



**Construcción de acueducto en el municipio de Jericó en la vereda el Zacatín con la empresa
Compesur S.A.S.**

Pedro Pablo Espina Suarez

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Sanitario e Ingeniero Civil

Tutor

Guillermo León Chica, Ingeniero Civil

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Sanitaria
Medellín, Antioquia, Colombia
2021

| | |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cita | (Espinal Suarez, 2021) |
| Referencia | Espinal Suarez, P. P. (2021). <i>Construcción de acueducto en el municipio de Jericó en la vereda el Zacatín con la empresa Compesur S.A.S.</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. |
| Estilo APA 7 (2020) | |



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jesus Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Maria Camila Grueso Domínguez.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

| | |
|-------------------------------------------------------------|----|
| Resumen | 7 |
| Introducción | 9 |
| 1 Objetivos | 12 |
| 1.1 Objetivo general | 12 |
| 1.2 Objetivos específicos..... | 12 |
| 2 Marco teórico | 12 |
| 2.1 Factores Funcionales De Los Sistemas de Acueducto | 14 |
| 2.2 Conceptos básicos de acueductos..... | 14 |
| 2.2.1 Acueducto por gravedad | 14 |
| 2.2.2. Acueducto por bombeo | 15 |
| 2.3 Componentes del sistema de abastecimiento | 15 |
| 2.3.1 Obras de Captación | 15 |
| 2.3.2 Líneas de conducción..... | 15 |
| 2.3.3 El tanque de almacenamiento | 16 |
| 2.3.4 Red de distribución | 16 |
| 2.3.5 Válvulas | 16 |
| 2.4 Medición..... | 17 |
| 2.4.1 Hidrómetro o medidor de agua | 18 |
| 2.4.2 Criterios de diseño y datos de entrada | 18 |
| 3 Metodología | 19 |
| 3.1 Visita de campo | 19 |
| 3.2 Estudio topográfico | 20 |
| 3.3 Diseño de la línea de acueducto | 21 |
| 3.4 Instalación de la tubería..... | 21 |

| | |
|--------------------------------------------|----|
| 4 Resultados | 31 |
| 4.1 Visita y reconocimiento de campo | 31 |
| 4.2 Estudio topográfico | 33 |
| 4.3 Diseño de la línea de acueducto | 34 |
| 4.4 Instalación de la tubería..... | 36 |
| 5 Conclusiones | 37 |
| Referencias | 38 |
| Anexos..... | 39 |

Lista de figuras

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 Cobertura de acueducto en municipios a nivel nacional en Colombia..... | 11 |
| Figura 2 Factores de riesgo al ejecutar una obra sin realización de estudios previos..... | 20 |
| Figura 3 Esquema - Etapa 1- Instalación de tubería principal. | 22 |
| Figura 4 Zanja y proceso de instalación de tramo de tubería..... | 22 |
| Figura 5 Compactación del terreno llenado mediante medios mecánicos (canguro)..... | 23 |
| Figura 6 Señalización preventiva..... | 23 |
| Figura 7 Tapón de costal situado en los extremos de los tramos de tubería. | 24 |
| Figura 8 Marcación para ubicar los sitios de traslape al momento de realizar las uniones con termofusión..... | 24 |
| Figura 9 Excavación de túnel por debajo de placa huella..... | 25 |
| Figura 10 Túnel excavado por debajo de placa huella para cruce de tubería de un lado a otro de la vía. | 25 |
| Figura 11 Proceso de unión de tubería por termofusión. | 26 |
| Figura 12 Reparaciones finales de la rasante deteriorada durante el proceso de instalación..... | 26 |
| Figura 13 Esquema - Etapa 2- Instalación de tubería de derivación hacía El Zacatín. | 27 |
| Figura 14 Diseño estructural de caja para macromedidor de etapa 2. | 28 |
| Figura 15 Montaje de estación de macromedición. | 28 |
| Figura 16 Esquema - Etapa 3- Instalación ramales y acometidas domiciliarias..... | 29 |
| Figura 17 Derivación para ramal - De diámetro de 63mm a 40mm. | 29 |
| Figura 18 Derivaciones de ramales a acometidas domiciliarias 1/2 pulgada..... | 30 |
| Figura 19 Instalación de contadores locales - acometidas domiciliarias. | 30 |
| Figura 20 Registro fotográfico recorrido de campo..... | 32 |
| Figura 21 Placa huella situada en la ruta hacia la vereda El Zacatín. | 32 |
| Figura 22 Muestra de la composición del suelo in situ..... | 33 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 23 Trazado de puntos topográficos sobre la trayectoria de instalación de la tubería. | 34 |
| Figura 24 Unión realizada con máquina de termofusión para tubería de polietileno de alta densidad..... | 35 |
| Figura 25 Máquina de termofusión para uniones de tuberías PE HD..... | 35 |
| Figura 26 Esquema del diseño por etapas. | 36 |
| Figura 27 Acta de liquidación final - Total presupuestado - Total ejecutado..... | 39 |

Resumen

En el presente trabajo se desarrolló el diseño y construcción de una línea de ampliación para la red de acueducto del municipio de Jericó – Antioquia, cuya finalidad es transportar agua potable desde el casco urbano hasta la vereda El Zacatín, ubicada en zona rural a alrededor de dos kilómetros en dirección sureste desde el perímetro urbano.

Inicialmente se describieron las características, conceptos básicos, y entorno necesarios para entender la problemática en tratamiento, además de la importancia y responsabilidad que implica el manejo de un recurso vital como lo es el agua, por otro lado, se habló del estado actual de la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento básico en las comunidades rurales y de los aspectos sociopolíticos relacionados que inciden directamente sobre la calidad de vida de las personas beneficiadas.

Posteriormente se definió la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto, se describe detalladamente cada etapa de este. Finalmente se presentan los resultados, para lo cual se procedió con un análisis por cada etapa de la metodología que permita observar de manera secuencial el avance del proyecto hasta el objetivo final.

El modelo de la línea de conducción y ampliación, realizados para el análisis presiones y dimensionamiento de los diámetros de tubería fueron elaborados con el software EPANET, los esquemas y planos arquitectónicos, estructurales y de localización fueron elaborados mediante el software CAD de autodesk AutoCad. A partir de este punto, se pudieron obtener las cantidades de obra principales que permitieron estimar el costo directo de la obra civil incluyendo suministro e instalación (construcción). Cabe mencionar que el diseño hidráulico de los componentes integrados en el proyecto estuvo a cargo de los especialistas correspondientes de la empresa.

Con el fin de identificar y prever futuras dificultades a la hora de la instalación de la línea de conducción, se realizó un recorrido de campo en el sitio de la obra, luego se hizo un levantamiento topográfico el cual brinda la información de entrada como cotas, abscisas y localización de los puntos que describen las características físicas del terrero y ubicación precisa del trazado de la red, este a su vez sirve como base para los diseños y modelos, de esta forma se pudo estudiar hidráulicamente la futura línea de conducción y definir la mejor alternativa en cuanto dimensiones, materiales, funcionamiento y respuesta ante la demanda hídrica.

En la fase de construcción se hizo supervisión técnica y acompañamiento en obra para la instalación de los tramos de tubería y accesorios plasmados en el diseño. Como resultado de este proyecto, se logró la ejecución de la obra con una inversión final que guarda una diferencia de 0.36% por debajo del presupuesto inicial previsto, cumpliendo así con el objetivo principal de abastecer a la comunidad de la vereda de El Zacatín con el servicio de agua potable con una presión suficiente para cubrir las necesidades del hogar.

