la red hidráulica; deben tenerse en cuenta las necesidades futuras de la población. Los caudales de diseño para redes hidráulicas en Colombia son: caudal medio diario, caudal máximo diario y caudal máximo horario.

El caudal medio diario se mide en promedio durante 24 horas; se calcula en 2,30 lt/sg (litros por segundo). El caudal máximo diario es el producto entre el caudal medio diario y un coeficiente dado por el nivel de complejidad del sistema; se calcula en 2,99 lt/sg. El caudal máximo horario está dado por el producto entre el caudal máximo diario y un coeficiente dado por el tamaño de la red de distribución, este último es de 4,79 lt/sg.

3.4 Especificaciones de la bomba de succión

Teniendo en cuenta que la captación de agua es subterránea, se debe apropiarse una bomba de succión que transporte el agua desde el pozo hasta un tanque alto de almacenamiento, para su posterior distribución a la población. La usada en este caso es la electro-bomba lapicero Pedrollo 4SR75G-30, bomba que tiene un ren-

dimiento de 5 lt/seg, una altura manométrica de 50 m y una potencia de 3 caballos de fuerza. Es de aclarar que esta bomba cumple con los caudales mencionados anteriormente, a una altura de 20,75 m, desde el pozo hasta el tanque alto.

3.5 Diseño del tanque de almacenamiento

El consumo de agua en cualquier población no es constante, con picos bajos y altos durante 24 horas. Estos picos dependen de las costumbres y las actividades realizadas en el transcurso del día; por esta razón, se diseña un tanque que almacene el agua en las horas de menor consumo y tenga la reserva suficiente para abastecer en las horas de alta demanda. El tanque diseñado permite distribuir el agua por gravedad y garantizar la presión en todas las zonas de la red. Este tanque se encuentra ubicado a 12 metros de altura entre la solera y el nivel del terreno. Según los cálculos realizados, se opta por un tanque de base cuadrada de 7,1 m de lado, 2,8 m de altura, con una capacidad de almacenamiento de 141,148 m³.

3.6 Diseño de la red de distribución

La red de distribución es un conjunto de tuberías que deben suministrar agua a todos los puntos de la población. La ubicación de estas tuberías se hace de acuerdo con la distribución de las viviendas y las condiciones topográficas del terreno. El material utilizado para la red es el PVC, con un coeficiente de pérdidas de 0,0015 m usado en la ecuación de energía de Darcy-Weisbach, para un diámetro de la red de 2" (pulgadas). Con esto se permite cumplir inicialmente las condiciones establecidas en la norma RAS-2000, referente a la presión mínima requerida en el punto más lejano de la red de distribución. Es una red cerrada.

Luego se procede a identificar los nodos y las viviendas aledañas a cada uno, obteniendo el caudal requerido por nodo, que debe suplir la demanda de toda la comunidad. Para esto es necesario conocer la cantidad de predios y habitantes por predio aledaños a cada nodo. En este paso, se tuvo en cuenta el documento titulado

“Pueblo tikuna” de la ONG alemana Horizontes Colombianos, donde especifica que por predio habitan de 8 a 9 personas, dato que se usó para realizar dos diseños de redes, uno con los habitantes futuros (1.094 hab.) y otro con la población actual (697 hab.), con el fin de comparar y analizar los diferentes comportamientos, ventajas y desventajas entre los dos diseños.

