



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**“DISEÑO DE UN MINI ACUEDUCTO POR BOMBEO ELÉCTRICO Y
SANEAMIENTO BÁSICO PARA LA COMUNIDAD DE SUBTIABA, MUNICIPIO
DE ESTELÍ, DEPARTAMENTO DE ESTELÍ”**

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Donald de Jesús Illescas Espinoza

Br. Alberth Mauricio Lanuza Pineda

Br. Brayan Antonio Sandoval López

Tutor

M.Sc. Ing. José Ángel Baltodano Maldonado

Managua, Junio 2021

Dedicatoria

Dedico este trabajo monográfico de manera especial:

A Nuestro Señor **Dios**, Uno y Trino, por cuya Providencia me ha brindado la vida, la sabiduría y los seres amados que me han dado apoyo, elementos necesarios para el culmen de este trabajo monográfico.

A la **Inmaculada** Madre de Dios, a quién he dedicado de forma filial esta monografía.

A **San Luis Gonzaga**, patrono de la juventud, a quien profeso gran devoción y deseos de imitar.

A mis padres **Enrique Octavio Illescas Rivera** y **Elizabeth Espinoza Blandón**, por haberme brindado su apoyo y cariño durante toda mi vida, ya que sin el esfuerzo y sacrificio de ellos no sería posible la realización de todos mis estudios y más aún, de la persona que actualmente soy.

A **todos mis hermanos**, por siempre darme apoyo y ánimos para la finalización de este trabajo monográfico y a quienes les tengo gran cariño y admiración.

A mis compañeros de tesis y amigos **Alberth Mauricio Lanuza Pineda** y **Brayan Antonio Sandoval López**, por haber sido motivo de la culminación exitosa de este trabajo monográfico en equipo.

De la misma manera dedico este trabajo a todos mis profesores, que han sido los que me han formado tanto en conocimiento como en valores.

Br. Donald de Jesús Illescas Espinoza

Dedicatoria

Con todo mi amor, cariño y entrega dedico esta monografía:

Principalmente a **Dios por su infinita misericordia**, por brindarme la vida, sabiduría, y entendimiento con el día a día; porque sin él somos como una hoja seca desprendida de un árbol que se la lleva el viento, por bendecirme, por permitirme hoy alcanzar una de mis metas y sobre todo nunca dejarme cuando siempre lo he necesitado.

A mis padres **Albert Mauricio Lanuza Valdivia y Aleyda María Pineda Lorente** por apoyarme en cada instante para poder alcanzar mis sueños, confiar, brindarme su comprensión, amor incondicional, por ser los pilares en mi vida; porque a pesar de las dificultades que se presentan en la vida han logrado sostenerme para salir adelante, brindándome la oportunidad de culminar mis estudios con éxito, por educarme en la forma en que lo han hecho, por orientarme por el camino del bien, por inculcarme en las cosas sagradas de Dios, por esas palabras de aliento que me ayudaron a seguir en pie y porque son mi ejemplo a seguir, padres este logro es nuestro.

Al resto de mi familia por creer en mí, por depositar palabras de aliento cuando más lo necesitaba, por sus incansables oraciones en las cuales estuve y he estado siempre, sobre todo el amor y apoyo infinito que siempre me han brindado.

A mis compañeros **Donald de Jesús Illescas Espinoza y Brayan Antonio Sandoval López**; porque juntos lograremos cumplir esta meta propuesta para con nuestras vidas, por su empeño, entrega y dedicación a lo largo de este proceso y sobre todo por los consejos y apoyo entre nosotros que nos hemos dado.

Agradezco de corazón a todas las personas que me han apoyado e incluido en sus oraciones durante este proceso, por palabras de aliento que fueron de gran ayuda para conseguir esta meta.

Br. Alberth Mauricio Lanuza Pineda

Dedicatoria

Dedico esta monografía:

Principalmente a **Dios** por su eterna misericordia, por darme la vida, la sabiduría cada día, por bendecirme y permitirme hoy alcanzar una de mis metas.

A mis padres **Reyna Isabel López Juárez** y **Pablo Antonio Sandoval Martínez** por ayudarme a lograr mis metas, brindarme su comprensión, amor incondicional y creer siempre en mí, por ser los cimientos de mi vida, ya que, muchos de mis logros se los debo a ustedes incluyendo éste, a pesar de las dificultades han logrado que salga adelante, me enseñaron a nunca rendirme, a ser valiente, a formarme como un hombre de bien y perseguir siempre mis sueños, dándome la oportunidad de culminar este logro con satisfacción y orgullo.

A mi familia por siempre creer en mí, apoyarme en los momentos más difíciles de mi vida y darme palabras de sabiduría para seguir adelante.