Introducción

Una de las problemáticas actuales que atraviesa la humanidad gira entorno al recurso hídrico del planeta, el cual cada vez presenta niveles más elevados de contaminación generando una crisis de escasez del agua limpia, sin embargo, lo que parece ser propiamente una falta de cantidad en los recursos hídricos bien sea en su estado natural o tratada para consumo humano, es un problema de gobernabilidad y gestión que deriva en un uso no sustentable. (Molina, 2018). La inadecuada gestión del recurso hídrico ha provocado que varias regiones a nivel global no tengan acceso al agua potable, a lo cual se suma el constante crecimiento demográfico cuya consecuencia es el aumento de la demanda hídrica. Teniendo en cuenta esto se estima que para el 2030 se tendrá un déficit mundial de agua del 40%. (Franek, 2015).

Factores como un difícil acceso a fuentes de abastecimiento o el déficit de infraestructura para la captación, tratamiento y distribución del agua ocasionan que el consumo de agua sin potabilizar por parte de comunidades habitantes de poblaciones rurales aumente constantemente a nivel nacional. El país presenta una brecha claramente marcada entre zonas urbanas y zonas rurales en cuanto a la prestación de servicios de sistemas de acueducto, alcantarillado y saneamiento básico, pero las comunidades rurales son las más perjudicadas con la falta de cobertura y las que mantienen una peor calidad de vida como consecuencia (DNP, 2014).

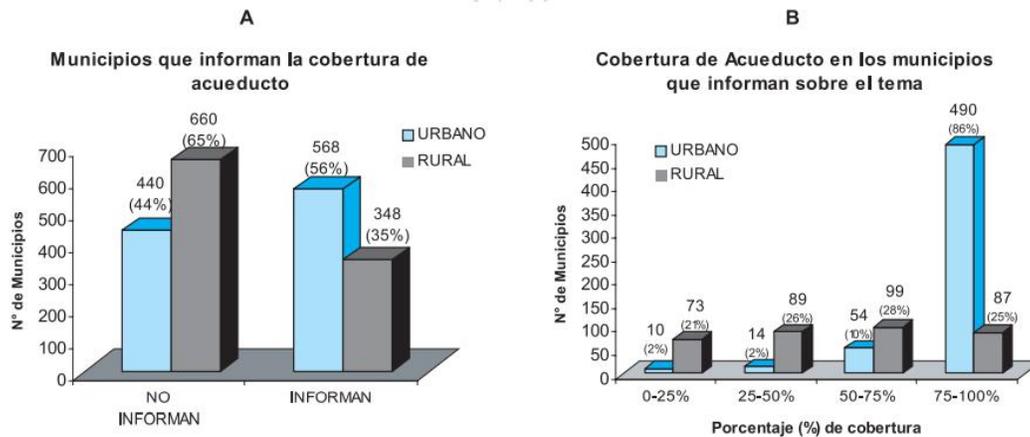
Los resultados de la Gran Encuesta Integrada de Hogares del DANE muestran que en el año 2014 la cobertura del servicio de acueducto presentó una brecha urbana/rural de más 23 puntos porcentuales; a su vez, la brecha de cobertura de alcantarillado alcanzó los 21 puntos porcentuales. Según las estadísticas demográficas del Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, para 2015 en Colombia alrededor de 11 millones de personas (cerca del 24% de la población) se concentraba en las áreas rurales del país, las cuales ocupan más del 80% del territorio nacional. De esta población, el 44,1% se encuentra en situación de pobreza multidimensional, la cual se establece a partir del nivel de privaciones que tienen los hogares en materia acceso a educación, salud, trabajo y condiciones de habitabilidad entre las que se encuentra la provisión de los servicios de agua potable y saneamiento básico. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021).

Es común encontrar sistemas de abastecimiento de agua no apta para el consumo, que proveen a los habitantes de las zonas rurales del recurso necesario para atender las necesidades

domésticas, sin embargo, en estas zonas existe una demanda para usos productivos a pequeña escala tales como, agricultura, riego, ganadería, procesamiento de productos agropecuarios y microempresas los cuales hacen parte del trabajo y fuente de ingresos para la sustentación de estas comunidades que usualmente son de bajos nivel económico, todo esto sin mencionar que a pesar de que el servicio de abastecimiento de agua potable constituye un derecho fundamental para garantizar la subsistencia de cada individuo en el territorio nacional, esta demanda no es suplida y la presencia de agua potable es precaria, el Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA) calculado por el Instituto Nacional de Salud, alcanzó en el año 2013 un promedio del 58% para las áreas rurales (nivel de riesgo alto (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021)).

Un modelo ampliamente adoptado por las comunidades rurales para la prestación del servicio de acueducto consiste en la asignación de una organización local o persona particular para ejercer control social del servicio logrando cierto desempeño en la prestación de mismo, esto debido a que por la poca influencia del gobierno nacional en estas zonas estas poblaciones tienen la autonomía sobre la toma de decisiones. Por otro lado, una de las limitaciones que presenta este modelo es la carencia de personal capacitado para desempeñar las actividades operacionales requeridas. En este contexto, se puede afirmar que un acueducto comunitario es la institución que mejor ejemplifica el tema de la gestión integral y equitativa del recurso hídrico; a su alrededor confluyen con interrelaciones muy visibles, variables de orden ambiental, social, institucional, político y económico. (Bakalian, 2009).

En la **Figura 1** se presenta la cobertura de acueducto a nivel nacional en Colombia según UNICEF, basado en 1.008 planes de desarrollo municipales.

Figura 1*Cobertura de acueducto en municipios a nivel nacional en Colombia.*

Nota. Fuente: UNICEF – Colombia, Procuraduría General de la Nación. Base de Datos con el análisis de 1.008 planes de desarrollo municipales).

La vereda el Zacatín del municipio de Jericó posee un acueducto veredal que abastece parte de la población, pero debido al desarrollo económico del municipio, se ha presentado una expansión de la comunidad, en la cual, las nuevas viviendas no están conectadas al servicio de agua potable. Por estas razones, en trabajo conjunto con las Empresas Públicas de Jericó y a través de la junta de acción comunal de la vereda Zacatín, se presentó la propuesta, en la que se le solicitaba a la junta de acción comunal de la vereda, parte del costo de la expansión del acueducto de la red principal y de la instalación de las acometidas, para lograr la cobertura de gran parte de la zona de expansión.

Se planeó realizar este proyecto que consta del diseño y la construcción de una línea expansión del acueducto urbano hacia el área rural en el municipio de Jericó, en busca de un mejoramiento en la cobertura en la zona rural del municipio, de acuerdo con las directrices del plan maestro que se lleva a cabo en el municipio, esto para brindarle acceso a agua potable a cerca de 250 personas que se conectarán a dicha red como beneficiados, dicho servicio contará con monitoreo constante del caudal que se entrega a cada una de estas viviendas. En términos generales, este trabajo se estructura de la siguiente forma:

En la primera parte se aborda el planteamiento del problema, se presenta una descripción del mismo, su justificación y motivo para la realización del presente estudio, y los objetivos al alcanzar, todo en el orden aquí expresado.

En la segunda parte se explican los conceptos, términos, bases y apoyos utilizados para la realización del trabajo, todo indicado en un marco teórico de los temas a tratar, también se relaciona brevemente los resultados de la búsqueda realizada en la investigación del estado del arte en materia de cobertura nacional de servicio de acueducto, especialmente en el sector de zonas rurales.

Luego se presenta la metodología formulada y utilizada para el desarrollo del presente proyecto, la cual se contiene la descripción en forma de “paso a paso”.