3.6.1 Método de Hardy-Cross por corrección de caudales

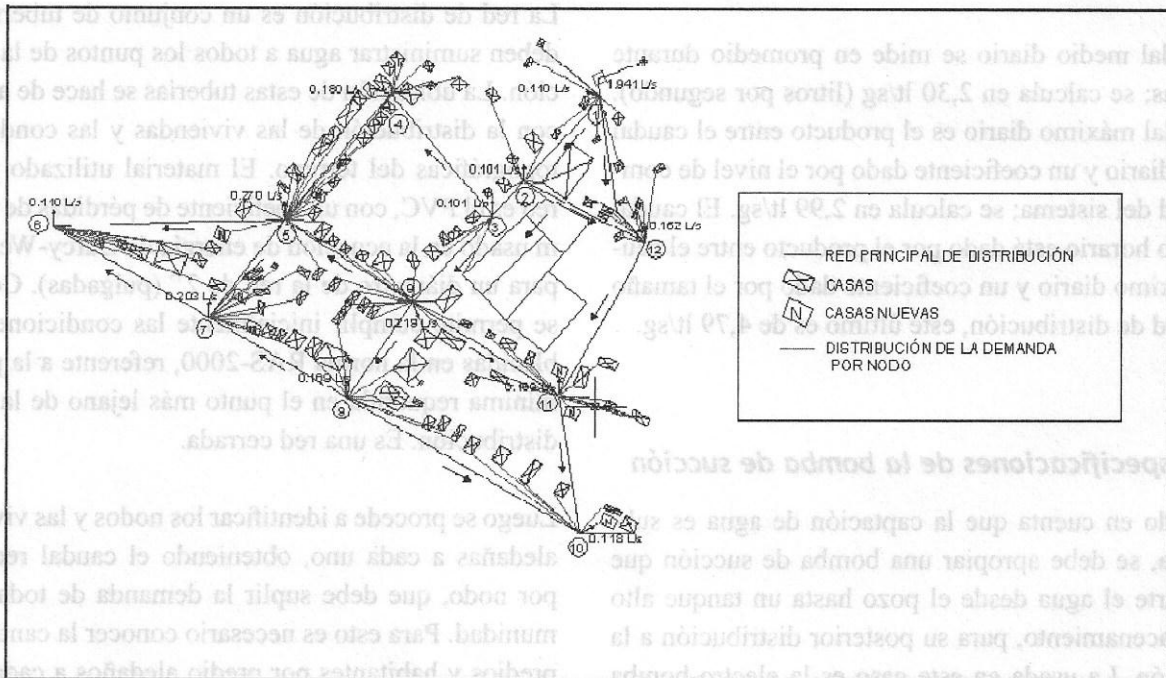
Este método se conoce desde 1936 gracias al ingeniero norteamericano Hardy Cross. El método supone unos caudales en cada una de las tuberías que componen la red y se van corrigiendo las que se tenían inicialmente. Para la solución se necesita conocer las características de la tubería, los caudales iniciales y los diámetros en toda la red; luego por medio de un proceso iterativo, se van corrigiendo los caudales de tal manera que el cierre de la malla no supere un valor límite de pérdidas en cada tramo de la red; al realizar este proceso iterativo,

se corrigieron los caudales en todos los tramos de la red; además, las pérdidas en cada tramo no superaron los 30 centímetros, cumpliendo la norma RAS-2000, pues permite pérdidas máximas de 100 centímetros en cada tramo. Es de aclarar que estos resultados se obtienen a partir de un comportamiento estático de la red de distribución, ya que toman solamente la red en un lapso de tiempo y en una sola circunstancia.

4. Purificación del agua a través del filtro de vela

Inicialmente se hizo referencia a la situación económica desfavorable de esta población, por lo que se decidió adoptar un sistema de purificación de agua casero, de fácil manejo y mantenimiento y al alcance de todos los habitantes del Resguardo Nazareth. En estas condiciones, la filtración con velas cerámicas ha probado ser la más efectiva, económica y de fácil implementación, además que permite obtener agua de excelente calidad.

Figura 1. Formato red de distribución.

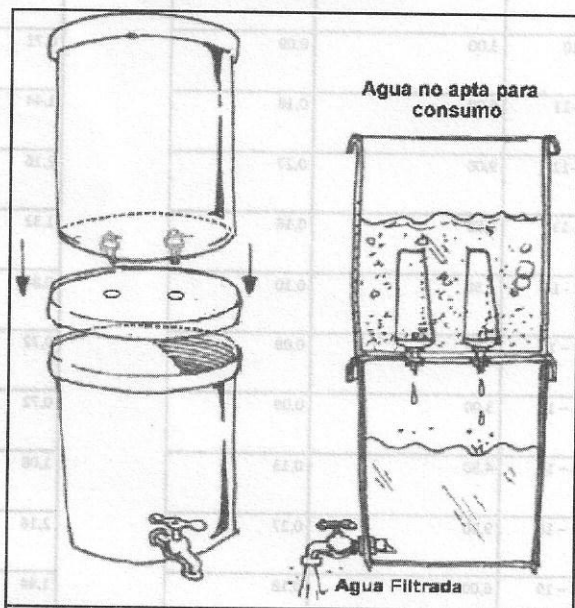


Fuente: El autor.