A mis compañeros **Donald de Jesús Illescas Espinoza**, **Alberth Mauricio Lanuza Pineda** porque juntos logramos alcanzar esta meta, porque siempre formarán parte de mi corazón.

Agradezco de corazón a todos mis amigos y docentes de la universidad el cariño que me han brindado hacia mi persona durante esta etapa de mi vida, ya que sin ustedes esto no sería posible, gracias a todos por contribuir a que este triunfo sea posible, por demostrar su apoyo durante este periodo.

Br. Brayan Antonio Sandoval López

Agradecimiento

Agradecemos principalmente a Dios por derramar infinitas bendiciones sobre cada uno de nosotros, por brindarnos la sabiduría, inteligencia y el entendimiento necesario para lograr culminar nuestros estudios, por estar presente en cada uno de los momentos de nuestras vidas y manifestar su presencia en nosotros.

A nuestros padres por ser los principales pilares para poder alcanzar nuestros sueños, por poder y confiar en cada uno de nosotros, por estar siempre dándonos palabras de aliento cuando más lo hemos necesitado y por su insaciable apoyo incondicional para con nosotros.

Gracias a nuestros hermanos, hermanas, demás familiares y amigos por estar siempre alentándonos y por su apoyo incondicional con palabras de motivación en nuestro proceso de formación.

A nuestro tutor M.Sc. Ing. José Ángel Baltodano Maldonado por instruirnos en nuestro proceso de trabajo monográfico, por su tiempo, su dedicación entrega, paciencia y por su amistad brindada.

A la delegación municipal de ENACAL quien nos colaboró con el aforo del pozo.

Gracias a nuestros docentes que compartieron su conocimiento, sabiduría y experiencia en el proceso de formación como profesionales, por su esfuerzo, entrega y dedicación durante estos 5 años formándonos como profesionales.

Br. Donald de Jesús Illescas Espinoza

Br. Alberth Mauricio Lanuza Pineda

Br. Brayan Antonio Sandoval López

Resumen del tema

La comunidad de Subtiaba, localizada en el municipio de Estelí, en el departamento de Estelí, Nicaragua, afronta un gran problema que afecta el desarrollo humano de los habitantes de la comunidad, y es la carencia del agua en todos los meses del año, así como la falta de letrinas en buen estado para un 58% de la población.

En vista de estos problemas que afectan a aproximadamente 300 personas; en el presente trabajo monográfico se determinó de forma detallada el diseño de un mini acueducto por bombeo eléctrico, para solucionar la problemática de agua potable de la comunidad en un período de 20 años, aplicando para este diseño la norma nicaragüense NTON 09-001-99, y de la misma manera se propuso un sistema de saneamiento básico rural, mediante letrinas de foso ventilado, empleando la norma mencionada con anterioridad.

En la parte central del presente documento, referente a los resultados obtenidos, se puede observar, en primera instancia, el desarrollo del estudio socioeconómico que equivale al análisis de las encuestas aplicadas a la población para determinar principalmente la demanda de agua potable de los habitantes, así como la aceptación del proyecto.

En segundo lugar, se muestra el resultado del levantamiento topográfico realizado, para determinar las elevaciones del terreno y considerar el lugar más conveniente por el cual deben pasar las tuberías del sistema de agua potable.

Luego, se presentan los resultados del aforo del pozo de Subtiaba, propuesto como fuente principal de abastecimiento para todo el sistema de agua potable, comparando estos resultados de aforo con la demanda de la población y determinar así su elección.

Puede observarse en cuarto lugar, las características físicas-químicas y bacteriológicas del agua, obtenidas de los análisis de laboratorio, con el fin de definir el tratamiento adecuado que debe aplicársele al agua.

Posteriormente, se muestra el diseño hidráulico completo y dimensionamiento del mini acueducto por bombeo eléctrico por parte, empezando por la obra de captación de agua, referente al pozo, en su profundidad y niveles de bombeo, tomando en cuenta las variaciones estacionales. Luego, la línea de conducción, dividiéndose esta parte en el trazo de la línea, determinación del caudal de bombeo, la selección de los diámetros de tubería adecuados y por último la selección de la bomba más conveniente para la línea de conducción. Seguido, el tanque de almacenamiento y la red de distribución, dividiéndose en la determinación de la demanda por nodos, selección de los diámetros con su respectivo análisis hidráulico, atendiendo siempre los límites y restricciones de velocidad y presiones en las tuberías, acorde la normativa nacional, continuando con el análisis de cloro residual para toda la red de distribución, todo lo anterior utilizando el software EPANET.

Por otro lado, en la sexta y séptima parte, se presentan los resultados de diseño de las letrinas de foso ventilado y los planos tanto de la integridad del mini acueducto por bombeo eléctrico previamente diseñado como de las letrinas propuestas, respectivamente.