Finalmente, se hace un análisis de los resultados obtenidos y se presentan las conclusiones respectivas que se desprenden de un análisis por etapas que representa el entregable final del trabajo realizado.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Realizar la construcción del sistema de acueducto para la vereda El Zacatín del municipio de Jericó, Antioquia

1.2 Objetivos específicos

- Revisar estudio topográfico del trazado de la instalación de las veredas.
- Revisar el diseño del acueducto veredal para la población objetivo.
- Construir redes que conformaran el acueducto veredal.
- Proveer de acometidas a los usuarios.

2 Marco teórico

El agua es un componente fundamental para todos los organismos y un recurso sin el cual el desarrollo y mantenimiento de la vida sobre el planeta no sería posible. Se estima que de toda el

agua del planeta solo el 0,003% corresponde al agua dulce utilizable para consumo, ya que el resto está conformado por los mares, glaciares y agua subterránea (Corcho, 2005).

La falta de reconocimiento del valor del agua es la principal causa de su desperdicio y mal uso, según el Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2021, publicado por la UNESCO en nombre de la ONU-Agua. A pesar de la dificultad de asignar un valor objetivo e indiscutible a un recurso que es la base misma de la vida, parece necesario explicar las diferentes dimensiones del agua para arrojar luz sobre los distintos aspectos de su “valor”. Sobre todo, en momentos en que este recurso es cada vez más escaso, en un contexto de crecimiento demográfico y cambio climático. (UNESCO, 2020).

Según datos de investigaciones a nivel internacional y estudio por parte de la UNESCO, las variables cuantitativas y cifras estimadas y actuales en cuanto al desarrollo sostenible del recurso hídrico se encuentran así:

Se estima que lograr el acceso universal al agua potable y el saneamiento en 140 países de ingresos bajos y medianos costaría alrededor de 114.000 millones de dólares al año. Se ha demostrado que la relación costo-beneficio de tales inversiones proporciona un rendimiento positivo significativo. Los rendimientos de la higiene son aún mayores, ya que pueden mejorar enormemente los resultados de salud en muchos casos con poca necesidad de una infraestructura costosa adicional. (UNESCO, 2020). Más de 3000 millones de personas carecen de acceso adecuado a las instalaciones de higiene de manos. (UNESCO, 2020).

El 50% de toda la desnutrición son causadas por la falta de agua, saneamiento e higiene.

El 80% de todas las aguas residuales industriales y municipales se libera al medio ambiente. (UNESCO, 2020).

El valor del agua para la sociedad se sustenta en la infraestructura hidráulica que sirve para almacenar o mover agua. Pero su valor va más allá del costo de la propia infraestructura e incluye los diversos beneficios que brinda.

Para 2030, la inversión en infraestructura de agua y saneamiento deberá rondar los US \$0,9 a 1,5 billones por año, aproximadamente el 20% del requerimiento total para todo tipo de inversión en infraestructura. Aproximadamente el 70% de esta inversión total en infraestructura se realizará en el Sur global, con una gran participación en áreas urbanas de rápido crecimiento. En los países desarrollados, se requerirán grandes inversiones para la renovación y actualización.

Fundamentalmente, la valoración de la infraestructura hídrica tiene que ver con la buena gobernanza. (UNESCO, 2020).

2.1 Factores Funcionales De Los Sistemas de Acueducto

Un sistema de abastecimiento de agua es aquel que recoge el agua por medio de una bocatoma desde la fuente de captación, que puede ser una naciente u ojo de agua, un pozo, o un río, este a su vez la transporta a través de tuberías hacia cada una de las viviendas o hacia una fuente de uso público. Antes de llegar a la red de distribución, el agua puede pasar por un tratamiento previo de tipo primario o de total potabilización. Las fuentes públicas tienen como propósito abastecer a aquellas personas que no tienen agua en su casa. (Sanabria, 2010).

El diseño, construcción y administración de un sistema de acueducto debe garantizar que el agua que llega a las familias sea agua limpia y apta para el consumo humano. El principal beneficio es un mejoramiento significativo en la calidad de vida, sin mencionar algunos extras como el ahorro de tiempo y esfuerzo. (Sanabria, 2010).

En palabras generales, las variables y componentes fundamentales involucrados en un proyecto de diseño para acueducto son la presión, la velocidad; además de las dimensiones y optima ubicación de las tuberías, por otro lado, están las obras de concreto como tanques de almacenamiento, bocatomas y desarenadores. Los estudios topográficos de la zona, para conocer distancias, altitudes y la localización de las viviendas y edificaciones permiten definir la mejor alternativa tecnológica para el caso. (Sanabria, 2010).

2.2 Conceptos básicos de acueductos

2.2.1 Acueducto por gravedad

En este sistema la fuente de captación está en un nivel más alto el lugar de abastecimiento, por lo tanto, el agua baja hasta el tanque de almacenamiento por gravedad haciendo uso de la energía potencial de su propio peso. El sistema solo requiere el uso de válvulas para controlar el flujo y caudal, de esta garantizar que el servicio llegue adecuadamente a todos los puntos de distribución ya sean hogares o fuentes públicas. (Sanabria, 2010).

2.2.2. Acueducto por bombeo

Cuando el lugar de abastecimiento se ubica en una cota más alta que el sitio de captación es necesario utilizar bombas para elevar y transportar el agua. Estas bombas impulsan el agua hacia los tanques de almacenamiento y distribución. Una vez en los tanques el agua baja por gravedad a la comunidad. (Sanabria, 2010).

2.3 Componentes del sistema de abastecimiento

2.3.1 Obras de Captación

Las captaciones o bocatomas son estructuras de generalmente de concreto que tienen como propósito recoger el agua de manantiales y escorrentías superficial para transportarla hasta un tanque de almacenamiento previo tratamiento, con el fin de abastecer a las comunidades. Las captaciones se clasifican en dos tipos:

- **Captaciones de aguas subterráneas:** Son las que utilizan las fuentes superficiales como las nacientes, así como las subsuperficiales como drenajes, pozos de poca profundidad, o acuíferos separados por medio de la perforación de pozos profundos. (Sanabria, 2010).
- **Captaciones de aguas superficiales:** Son las que usan escorrentías y depósitos superficiales como ríos, lagos y embalses. Su captación se hace mediante represas, canales, pozos y drenajes. (Sanabria, 2010).

2.3.2 Líneas de conducción

Es la tubería mediante la cual se transporta el agua entre los distintos componentes del sistema de acueducto. Existen dos tipos:

- **Línea aductora:** Es la que se usa en sistemas de abastecimiento de agua por gravedad para unir la captación de agua al tanque de almacenamiento o al sistema de tratamiento. (Sanabria, 2010).

- **Línea de impelencia:** Cumple la misma función solo que en este caso funciona por bombeo por estar ubicado el tanque más alto que la toma. (Sanabria, 2010).

2.3.3 El tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento o distribución ayuda a asegurar el abastecimiento de agua al permitir almacenarla para utilizarla en las horas y épocas de mayor demanda. El reservorio de agua también evita tener que suspender el servicio mientras se hacen reparaciones o actividades de mantenimiento en la captación o en la conducción. Los tanques se construyen generalmente en las zonas más altas o montados sobre estructuras de concreto o metal con el fin de que el agua alcance la altura necesaria para que baje por gravedad hacia la comunidad. (Sanabria, 2010).

2.3.4 Red de distribución

Está formada por tubería más delgada que va de la línea de conducción hasta las conexiones domiciliarias o las fuentes públicas. (Sanabria, 2010).