Para la construcción de los filtros se toman dos baldes de 20 litros con tapa, se pone un balde sobre la tapa del segundo, se hacen dos perforaciones en el fondo del primero y la tapa del segundo, de tal manera que coincidan perfectamente; se instalan dos velas cerámicas de 5, 7 o 9 pulgadas, después se procede a perforar un costado del primer balde para la instalación de una llave (Figura 2).

Al principio se debe desinfectar tanto los baldes como la llave instalada, se llena el balde con agua y una cucharada casera de cloro y se deja en reposo por lo menos dos horas; luego se desocupa y se instalan las velas, advirtiendo que la desinfección con las velas instaladas puede deteriorarlas. Se ensambla el filtro como paso final para iniciar la purificación del agua.

Figura 2. Filtros de vela.



Se debe tener en cuenta que, al pasar el tiempo, las velas tienden a obstruirse, por lo que se vuelve más lento el filtrado, hasta llegar al punto de dejar de funcionar, pues estas velas tienen una vida útil entre 8 y 12 meses, dependiendo del grado de turbiedad del agua que se filtra.

5. Simulación de la red de distribución por medio de Epanet

Anteriormente se habló de un comportamiento estático de la red de distribución de agua potable. En este punto se hace referencia a un comportamiento dinámico de la red, el cual simula su comportamiento a través de las horas y días, esto con el fin de conocer los lapsos de tiempo y los tramos donde existen dificultades para lograr alcanzar la presión mínima de servicio en el punto más lejano de la red.

5.1 ¿Qué es Epanet?

Epanet es un programa desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, Environmental Protection Agency), para el estudio y análisis del comportamiento de redes hidráulicas a presión. El análisis de estas redes se realiza mediante las ecuaciones de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach o Chécymanning, con el fin de calcular las pérdidas de altura piezométrica debido a la fricción; este programa se encuentra escrito en lenguaje C y puede correr en MS-DOS, Unix, Windows 95, Windows XP, este último, el más popular por su distribución y fácil manejo.

El programa ofrece la posibilidad de visualizar los resultados obtenidos, clasificándolos por colores, según los límites que el usuario establezca; puede visualizarse lo que ocurre en cada instante de tiempo, tanto en nodos como en tuberías, y permite observar el comportamiento real de la red de distribución de agua potable.

5.2 Epanet para el caso del Resguardo Nazareth

Al realizar el cálculo de caudales y presiones usando el método de Hardy Cross, se analizó la red en un solo instante, por lo que es necesario analizar el comportamiento de la red a través del tiempo; es posible entonces encontrar lapsos de tiempo en los cuales no se logre presiones mínimas exigidas por el reglamento vigente.

El programa exige datos mínimos de entrada: demandas en los nodos, patrones de consumo, topografía, longitud, diámetros y material de las tuberías de la red, altura de la solera del tanque de almacenamiento con respecto al terreno, accesorios en cada tramo y curva de prestación de la electrobomba.

5.2.1 Curva de modulación para el patrón de consumo y funcionamiento de la bomba

Al introducir los datos anteriores, Epanet arroja los caudales, presiones y velocidades en cada tramo de la tubería; teniendo esto, es necesario crear la curva de modulación de la bomba que se deriva de las horas en las que se encuentra encendida, en dos intervalos de tiempo de 4 horas cada uno (se supone) durante 24 horas, ubicados en los picos altos de consumo, que corresponden de las 3 a las 7 y de las 15 a las 19 horas. También se crea la curva de modulación para el patrón de consumo, la cual depende de las actividades que se llevan a cabo en 24 horas, teniendo como base las costumbres de esta población y un factor multiplicador que resulta de dividir el caudal medio diario (q.m.d.) asignado a cada hora entre, el resultado de la división entre el caudal medio diario y 24 horas.