Como octava parte, es posible ver el presupuesto de todo el proyecto (aplicable para el año 2021) que consta de: Sistema de agua potable y el saneamiento básico rural, con el fin de tener una referencia tanto para la Alcaldía de Estelí como para los habitantes de la comunidad para la futura realización del proyecto.

Por último, en el presente documento, se muestran las conclusiones a partir de los resultados obtenidos, dando respuesta a los objetivos propuestos en este estudio; de manera consecutiva se muestran las recomendaciones, referente al seguimiento que deberá hacerse al presente proyecto. En el final, es posible ver los anexos, en donde se plasman tablas, imágenes y otros complementos, para darle un mejor fundamento al presente estudio.

Índice de contenido

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

| | |
|--|---|
| 1.1. Introducción..... | 1 |
| 1.2. Antecedentes | 2 |
| 1.3. Justificación..... | 3 |
| 1.4. Objetivos | 4 |
| 1.4.1. General | 4 |
| 1.4.2. Específicos | 4 |
| 1.5. Descripción del área de estudio | 5 |
| 1.5.1. Macro y micro localización | 5 |

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

| | |
|--|----|
| 2. Marco teórico | 8 |
| 2.1. Estudio socioeconómico | 8 |
| 2.2. Estudio topográfico | 8 |
| 2.3. Proyección poblacional y dotación | 8 |
| 2.4. Nivel de servicio | 9 |
| 2.4.1. Conexiones domiciliarias | 9 |
| 2.5. Parámetros de diseño | 9 |
| 2.5.1. Período de diseño..... | 9 |
| 2.5.2. Variaciones de consumo..... | 10 |
| 2.5.3. Presiones y velocidades permisibles | 10 |
| 2.5.4. Cobertura de tuberías y pérdidas de agua en el sistema..... | 10 |
| 2.6. Fuente de abastecimiento | 11 |
| 2.7. Mini acueductos por bombeo eléctrico (MABE) | 11 |

| | |
|---|-----------|
| 2.8. Estación de bombeo y sarta de bombeo..... | 11 |
| 2.8.1. Bombas verticales..... | 12 |
| 2.9. Calidad del agua y desinfección..... | 13 |
| 2.10. Línea de conducción | 13 |
| 2.11. Almacenamiento de agua | 14 |
| 2.12. Red de distribución | 15 |
| 2.13. Análisis hidráulico | 16 |
| 2.14. Saneamiento básico rural y Letrinas de Foso Ventilado (LFV) | 16 |
| 2.15. Presupuesto del proyecto | 16 |
| | |
| CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO | 17 |
| 3. Diseño metodológico..... | 18 |
| 3.1. Tipo de investigación | 18 |
| 3.2. Materiales y herramientas..... | 18 |
| 3.3. Estudio socioeconómico | 18 |
| 3.4. Estudio topográfico | 18 |
| 3.5. Aforo de la fuente..... | 19 |
| 3.6. Análisis de calidad de agua | 20 |
| 3.7. Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable | 20 |
| 3.7.1. Población de diseño..... | 20 |
| 3.7.2. Gastos de diseño | 21 |
| 3.7.3. Diseño de la línea de conducción por bombeo | 22 |
| 3.7.4. Diseño del almacenamiento de agua potable | 26 |
| 3.7.5. Diseño de la red de distribución..... | 26 |
| 3.8. Desinfección de agua utilizando cloro..... | 28 |

| | |
|---|----|
| 3.9. Diseño de letrinas de foso ventilado | 29 |
| 3.10. Elaboración de los planos | 29 |
| 3.11. Presupuesto | 29 |

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS30

| | |
|---|----|
| 4. Análisis y presentación de los resultados | 31 |
| 4.1. Estudio socioeconómico | 31 |
| 4.1.1. Población | 31 |
| 4.1.2. Rango de edad de la población | 32 |
| 4.1.3. Nivel académico y ocupación..... | 33 |
| 4.1.4. Ingresos y capacidad de pago | 34 |
| 4.1.5. Validación y aceptación del proyecto | 36 |
| 4.2. Población de diseño | 39 |
| 4.3. Gastos de diseño | 41 |
| 4.4. Levantamiento topográfico | 44 |
| 4.5. Aforo de la fuente de agua | 45 |
| 4.6. Análisis de calidad de agua | 47 |
| 4.7. Línea de conducción | 49 |
| 4.7.1. Trazo de la línea de conducción por bombeo eléctrico | 49 |
| 4.7.2. Gasto de diseño | 50 |
| 4.7.3. Determinación de la cota mínima de bombeo..... | 51 |
| 4.7.4. Selección de los diámetros de tubería | 51 |
| 4.8. Diseño del tanque de almacenamiento | 66 |
| 4.9. Red de distribución | 68 |
| 4.9.1. Trazado de la red de distribución..... | 68 |