2.3.5 Válvulas

Son instrumentos mecánicos que tienen como función cerrar, abrir o regular la salida del agua. Las válvulas, así como las llaves deben protegerse dentro de cajas construidas especialmente para este fin, con tapa de metal o concreto. Estas cajas deben estar enterradas o protegidas. Un sistema de abastecimiento de agua lleva diferentes tipos de válvula. Cada una de ellas cumple una función específica para garantizar el buen funcionamiento del sistema de distribución. (Sanabria, 2010).

- **Válvula antirretorno.** Estas válvulas impiden que el agua se devuelva por la tubería cuando se detiene el bombeo. (Sanabria, 2010).

- **Válvulas Hidráulicas.** La válvula hidráulica utiliza la energía del agua para abrirse y cerrarse. Si bien esa es su función principal, con el uso de los elementos adecuados, también puede realizar otras operaciones en cualquier instalación hidráulica.
- **Válvulas de maniobra.** De operación mecánica, manual, automática, neumática o hidráulica.
- **Válvulas de regulación.** Reductoras y sostenedoras de presión; sostenedoras-reductoras y limitadoras de caudal. Esta válvula tiene como función reducir la presión del agua, de acuerdo con el valor indicado en el piloto. En caso necesario la válvula se abrirá completamente para alcanzar la presión de ajuste. La válvula reductora se usa en puntos en donde por el nivel de consumo, es necesario reducir la presión.
- **Válvulas de protección.** Alivio rápido de presión; reductoras de presión; de retención; anticipadoras de onda; de control de bombeo y antirrotura o anti-inundaciones.
- **Válvulas de control.** Limitadoras de caudal; de llenado de depósito; de altitud y volumétricas. Las redes de distribución de agua por lo general dan servicio a muchas familias. En algunos casos esto puede provocar que no llegue igual cantidad de agua a todas las viviendas. Las válvulas limitadoras tienen como función evitar las caídas de presión, los consumos excesivos en unos puntos y las deficiencias de suministro en otros.
- **Válvulas de control de bombeo.** Las válvulas de control de bombeo tienen como propósito proteger los equipos de bombeo de sobrepresiones cuando arrancan y se detienen las bombas. Debe montarse en la tubería, después del grupo de impulsión. La válvula se abre durante el arranque de la bomba y luego se cierra, lentamente, antes de que la bomba se detenga. De esta forma evita el golpe de ariete. (Sanabria, 2010).

2.4 Medición

Medir el consumo de agua es la mejor forma para garantizar un pago equitativo por el servicio de agua potable. La medición trae también beneficios ambientales al fomentar la conservación y uso eficiente del agua potable. Al usarse menos agua, hay menor cantidad de aguas residuales y por lo tanto también se reduce la contaminación. La micro medición permite establecer

un marco de operación que favorece la transparencia en el trato al usuario o usuaria, la distribución equitativa del agua y el pago justo por el servicio que ofrece. Además, permite detectar cuando hay un consumo inusual o fugas en el sistema. (Sanabria, 2010).

2.4.1 Hidrómetro o medidor de agua

Es el instrumento que se utiliza para medir la cantidad de agua que pasa por la tubería. (Sanabria, 2010).

2.4.2 Criterios de diseño y datos de entrada

Al iniciar el planeamiento de un programa de acueducto es necesario establecer y analizar las características que conforman los criterios de diseño. (Corcho, 2005).

- Disponibilidad en cantidad y calidad del agua de las fuentes.
- Estadísticas de consumo de agua en la localidad en estudio o en similares.
- Período de diseño y vida probables de las estructuras.
- Variaciones periódicas de los consumos e influencias sobre componentes del sistema.
- Calidad de los materiales a utilizar.

El consumo de agua de una localidad es función del tipo de comunidad, de sus condiciones económicas y sociales, de las condiciones meteorológicas, de la cantidad y calidad y del control mediante medidores de agua. (Corcho, 2005).

El tipo de vivienda puede evidenciar las características socioeconómicas de una población. Investigaciones realizadas en países desarrollados han demostrado que los consumos per cápita aumentan con el tamaño de la comunidad. Es de esperarse entonces que el crecimiento poblacional asociado con el desarrollo económico produzca un incremento de consumo per cápita. (Corcho, 2005).

3 Metodología

3.1 Visita de campo

Una actividad de reconocimiento de campo en la zona de trabajo resulta una etapa fundamental e importante en la fase de estudios previos, la principal finalidad de esta tarea es identificar de manera anticipada los posibles problemas, contratiempos, dificultades y obstáculos que se puedan presentar durante la ejecución de la obra, esto permite aplicar medidas de prevención y de esta forma evitar retrasos posteriores. Sin embargo, el reconocimiento de campo tiene más beneficios a partir de la información recolectada, para el caso del presente proyecto, teniendo en cuenta que la principal tarea en cuanto a obra civil implica la instalación de un tramo considerable de tubería, el realizar una investigación in situ de las condiciones del terreno permitió obtener datos descriptivos como geología del suelo, descripción geotécnica del suelo, posible presencia de macizos rocosos, presencia de afluentes superficiales, datos hidrogeológicos e hidrológicos, posibles inestabilidades del terreno, situación de los accesos para maquinaria de trabajo, observación de patologías en la estructura de pavimentos, etc. Todo esto visualizando las actividades de movimientos de tierra que se llevarían a cabo durante la instalación de la línea de conducción. Resulta fundamental hacer una compilación y registro fotográfico de las condiciones iniciales de la zona de trabajo.

Una vez realizada la actividad debe efectuarse después una revisión y síntesis de información y la fotointerpretación, de las que se obtendrá un resumen de información geológica y la ruta más adecuada para la realización del trazado y trayectoria por donde cruzará la tubería. A partir de esto se realiza una topografía básica y es posible definir los materiales y herramientas de trabajo a emplear para que sean los más adecuados para las condiciones frontera e iniciales propuestas por el proyecto.

En la **Figura 2** se presentan los factores de riesgo, que se deben tener en cuenta al ejecutar una obra sin estudios previos.

Figura 2

Factores de riesgo al ejecutar una obra sin realización de estudios previos.

| Ejecutar obras sin: | Ocasiona: | Consecuencias |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| • Estudios previos | No conocer las condiciones especiales del terreno a intervenir. | Daños y afectaciones sobre las edificaciones e infraestructura |
| • Permisos o licencias | Toma de decisiones improvisadas | |
| • Profesionales calificados | Construcción de edificaciones sin el cumplimiento de las normas | |
| • Procedimientos adecuados | Construcción de edificaciones con deficiencias constructivas | |
| • Materiales de calidad | Deterioro de elementos estructurales y no estructurales | |
| • Mantenimiento | | |

Nota. Tomado de Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático.

La actividad de la construcción es considerada un escenario de riesgo de origen antrópico, debido a los daños o pérdidas potenciales ocasionados durante el desarrollo o ejecución de obras de construcción, la prevención de riesgos es materia de estudio no negociable.

3.2 Estudio topográfico

Para obtener información de entrada que permita modelar la nueva línea de acueducto se realiza un estudio topográfico principalmente de tipo altimétrico, la finalidad de esta tarea se enfocó en identificar qué puntos ubicados sobre la ruta de trazado de la línea de conducción presentaban una diferencia mínima de nivel, ya que la idea inicial planteada en este proyecto es conducir el agua de un punto a otro por medio de gravedad y para esto es importante que la cabeza estática sea lo suficiente para generar la energía potencial en el fluido y entregar una presión de servicio adecuada. A partir de los datos obtenidos en el desarrollo de esta actividad se puede decidir cuál es la alternativa más adecuada entre un sistema por bombeo y un sistema por gravedad.