5.2.2 Curva de comportamiento de la bomba

Luego se procede a crear la curva de comportamiento de la bomba, dependiendo de las especificaciones de la bomba de succión mencionada en el numeral 3.4, para lo cual únicamente se necesitan los valores de altura manométrica y caudal; al introducir estos datos obtenemos la curva faltante, y ya se puede proceder a simular el comportamiento de la red. Con todos los datos en el programa, se simula el comportamiento de la red con 920 y 1.094 habitantes.

5.2.3 Simulación para 920 habitantes

Al simular la red, se observa que al inicio del día no hay complicaciones respecto de las presiones en los nodos, y

Tabla 1. Distribución consumo por hora.

Hora	Consumo horario en porcentaje	Consumo horario x 2,99 (q.m.d.)	q.m.d / 24 h	Factor mult.
0 - 1	1,00	0,03	0,12	0,24
1-2	1,00	0,03		0,24
2-3	1,00	0,03		0,24
3-4	2,00	0,06		0,48
4-5	4,00	0,12		0,96
5-6	6,00	0,18		1,44
6-7	9,00	0,27		2,16
7-8	5,50	0,16		1,32
8-9	5,00	0,15		1,20
9-10	3,00	0,09		0,72
10-11	6,00	0,18		1,44
11-12	9,00	0,27		2,16
12-13	5,50	0,16	1,32	
13 - 14	3,50	0,10	0,84	
14 - 15	3,00	0,09	0,72	
15 - 16	3,00	0,09	0,72	
16 - 17	4,50	0,13	1,08	
17 - 18	9,00	0,27	2,16	
18 - 19	6,00	0,18	1,44	
19 - 20	5,00	0,15	1,20	
20 - 21	3,00	0,09	0,72	
21 - 22	2,00	0,06	0,48	
22 - 23	1,50	0,04	0,36	
23 - 24	1,50	0,04	0,36	
Total 24H	100	Q.M.D = 2,99		24

empieza un pico alto de consumo; a las seis de la mañana del día uno, bajan las presiones, pero cumplen con los parámetros exigidos; luego aumentan un poco las presiones, hasta las once de la mañana, cuando disminuyen, especialmente en el nodo seis (el más alejado de la red), y la presión no cumple con lo exigido, por lo que se debe evaluar de nuevo ese punto a esta hora. El análisis continúa, y se observa que en el transcurso faltante del día uno las presiones aumentan y disminuyen, pero siempre por encima de la presión mínima; y en el día dos, a las seis de la mañana, la presión resulta ser la misma del día anterior, por lo que podría conjeturarse que a esta hora la presión no será menor; en el resto del día y en el transcurso de los días, se observa que el punto crítico se da a las once de la mañana, por lo que hay que optimizar la red para brindar un servicio excelente a la comunidad.

5.2.4 Simulación para 1.094 habitantes

Se inicia la simulación y se observa que no hay complicaciones hasta las seis de la mañana del día uno y que en el nodo más alejado la presión es menor a la permitida; a las nueve de la mañana de ese día, la presión aumenta considerablemente, y a las once de la mañana disminuye por debajo de la encontrada a las seis de la mañana. Continúa la simulación y se observa que a las dos de la tarde la presión aumenta, pero a las cinco vuelve a ser menor de lo permitido. Las presiones vuelven a ser normales hasta el día dos, a las seis de la mañana, cuando desciende por debajo del límite. A las once de la mañana del día tres se observa la presión más baja de toda la simulación, casi tres metros por debajo de lo permitido. Esta red presenta varios estados críticos, por lo que hay que evaluar e intentar subir las presiones en estos puntos.

6. Optimización de la red de distribución por medio de Epanet

Optimizar una red de acueducto permite mejorar el servicio e intentar reducir al máximo los costos, pero aumentando beneficios. Para el caso del Resguardo Nazareth se tuvieron en cuenta dos criterios de optimización:

aumentar el diámetro de la tubería comprendida entre el tanque de almacenamiento y el primer nodo de la red, permitiendo aumentar las presiones en todos los nodos, y modificar las horas de apagado y encendido de la bomba, con el fin de mantener un poco más constante la altura de la lámina de agua en el tanque y con esto contrarrestar la disminución de presiones en el transcurso del día.