| | |
|--|-----------|
| 4.9.2. Definición de caudales por nodo..... | 69 |
| 4.9.3. Determinación de los diámetros de las tuberías | 74 |
| 4.9.4. Análisis hidráulico de la red de distribución | 76 |
| 4.10. Desinfección del agua para la red de distribución..... | 86 |
| 4.10.1. Cantidad de cloro a utilizar | 86 |
| 4.10.2. Análisis de cloro residual | 87 |
| 4.11. Propuesta de saneamiento básico rural..... | 90 |
| 4.11.1. Letrinas de foso ventilado y su ubicación | 90 |
| 4.12. Presupuesto de la obra | 93 |
| 4.12.1. Sistema de agua potable | 93 |
| 4.12.2. Letrinas de foso ventilado | 95 |
| | |
| CAPÍTULO V: CONCLUSIONES | 97 |
| 5.1. Conclusiones..... | 97 |
| 5.2. Recomendaciones | 100 |
| 5.3. Bibliografía | 102 |
| | |
| Anexos | i |

TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Censo poblacional..... | 31 |
| Tabla 2: Censo para la comunidad de Subtiaba..... | 39 |
| Tabla 3: Proyección poblacional para 20 años..... | 40 |
| Tabla 4: Caudales de diseño y volumen de almacenamiento..... | 43 |
| Tabla 5: Resumen de elevaciones..... | 44 |
| Tabla 6: Diferencia de elevaciones..... | 45 |
| Tabla 7: Resultados del aforo del pozo..... | 46 |
| Tabla 8: Datos de nivel de agua del pozo..... | 46 |
| Tabla 9: Resultados de laboratorio de la prueba físico-química..... | 48 |
| Tabla 10: Resultados de las pruebas de metales pesados..... | 48 |
| Tabla 11: Resultados de las pruebas bacteriológicas..... | 48 |
| Tabla 12: Diámetros comerciales para la línea de conducción..... | 53 |
| Tabla 13: Comparación de pérdidas por fricción según diámetro..... | 53 |
| Tabla 14: Valor K de la sarta de bombeo..... | 55 |
| Tabla 15: Carga dinámica total por diámetro de tubería..... | 56 |
| Tabla 16: Potencia teórica de la bomba según el diámetro de tubería..... | 58 |
| Tabla 17: Costos de tubería e instalación para $\varnothing = 1 \frac{1}{4}$ "..... | 59 |
| Tabla 18: Costos de tubería e instalación para $\varnothing = 1 \frac{1}{2}$ "..... | 59 |
| Tabla 19: Consumo de energía eléctrica por diámetro de tubería..... | 60 |
| Tabla 20: Resumen de costos totales según diámetro..... | 60 |
| Tabla 21: Datos para calcular la sobrepresión por golpe de ariete..... | 64 |
| Tabla 22: Sobrepresión debido al golpe de ariete por tramo de tubería..... | 64 |
| Tabla 23: Resumen de las dimensiones del tanque de almacenamiento..... | 67 |
| Tabla 24: Caudal por tramo de tubería..... | 70 |
| Tabla 25: Caudal en los nodos de la red de distribución..... | 71 |
| Tabla 26: Caudales reales por tramo en la red de distribución..... | 73 |
| Tabla 27: Diámetro de tuberías por tramo en la red de distribución..... | 75 |
| Tabla 28: Velocidades reales en la red de distribución..... | 76 |
| Tabla 29: Presiones en la red de distribución..... | 78 |

| | |
|--|--------|
| Tabla 30: Velocidades en la red de distribución con pilas y válvulas rompe presión. | 80 |
| Tabla 31: Presión en los nodos de la red con pilas y válvulas rompe presión.... | 81 |
| Tabla 32: Análisis de presiones en la red de distribución con demanda cero. ... | 84 |
| Tabla 33: Cloro residual en la red de distribución a las 24 hrs de funcionamiento. | 89 |
| Tabla 34: Localización de letrinas. | 91 |
| Tabla 35: Presupuesto del sistema de agua potable de la comunidad Subtiaba, Estelí, Nicaragua. | 93 |
| Tabla 36: Presupuesto de letrinas de foso ventilado. | 95 |
| Tabla 37: Resultados del levantamiento topográfico para el camino principal. | v |
| Tabla 38: Resultados del levantamiento topográfico para las ramificaciones..... | x |
| Tabla 39: Parámetros de clasificación para fuentes de agua tipo 1-A..... | xx |
| Tabla 40: Certificado de prueba físico-química del agua..... | xxi |
| Tabla 41: Certificado de prueba de metales pesados en el agua..... | xxii |
| Tabla 42: Certificado de prueba bacteriológica. | xxiii |
| Tabla 43: Factor K según material de la tubería. | xxvi |
| Tabla 44: Catálogo de tuberías HG cédula 40..... | xxvi |
| Tabla 45: Catálogo de tuberías PVC SDR-26. | xxvii |
| Tabla 46: Longitud equivalente de diversos accesorios. | xxvii |
| Tabla 47: Pérdidas de energía de accesorios de tubería. | xxviii |
| Tabla 48: Tarifas de energía eléctrica. | xxviii |
| Tabla 49: Agentes patógenos transmitidos por el agua y su importancia en los sistemas de abastecimientos..... | xxix |

GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1: Tipo de ocupación por lote..... | 31 |
| Gráfico 2: Rango de edades según el género. | 32 |
| Gráfico 3: Nivel académico de los pobladores de Subtiaba. | 33 |
| Gráfico 4: Ocupación..... | 34 |
| Gráfico 5: Ingreso por mes. | 34 |
| Gráfico 6: Último pago mensual de energía eléctrica. | 35 |
| Gráfico 7: Disponibilidad de pago por servicio de agua potable..... | 36 |
| Gráfico 8: Viajes para recolección de agua. | 36 |
| Gráfico 9: Encargado de acarrear el agua..... | 37 |
| Gráfico 10: Calidad del agua..... | 37 |
| Gráfico 11: Viviendas con letrinas. | 38 |
| Gráfico 12: Resumen de estado de letrinas..... | 38 |
| Gráfico 13: Disposición para el proyecto de agua potable y saneamiento. | 39 |
| Gráfico 14: Proyección poblacional para el año 2041. | 41 |
| Gráfico 15: Caudales de diseño. | 43 |
| Gráfico 16: Pérdidas de carga por fricción en la línea de impulsión..... | 54 |
| Gráfico 17: Pérdidas de carga en la sarta de bombeo. | 55 |
| Gráfico 18: Curva de pérdidas en el sistema según el diámetro de tubería. | 57 |
| Gráfico 19: Comparativa de costos según diámetro de tubería..... | 61 |
| Gráfico 20: Curva de pérdidas en el sistema para $\varnothing = 1\ 1/2"$ | 62 |
| Gráfico 21: Curva de rendimiento de bomba SP 3A-25..... | 63 |

ILUSTRACIONES

| | |
|---|-------|
| Ilustración 1: Macro localización del proyecto. | 5 |
| Ilustración 2: Micro localización del proyecto..... | 6 |
| Ilustración 3: Línea de Conducción. | 50 |
| Ilustración 4: Dimensiones del tanque de almacenamiento..... | 67 |
| Ilustración 5: Trazado de la red de distribución. | 68 |
| Ilustración 6: Ubicación de los nodos en la red de distribución. | 72 |
| Ilustración 7: Red de distribución ajustada con válvulas reductoras de presión. | 79 |
| Ilustración 8: Velocidades y presiones en la red de distribución con CRP y VRP. | 82 |
| Ilustración 9: Análisis de presiones en la red de distribución con demanda cero. | 83 |
| Ilustración 10: Análisis de cloro residual en la red de distribución..... | 88 |
| Ilustración 11: Detalle de letrinas de foso ventilado..... | 91 |
| Ilustración 12: Vista lateral de la letrina de foso ventilado. | 92 |
| Ilustración 13: Ubicación recomendada de las letrinas de foso ventilado..... | 92 |
| Ilustración 14: Aplicación de encuestas..... | iv |
| Ilustración 15: Finalización de las encuestas..... | iv |
| Ilustración 16: Ejecución del levantamiento topográfico. | xvii |
| Ilustración 17: Finalización del levantamiento topográfico..... | xvii |
| Ilustración 18: Aforo del pozo por el método volumétrico. | xviii |
| Ilustración 19: Toma de datos de los niveles del pozo con sonda electrónica.. | xviii |
| Ilustración 20: Medición de niveles de la fuente con sonda eletrónica. | xix |
| Ilustración 21: Toma de muestra del agua del pozo. | xxiv |
| Ilustración 22: Desinfección del grifo. | xxiv |
| Ilustración 23: Toma de muestra para prueba bacteriológica. | xxv |

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. Introducción

A pesar de que Nicaragua cuenta con un gran potencial en reservas de agua subterránea de 1429.5 millones de m³/año, acorde a la Asociación Mundial para el Agua (GWP, 2016), sin embargo, sólo el 69% de los habitantes de Nicaragua poseen servicio de agua potable por tuberías de acuerdo con (UNICEF & WHO, 2019), por lo que quiere decir que una buena parte (31%) de la población de Nicaragua actualmente padece por la falta de disponibilidad de este recurso y por un difícil acceso a las fuentes de agua, siendo éste problema más generalizado y agudo en las comunidades rurales del país.