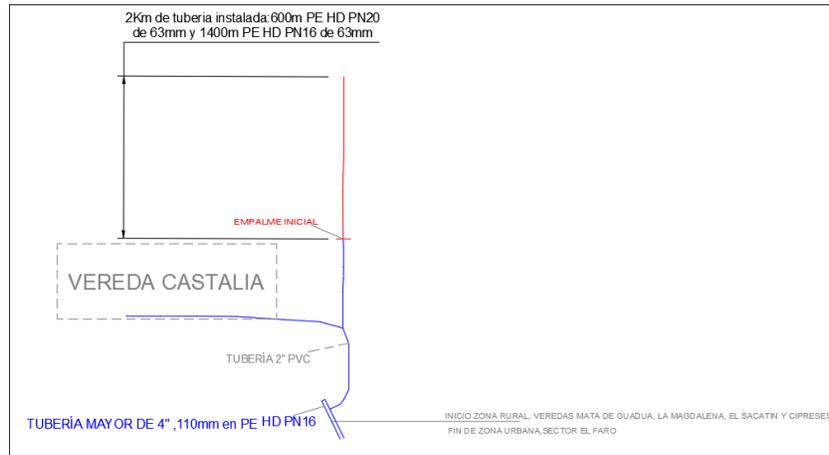
3.3 Diseño de la línea de acueducto

Para el diseño de la línea de conducción se parte usando como entrada el modelo del sistema de acueducto del municipio de Jericó – Antioquia elaborado durante el más reciente plan maestro de acueducto, dicho modelo fue realizado en el software de licencia libre EPANET. Con ayuda de este modelo se pudo estimar la presión de salida del agua en el punto donde se haría el empalme del nuevo tramo de tubería, se encontró entonces que en el nodo de empalme la presión tenía un valor aproximado a los 150 metros de cabeza dinámica. Partiendo de este dato se calcula las dimensiones de diámetro válidas para garantizar que el agua llegue hasta las acometidas con un valor entre los 20 y los 80 metros de cabeza dinámica, lo que garantizaría suplir la demanda hídrica estimada para 85 usuarios con un caudal requerido de 1.5 L/s. Cabe mencionar que dichas estimaciones cuantitativas están protegidas por un factor de seguridad que tiene en cuenta las pérdidas generadas por fricción y accesorios, además de posibles incrementos en la demanda hídrica por parte de los usuarios.

3.4 Instalación de la tubería

En esta actividad se supervisará y acompañará en la instalación de los 2100 m de tubería correspondientes a la ampliación de la red existente en la vereda el Zacatín. La instalación de la tubería se llevaría a cabo en tres etapas.

La etapa 1 comprende la instalación de la línea de conducción principal, la cual corresponde a un tramo cercano a los 2 kilómetros de longitud conformado por tubería de polietileno de alta densidad de presión nominal 16 y 20 que va desde el empalme inicial hasta el lugar de abastecimiento, como se muestra en el esquema de la figura 3 en donde la tubería de color azul representa la red ya existente y la tubería de color rojo representa el tramo a instalar. Se puede notar que ya existía un pequeño tramo de aproximadamente 200 metros destinado a recibir un futuro empalme para la realización de una expansión de la red hacia la zona rural.

Figura 3*Esquema - Etapa 1- Instalación de tubería principal.*

Nota. La tubería ilustrada en color azul representa la red ya existente y la tubería ilustrada en color rojo representa la que se pretende instalar.

Para la instalación de la tubería (**Figura 4, Figura 5, Figura 6**) se utilizó una zanja de 60 centímetros de profundidad con un ancho de 30 centímetros para la cual se ejecutaron los movimientos de tierra, la actividad inicial consistía excavar la zanja, colocar el tramo de tubería y volver a realizar el llenado y compactación con el material seleccionado de la excavación. La compactación se realizó en dos capas, la primera capa se compactaba mediante medios manuales utilizando un pisón y la segunda se compactaba mediante medios mecánicos utilizando un canguro.

Figura 4*Zanja y proceso de instalación de tramo de tubería.*

Figura 5

Compactación del terreno llenado mediante medios mecánicos (canguro).

**Figura 6**

Señalización preventiva.



Producto de que inicialmente no se contaba con un técnico en termofusión, las uniones no se ejecutaban en el mismo instante de la colocación del tramo de tubería, este se instalaba con tapones de costales en ambos extremos (**Figura 7**) y dejando un traslapo (**Figura 8**) de por lo menos 40 centímetros con el tramo siguiente para posteriormente volver a abrir la excavación y realizar las uniones con la máquina de termofusión, esto debido a que por el alto flujo de vehículos que se presenta en la ruta no era posible dejar zanjas abiertas a pesar del uso de señalización.

Figura 7

Tapón de costal situado en los extremos de los tramos de tubería.

**Figura 8**

Marcación para ubicar los sitios de traslajo al momento de realizar las uniones con termofusión.



En algunas zonas donde se presentaba presencia de placa huella, se estudiaba in situ la ruta para el trazado de tal forma que se evitara realizar mayormente demolición de pavimentos, por tal razón en ocasiones resultaba conveniente cambiar la ruta de la tubería hacia el otro borde de la vía. Esto se hacía excavando un túnel por debajo de la placa huella (**Figura 9, Figura 10**) de tal manera

que permitiese atravesar el tramo de tubería de un lado a otro de la vía. Para ello se trataba de ubicar los sectores menos deteriorados de la placa huella para evitar incidentes.

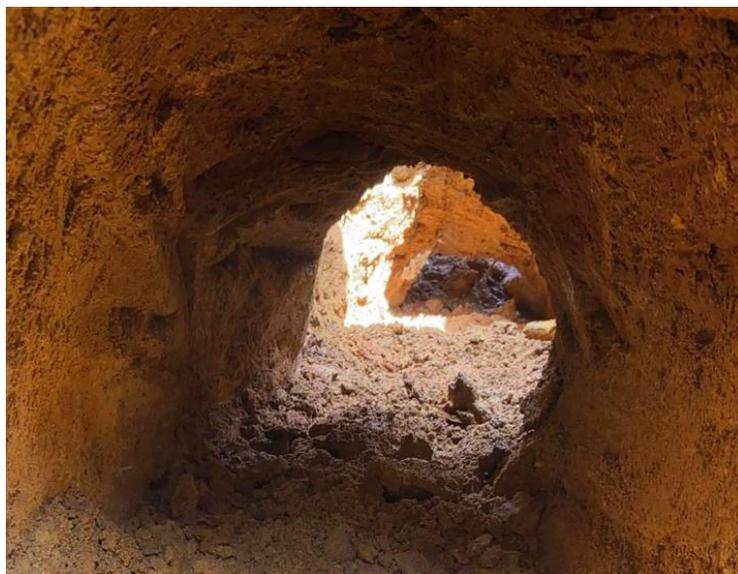
Figura 9

Excavación de túnel por debajo de placa huella.



Figura 10

Túnel excavado por debajo de placa huella para cruce de tubería de un lado a otro de la vía.



Para finalizar la etapa 1 se realizaron las uniones de los tramos de tubería instalados mediante el método de termofusión (**Figura 11**), se repararon los puntos deteriorados de la rasante con material de afirmado al igual que la placa huella afectada para dejar la vía en óptimo estado (**Figura 12**).

Figura 11

Proceso de unión de tubería por termofusión.



Figura 12

Reparaciones finales de la rasante deteriorada durante el proceso de instalación.