6.1 Optimización para 920 habitantes

Para lograr el aumento de presiones en el nodo crítico (más alejado de la red), teniendo en cuenta que es un valor que no se aleja tanto del límite permitido, se cambian las horas de bombeo. Para ello se dejaron las mismas horas, pero con diferente distribución: se enciende una hora a las cinco de la mañana, tres horas a las nueve de la mañana, y a las tres de la tarde se enciende de nuevo durante dos horas; finalmente, se enciende de diez a doce de la noche. Después de realizar estos cambios se inicia la simulación y se observa que las presiones se cumplen en todos los nodos y en todo momento.

Se intentó la simulación cambiando el diámetro de la tubería por uno menor, de dos pulgadas a pulgada y media, pero en varios instantes no cumplió con lo esperado, por lo que no es posible disminuir el diámetro. Se concluye así que, al disminuir el diámetro de la tubería, aumenta la velocidad, pero bajan las presiones, y en estos casos se deben garantizar buenas presiones en todos los tramos de la red.

6.2 Optimización para 1.094 habitantes

En varios momentos, las presiones disminuyeron considerablemente al simular el comportamiento dinámico de la red. En este caso no basta con cambiar las horas de bombeo, sino que se cambió el diámetro de la tubería que va del tanque y al primer nodo de la red, pasando de dos pulgadas a dos pulgadas y media, con lo cual se obtienen en todos los puntos críticos presiones que superan la presión mínima exigida por la norma RAS-2000. Finalmente, se optimiza de la mejor manera la red de acueducto, intentando disminuir al máximo los

costos sin dejar de lado el funcionamiento óptimo de la red de distribución de agua potable.

7. Conclusiones

Se analizó la red probando diferentes diámetros de tubería con el fin de comparar y ver si al aumentar también aumenta la presión y disminuye la velocidad, y si sucede lo contrario al disminuir el diámetro de la misma, esto porque se debe cumplir a cabalidad con los requerimientos exigidos por las normas vigentes en el territorio nacional.

8. Referencias

- [1] S. Arnalich. *Epanet y cooperación: 44 ejercicios progresivos comentados paso a paso*. España: UMAN, Ingeniería para las Personas, 2007.
- [2] S. Arnalich. *Epanet y cooperación. Introducción al cálculo de redes de agua por ordenador*. España: UMAN, Ingeniería para las personas, 2007.
- [3] Consejo Regional de Planificación Económica y Social de la Orinoquía. *Estudio geoeléctrico e hidrogeológico para la prospección de aguas subterráneas en el corregimiento de Barrancominas*. Departamento del Guainía, informe técnico final. Villavicencio, 1997.
- [4] Gobernación del Amazonas. *Rehabilitación acueducto Comunidad Indígena Tikuna de Nazareth, municipio de Leticia, departamento del Amazonas*. Leticia, 1998.
- [5] Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Ministerio de Defensa Nacional, Centro Interamericano de Fotointerpretación & Ministerio de Relaciones Exteriores. *La Amazonía colombiana y sus recursos*. Bogotá, 1979.
- [6] Ricardo Alfredo López Cualla. *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 1995.
- [7] Ministerio de Desarrollo Económico. *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS-2000)*. Bogotá, 2000.
- [8] Ministerio de Minas y Energía (Ingeominas). *Consideraciones sobre las aguas subterráneas en Colombia y sus posibilidades de explotación*, Bogotá, 1997.
- [9] Robert L. Mott. *Mecánica de fluidos*. Brito Javier E. (trad.). México: Pearson, 2006.
- [10] Pontificia Universidad Javeriana y Corporación Horizontes Colombianos (ONG alemana). *Proyecto piloto de saneamiento básico con la comunidad Tikuna del Resguardo Nazareth, Amazonas*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2007.
- [11] República de Colombia. *Constitución Política de Colombia 1991*. Bogotá.
- [12] Juan Saldarriaga. *Hidráulica de tuberías*. Bogotá: Alfaomega y Universidad de los Andes, 2007.