Es así el caso de la comunidad de Subtiaba, que se ubica en el municipio de Estelí dentro del Departamento con el mismo nombre, en Nicaragua, ya que no cuenta con agua potable en todos los meses del año, viéndose los pobladores obligados a buscar fuentes de agua alternas y no seguras en cuestiones de salubridad, lo que afecta en gran manera el desarrollo económico y social de los habitantes de dicha comunidad, viéndose comprometido de la misma manera, el nivel de salud de los habitantes, influyendo negativamente en su calidad de vida, llegando incluso a obstaculizar las actividades básicas que el ser humano realiza cotidianamente.

De esta manera lo que se busca con el proyecto descrito en el presente documento es brindar a todos los pobladores de la comunidad de Subtiaba, agua potable que esté disponible todos los meses del año, a partir de un mini acueducto por bombeo eléctrico (MABE) diseñado según la norma técnica nicaragüense NTON 09-001-99, respectiva a las zonas rurales del país y atendiendo a las normas CAPRE de calidad de agua para consumo humano.

Así mismo, se hará una propuesta de saneamiento básico para mejorar el manejo correcto de los desechos fisiológicos de los pobladores y a su vez prevenir la contaminación de las fuentes de agua subterránea.

1.2. Antecedentes

De forma general, en Nicaragua se han construido 1050 mini acueductos por bombeo eléctrico, como solución a los problemas de abastecimiento de agua potable hasta el año 2019, de los cuales 309 corresponden a la región central y dentro de éstos 30 se han construido en el municipio de Estelí, según datos del Sistema de Información de Agua y Saneamiento Rural (SIASAR, 2019).

Ahora bien, en la comunidad Subtiaba, asentada hace unos 90 años según sus pobladores, se provee de agua hasta el momento, mediante un pozo perforado que tiene actualmente 25 años de estar en funcionamiento, no obstante, el agua es limitada a unos cinco galones por minuto, por lo que no tiene la capacidad suficiente para abastecer a todas las familias del sector. Además, cuenta con una red de tuberías que ya sobrepasó su vida útil, por lo que algunos de estos conductos se encuentran rotos u obstruidos.

El servicio de agua anteriormente se obtenía de un pozo público del cual se extraía de forma manual, sin embargo, el crecimiento de la comunidad alrededor del pozo y el uso de servicios sanitarios como letrinas, han contaminado el agua volviéndose de esta forma no apta para el consumo humano; las fuentes como riachuelos y pequeños ríos también se han visto afectados con el tiempo llegándose a secar casi en su totalidad.

Actualmente la población busca por diferentes medios para abastecerse del vital líquido y tiene que conformarse con la ínfima cantidad agua que les abastece el pozo antiguo, y es necesaria la ayuda de la alcaldía de Estelí, debido a que ésta brinda a la comunidad en ciertos períodos, cisternas que transportan agua desde la cabecera departamental.

En cuanto al saneamiento básico, los pobladores actualmente hacen uso de letrinas tradicionales como forma de manejo de las excretas, pero sin atender a las normativas y recomendaciones nacionales.

1.3. Justificación

A partir del conocimiento que el agua es un recurso muy importante para la existencia y desarrollo del ser humano, y que en Nicaragua el 60.6% de los habitantes de las zonas rurales no cuentan con un servicio de agua potable según la revista electrónica de Investigación de Ciencias Económicas de (Rodríguez, 2016), se verifica la trascendencia de este proyecto, que tiene como finalidad brindar a todos los habitantes de la comunidad de Subtiaba agua potable, en todo el transcurso de los veinte años de vida útil del sistema, para que puedan realizar con normalidad todas sus actividades cotidianas y también brindar a los pobladores una alternativa de saneamiento básico.

El proyecto, si se ejecuta, tendrá un impacto positivo para aproximadamente 300 personas, que podrán contar con agua potable todos los días del año y no tendrán más que depender de fuentes de agua desconfiables que pueden afectar la salud humana, también no será necesario que la Alcaldía de Estelí incurra en gastos concernientes a la provisión de cisternas de agua potable a la comunidad.

La calidad de vida de los habitantes de la comunidad de Subtiaba tendrá un incremento considerable, ya que podrán realizar todas las actividades diarias de manera rápida, debido a que no tendrán que preocuparse de la fatiga inherente a la búsqueda de fuentes de agua lejanas, y podrán contar con la cantidad necesaria de agua en todo momento. Además, gracias a la propuesta de saneamiento básico, la comunidad podrá tener mejores condiciones de higiene y salud, así como la prevención de la contaminación de las aguas subterráneas con coliformes fecales, ya que según (Weiss, Aw, Urquhart, Galeano, & Rose, 2016), los casos de enfermedades producidas por coliformes en el agua ascienden a los 57,106 casos al año a nivel nacional.