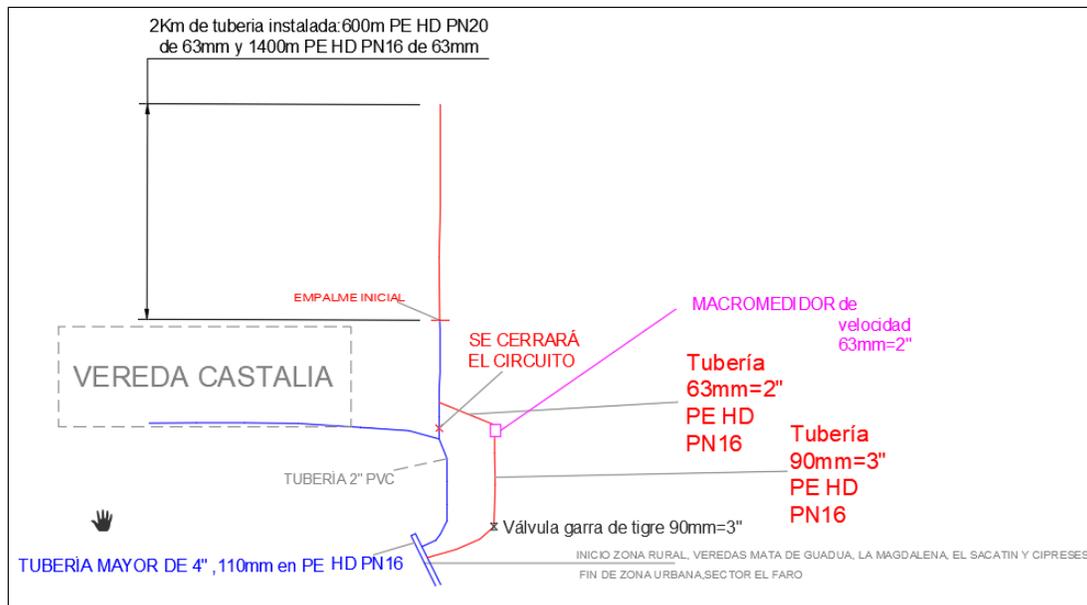


La etapa 2 comprendió la instalación de una línea de derivación que permite separar desde la tubería mayor las líneas de conducción de la vereda Castalia y la de la vereda El Zacatín, ya que estas inicialmente se habían concebido desde una sola derivación tomada de la tubería mayor. Véase la **Figura 13**. Para realizar este procedimiento se debe construir una nueva derivación con destino hacia la vereda El Zacatín partiendo desde la tubería mayor para integrarse al circuito justo antes del empalme inicial del ramal principal, dicha tubería se planteó de un diámetro de 3 pulgadas para asegurar la toma del caudal necesario, por otro lado, se cierra el circuito que antes destinaría el flujo hacía ambas veredas para que ahora solo atienda la demanda de la vereda Castalia.

La etapa 2 también incluye la instalación de macromedidor (**Figura 14, Figura 15**) que permitiría el monitoreo constante de la demanda hídrica.

Figura 13

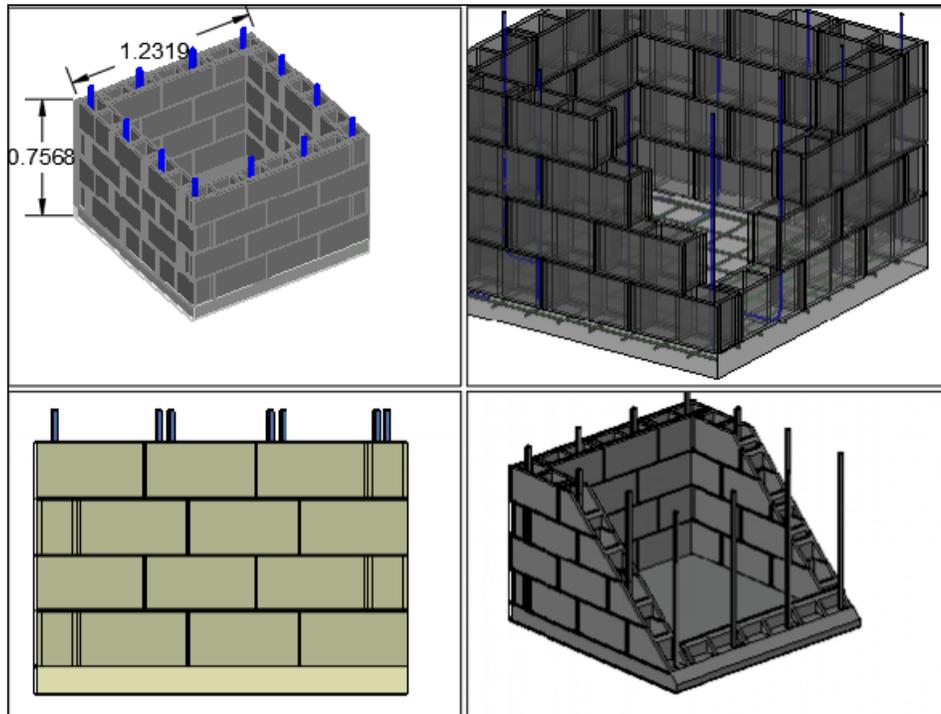
Esquema - Etapa 2- Instalación de tubería de derivación hacía El Zacatín.



Nota. La tubería ilustrada en color azul representa la red ya existente y la tubería ilustrada en color rojo representa la que se pretende instalar.

Figura 14

Diseño estructural de caja para macromedidor de etapa 2.

**Figura 15**

Montaje de estación de macromedición.

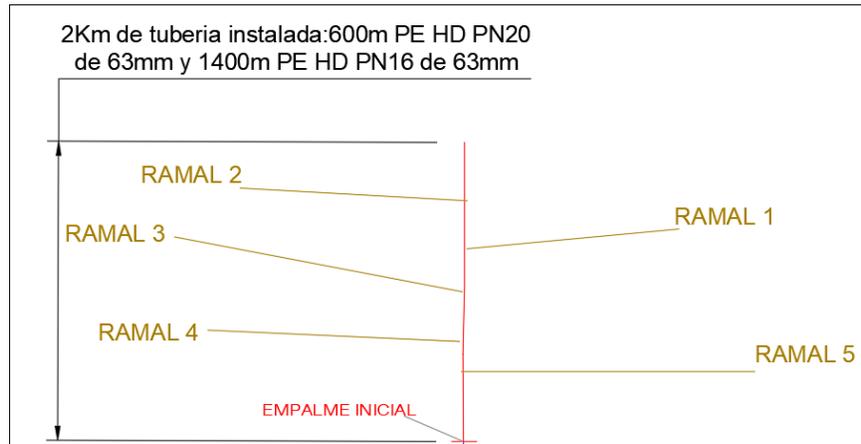


Finalmente, la etapa 3 consiste en la instalación de los ramales como se presenta en la **Figura 16**, de los cuales se derivarán las acometidas domiciliarias que entregarán el agua a los

hogares (**Figura 17, Figura 18**), adicionalmente se instalaron los contadores locales como se puede observar en la **Figura 19**.

Figura 16

Esquema - Etapa 3- Instalación ramales y acometidas domiciliarias.



Nota. La tubería ilustrada en color dorado representa los ramales que llevaran el agua a los hogares y la tubería ilustrada en color rojo representa el tramo principal que se pretende instalar.

Figura 17

Derivación para ramal - De diámetro de 63mm a 40mm.



Figura 18

Derivaciones de ramales a acometidas domiciliarias 1/2 pulgada.