Por último, con este proyecto se está colaborando con el cumplimiento por parte de Nicaragua, de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) para el 2030, en específico el número seis, referente al agua limpia y saneamiento propuesto por las Naciones Unidas, enfocándose en las metas 6.1 y 6.2 según (UN, 2021).

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Diseñar un mini acueducto por bombeo eléctrico para el abastecimiento de agua potable, así como una propuesta de saneamiento básico para la comunidad de Subtiaba, municipio de Estelí, departamento de Estelí.

1.4.2. Específicos

1. Realizar un estudio socioeconómico de la población para la descripción demográfica, calidad de vida, nivel de ingresos y demanda de agua potable aplicando una encuesta en la comunidad de Subtiaba.
2. Realizar un levantamiento topográfico de altimetría en el área de la comunidad para la definición del relieve del terreno, utilizando estación total y AutoCAD Civil3D.
3. Realizar un aforo para la determinación del caudal de la fuente para el conocimiento de la capacidad que tiene esta fuente para la satisfacción de la demanda de la comunidad.
4. Determinar la calidad del agua subterránea de la fuente para el establecimiento del sistema de tratamiento adecuado, por medio de un análisis físico-químico y bacteriológico acorde a la NTON 05-007-98.
5. Hacer un análisis hidráulico para el trazado de las líneas de bombeo, conducción, distribución y dimensionamiento de un tanque de almacenamiento, según la NTON 09-001-99 y utilizando el software EPANET.
6. Proponer instalaciones de saneamiento básico rural para la prevención de la contaminación de las fuentes de agua acorde la norma técnica nacional.
7. Dibujar los planos generales del sistema de agua potable para su posterior ejecución utilizando AutoCAD y Civil 3D.
8. Elaborar el presupuesto del sistema de abastecimiento de agua para el conocimiento de los costos que intervienen en la construcción del mismo.

1.5. Descripción del área de estudio

1.5.1. Macro y micro localización

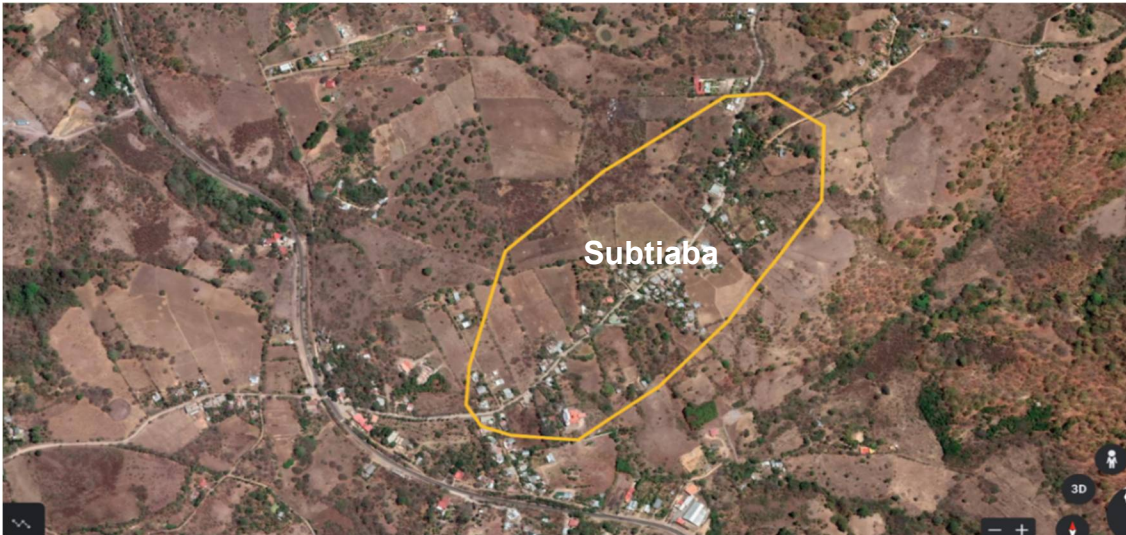
De acuerdo con la Alcaldía de Estelí, el Municipio está localizado entre las coordenadas 13°05'00" latitud norte y 86°21'00" longitud oeste. Se encuentra a una elevación de 844 msnm y cuenta con una extensión territorial de 795.7 km². La comunidad "Subtiaba" se localiza a 7 kilómetros al sur del Municipio, y a 140 kilómetros de la capital Managua. La comunidad está conformada por unas 100 viviendas las cuales se encuentran muy poco dispersas, la elevación estimada es de 1080 msnm.