Figura 19

Instalación de contadores locales - acometidas domiciliarias.



4 Resultados

4.1 Visita y reconocimiento de campo

A partir del reconocimiento de campo y estudio previo se pudieron identificar posibles inconvenientes, para formular un plan de acción con decisiones anticipadas y de esta forma evitar contratiempos.

Como resultado del reconocimiento de campo, se presenta un fragmento del registro fotográfico en la **Figura 20**, **Figura 21** y **Figura 22**.

Entre algunos de los obstáculos encontrados en la ruta del trazado para la instalación de la tubería se encontró:

- La presencia de tuberías de conducción y de drenaje que podrían ser afectadas durante las actividades de excavación.
- Existencia de una rasante tipo placa huella para la cual sería necesaria el uso de herramienta especial de rotura de pavimentos, además condicionaba el trazado ya que se hacía necesario definir la ruta de tal forma que se evitara en lo posible intervenir el pavimento y de esta forma ahorrar recursos en tiempo y reposición de la rasante pavimentada.
- La presencia de un afluente o fuente superficial que representa un obstáculo para el trazado de la línea de tubería y que hace necesaria la solicitud y obtención de un permiso de ocupación de cauce ante la autoridad ambiental correspondiente.

Figura 20

Registro fotográfico recorrido de campo.



Nota. Se puede observar que le la ruta del se encuentran obstáculos tales como tuberías de drenaje, afluentes superficiales que requieren permiso de ocupación y una rasante tipo placa huella que dificulta las actividades de movimientos de tierra.

Figura 21

Placa huella situada en la ruta hacia la vereda El Zacatín.



Figura 22

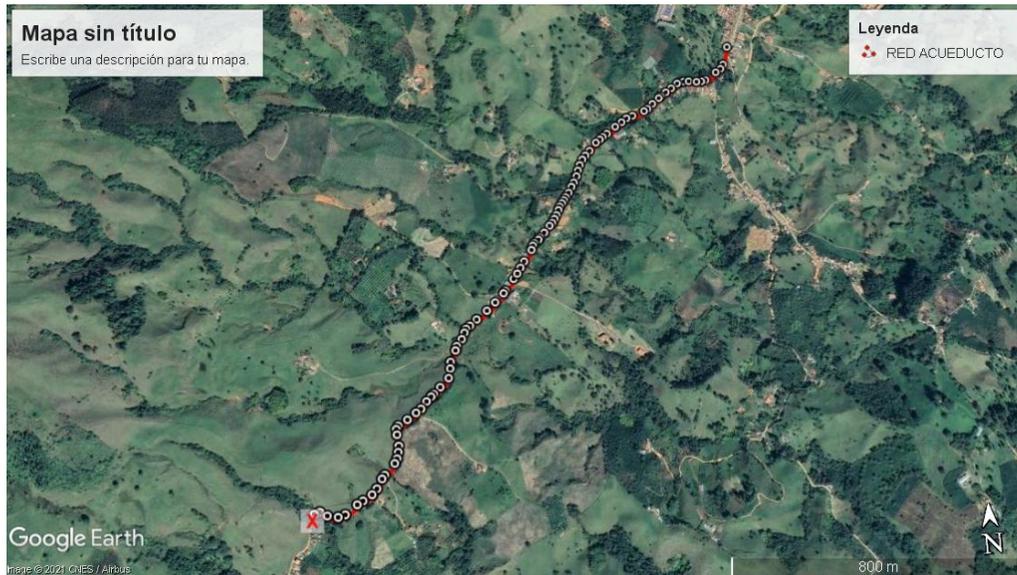
Muestra de la composición del suelo in situ.

**4.2 Estudio topográfico**

Para el estudio topográfico se definieron algunos puntos de referencia ubicados en el trazado de la línea de conducción (**Figura 23**) sobre los cuales se hizo la comparación de alturas con el punto de partida, es decir, el tanque de almacenamiento del sistema de acueducto. Como resultado del chequeo de diferencia de altitud se encontró que el punto de referencia más desfavorable, es decir, aquel con la mínima diferencia de nivel con el punto partida tenía un rango de altura piezométrica de alrededor de 30 metros, resultado que se consideró bastante satisfactorio como para decidir que el sistema trabajara por caída gravitacional y cumpliera con la demanda de presión que tenía el sitio de abastecimiento sin necesidad de emplear bombeo.

Figura 23

Trazado de puntos topográficos sobre la trayectoria de instalación de la tubería.



Nota. Trazado tomado de Google Earth

4.3 Diseño de la línea de acueducto

Como resultado de los cálculos se obtuvo, que para cumplir con las condiciones dadas mencionadas en la metodología, se debía emplear un diámetro de 2 pulgadas o 63 milímetros, por otro lado, dado que el nivel de amenaza sísmica de la zona de ubicación del municipio de Jericó es alto, el material elegido para la línea de tubería fue el polietileno de alta densidad, esto debido a que dicho material permite la realización de uniones o empalmes entre tramos de tubería por el método de la termofusión (**Figura 24, Figura 25**), este tipo de empalmes presenta una mayor resistencia y una mejor respuesta ante eventos sísmicos, además existen otras ventajas del polietileno de alta densidad (PE HD) como por ejemplo que los fabricantes ofrecen garantía de 30 años en exposición a la intemperie.

Figura 24

Unión realizada con máquina de termofusión para tubería de polietileno de alta densidad.

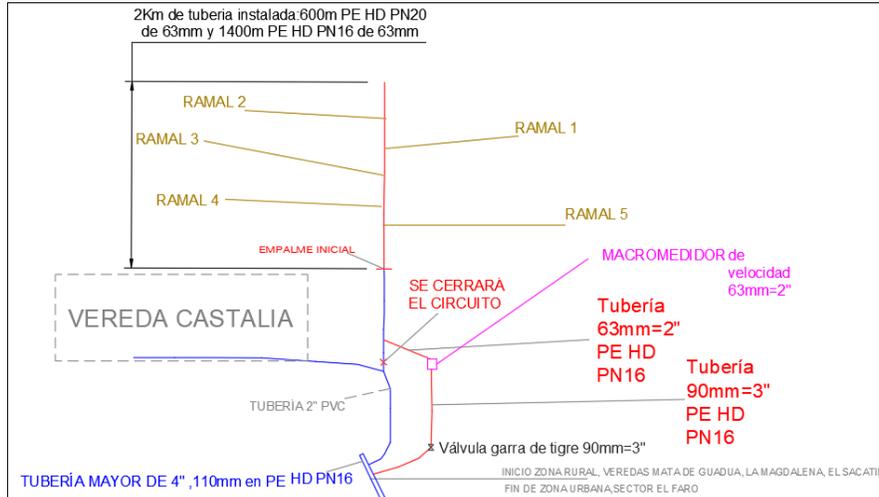
**Figura 25**

Máquina de termofusión para uniones de tuberías PE HD.



Partiendo del punto inicial, los primeros 600 metros aproximadamente de tubería se plantearon en PE HD de presión nominal 20 y los siguientes 1400 metros aproximadamente en PE HD de presión nominal 16, esto debido a que a medida que se avanza en el trayecto de tubería la presión del fluido disminuye por las pérdidas generadas por fricción, por lo tanto, el usar el calibre adecuado proporciona un ahorro en el suministro de material. En la **Figura 26** se presenta el avance por etapas del proyecto, en su trayecto final.

Figura 26
Esquema del diseño por etapas.



Nota. La tubería ilustrada en color azul representa la red ya existente y la tubería ilustrada en color rojo representa la que se pretende instalar.

4.4 Instalación de la tubería

Como resultado de este proyecto, se logró la ejecución de la obra con una inversión final que guarda una diferencia de 0.36% por debajo del presupuesto inicial previsto (ver Anexo), cumpliendo así con el objetivo principal de abastecer a la comunidad de la vereda de El Zacatín con el servicio de agua potable con una presión suficiente para cubrir las necesidades del hogar.

5 Conclusiones

El valor del agua para la sociedad se sustenta en la infraestructura hidráulica que sirve para almacenar o mover agua. Pero su valor va más allá del costo de la propia infraestructura e incluye los diversos beneficios que brinda. Los beneficios sociales que se obtienen a menudo no están cuantificados. La valoración de la infraestructura hidráulica se centra en los costos y rendimientos financieros, a menudo, se omiten los costos indirectos, en particular los sociales y ambientales, que se tratan como externalidades. Proyectos de este tipo apuntan hacia el cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 que se refiere a lograr garantizar para 2030 la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Agua limpia y saneamiento básico adecuado: hacia una gestión responsable, sostenible y equitativa.

Referencias

- Bakalian, A. W. (2009). *Post-construction support and sustainability in community managed rural water supply: case studies in Peru, Bolivia and Ghana, Working Paper Report*.
- Corcho, F. (2005). *Acueductos teoría y diseño*. Medellín: Universidad de Medellín.
- DNP. (2014). *CONPES 3810*.
- Franek, A. K. (2015). *Agua para un mundo sostenible*. UNESCO.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021, Marzo 09). Retrieved from Plan Nacional de Abastecimiento de Agua Potable Y Saneamiento Básico Rural: <https://minvivienda.gov.co/>
- Molina, J. E. (2018). *El derecho humano al agua potable en Colombia: decisiones del estado y de los particulares*.
- Sanabria, A. (2010). *Operación y mantenimiento de sistemas de agua*.
- Smits, S. S. (2003). *Reconocer la realidad: el uso múltiple de los sistemas de abastecimiento de agua en zonas rurales*. Cartagena de Indias.
- UNESCO. (2020). *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. Retrieved from <https://en.unesco.org/>

Anexos

Figura 27
Acta de liquidación final - Total presupuestado - Total ejecutado.

| ACTA DE LIQUIDACIÓN Y CANTIDAD DE OBRA EJECUTADA DE LA RED DE ACUEDUCTO DEL SECTOR EL FARO, ZACATIN, CIPRECES ,MAGDALENA, MATA DE GUADAUA.(MUNICIPIO DE JERICÓ ANTIOQUIA) | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------|--------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| ITEM | DESCRIPCIÓN | UN. | CANTIDAD INICIAL | CANTIDAD EJECUTADA | VALOR UNITARIO | SUB-TOTAL INICIAL | SUB-TOTAL EJECUTADO |
| 1 | Excavaciones | | | | | | |
| 1 | Excavación manual o mecánica en material común a profundidad de 0-2m, bajo cualquier condición de humedad. | m ³ | 756 | 784.6 | \$ 20,000.00 | \$ 15,120,000.00 | \$ 15,692,000.00 |
| 2 | Rotura de pavimentos y concretos. | m ³ | 10 | 4.15 | \$ 220,000.00 | \$ 2,200,000.00 | \$ 913,000.00 |
| 3 | Excavación en afirmado de vía. | m ³ | 126 | 80 | \$ 35,000.00 | \$ 4,410,000.00 | \$ 2,800,000.00 |
| 2 | Llenos compactados | | | | | | |
| 1 | Lleno compactado mecánicamente con material de la excavación. | m ³ | 756 | 784.6 | \$ 18,000.00 | \$ 13,608,000.00 | \$ 14,122,800.00 |
| 2 | Lleno afirmado. | m ³ | 126 | 80 | \$ 120,000.00 | \$ 15,120,000.00 | \$ 9,600,000.00 |
| 3 | Suministro y transporte de tubería de polietileno PE100 PN16 63mm. | ml | 1500 | 1200 | \$ 16,277.00 | \$ 24,415,500.00 | \$ 19,532,400.00 |
| 4 | Suministro y transporte de tubería de polietileno PE100 PN20 63mm. | ml | 600 | 600 | \$ 20,000.00 | \$ 12,000,000.00 | \$ 12,000,000.00 |
| 5 | Suministro y transporte de tubería de polietileno PE100 PN16 90mm. | ml | 0 | 180 | \$ 70,000.00 | \$ - | \$ 12,600,000.00 |
| 6 | Suministro y transporte de cinta zul para señalización de tuberías. | ml | 2100 | 1980 | \$ 2,000.00 | \$ 4,200,000.00 | \$ 3,960,000.00 |
| 7 | Valvula garra de tigre 2". | un | 4 | 1 | \$ 225,000.00 | \$ 900,000.00 | \$ 225,000.00 |
| 8 | Tee de polietileno de 4x2 para purgas. | un | 3 | 0 | \$ 220,000.00 | \$ 660,000.00 | \$ - |
| 9 | Reposición de concreto. | m ³ | 10 | 3.5 | \$ 550,000.00 | \$ 5,500,000.00 | \$ 1,925,000.00 |
| 10 | Cruce de quebradas. | un | 3 | 3 | \$ 2,500,000.00 | \$ 7,500,000.00 | \$ 7,500,000.00 |
| 11 | Macromedidores de 2". | un | 1 | 1 | \$ 5,000,000.00 | \$ 5,000,000.00 | \$ 5,000,000.00 |
| 12 | Tee de polietileno 2x2. | un | 3 | 0 | \$ 75,000.00 | \$ 225,000.00 | \$ - |
| SUBTOTAL CONTRACTUAL DEL RAMAL PRINCIPAL | | | | | | \$ 110,858,500.00 | \$ 105,870,200.00 |
| | | | | | | ADMINISTRACIÓN | \$ 21,174,040.00 |
| | | | | | | SUBTOTAL | \$ 127,044,240.00 |
| 3 | OBRAS EXTRAS | | | | | | |
| 1 | Tee de polietileno 4"x3". | un | 0 | 1 | \$ 450,000.00 | \$ - | \$ 450,000.00 |
| 2 | Válvula garra de tigre 3". | un | 0 | 1 | \$ 720,000.00 | \$ - | \$ 720,000.00 |
| 3 | Extracción y demolición de roca mayor a 30kg. | m ³ | 0 | 15 | \$ 85,000.00 | \$ - | \$ 1,275,000.00 |
| 4 | Rocería de maleza sobre zanja. | ml | 0 | 696 | \$ 1,200.00 | \$ - | \$ 835,200.00 |
| 5 | Daños de acometidas veredales (Tubería y accesorios). | un | 0 | 12 | \$ 20,000.00 | \$ - | \$ 240,000.00 |
| 6 | Excavación y llenado de nichos para soldaduras de tubería PE HD. | m ³ | 0 | 39 | \$ 38,000.00 | \$ - | \$ 1,482,000.00 |
| 7 | Instalación valvula de paso y accesorios para conexión de red de acueducto existente a la red nueva instalada en "Aromas del campo". | un | 0 | 1 | \$ 150,000.00 | \$ - | \$ 150,000.00 |
| SUBTOTAL OBRAS EXTRAS | | | | | | \$ - | \$ 5,152,200.00 |
| | | | | | | ADMINISTRACIÓN | \$ 1,030,440.00 |
| | | | | | | SUBTOTAL | \$ 6,182,640.00 |
| | | | | | | GRAN TOTAL | \$ 133,226,880.00 |