Ilustración 1: Macro localización del proyecto



Fuente: Google Maps y Alcaldía de Estelí

Ilustración 2: Micro localización del proyecto



Fuente: Google Earth

Según la Alcaldía de Estelí, los límites de la comunidad Subtiaba son los siguientes:

- Al Norte: Limita con la comunidad Corre Viento.
- Al Sur: Limita con la comarca de Santa Cruz.
- Al Este: Limita con la comunidad Llano Redondo.
- Al Oeste: Limita con la comunidad El Naranjo.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2. Marco teórico

2.1. Estudio socioeconómico

El estudio socioeconómico permite tener información sobre los aspectos económicos, sociales, demográficos, así como una caracterización de las familias de la población, con el fin de dar una solución acertada a un problema, según la realidad de la localidad (CENEPRED, 2016).

Las variables que se consideran en un estudio socioeconómicos son, según (CSA, 2010):

- Población y densidad poblacional.
- Población por edad y género.
- Nivel educativo alcanzado.
- Ingreso per cápita y mediana del ingreso del hogar.
- Situación laboral.
- Ocupación de la vivienda.

2.2. Estudio topográfico

Los estudios topográficos se realizan con el fin de determinar la configuración del terreno y la posición sobre la superficie de la tierra, de elementos naturales o instalaciones construidas por el hombre. En un levantamiento topográfico se toman los datos necesarios para la representación gráfica o elaboración del mapa del área en estudio (Casanova, 2002).

2.3. Proyección poblacional y dotación

Generalmente, para realizar una proyección de población para futuro, la norma dispone que se debe utilizar el método geométrico, tomando una tasa de crecimiento entre el 2.5% y el 4%. Asimismo, conviene conocer la tasa de crecimiento histórico anual, para compararla con la obtenida en cada caso particular (INAA, 1999, pág. 9).

La norma técnica, (INAA, 1999, pág. 10), establece lo siguiente para la dotación en las zonas rurales:

- Para sistemas de abastecimiento de agua potable por medio de conexiones domiciliarias de patio, se asignará un caudal de 50 a 60 lppd.

2.4. Nivel de servicio

2.4.1. Conexiones domiciliarias

Las condiciones técnicas referidas por la norma nicaragüense expresan que, acorde (INAA, 1999, pág. 12):

- Se deberá realizar un estudio de factibilidad en el sistema, particularmente de la capacidad de la fuente.
- La conexión domiciliar llegará hasta el lindero de la propiedad, a partir de ahí la conexión correrá por cuenta del propietario.
- Se aplicarán todos los criterios técnicos señalados en la construcción de puestos públicos.
- El diámetro de las conexiones y de los grifos será de ½" (12 mm).

2.5. Parámetros de diseño

2.5.1. Período de diseño

El (INAA, 1999, pág. 14), establece que es recomendable fijar una vida útil a los sistemas de abastecimiento de agua con la finalidad de:

- Determinar qué períodos de estos componentes del sistema deberán satisfacer las demandas futuras de la comunidad.
- Qué elementos del sistema deben diseñarse por etapas.
- Cuáles serán las previsiones que deben de considerarse para incorporar los nuevos elementos al sistema.

Los períodos de diseño para un sistema de abastecimiento de agua potable son:

- Se diseñan a 10 años los pozos excavados.

- A 15 años, se deben diseñar los pozos perforados, las líneas de conducción y la red de distribución.
- A 20 años, se diseñan las captaciones superficiales y manantiales, así como los desarenadores, filtro lento y tanques de almacenamiento.

2.5.2. Variaciones de consumo

Las variaciones de consumo sirven de base para el dimensionamiento de la capacidad de obras de captación, línea de conducción y red de distribución (INAA, 1999, pág. 14).

Los valores que se consideran son:

- Un consumo máximo por día (CMD) igual a 1.5 del consumo promedio diario (CPD).
- Un consumo máximo (CMH) por hora igual a 2.5 del CPD.

2.5.3. Presiones y velocidades permisibles

La norma técnica (INAA, 1999, pág. 15) recomienda que, para brindar presiones adecuadas en el funcionamiento del sistema de abastecimiento, es necesario que se cumplan dentro de un rango permisible los valores:

- Presión mínima de 5 metros.
- Presión máxima de 50 metros.

Con el fin de reducir el impacto de fenómenos transitorios como el golpe de ariete en las tuberías o la sedimentación en las mismas, se establecen valores recomendados de velocidad, que con respecto a (INAA, 1999, pág. 15), son:

- Velocidad máxima de 2 m/s.
- Velocidad mínima de 0.4 m/s.

2.5.4. Cobertura de tuberías y pérdidas de agua en el sistema

Se establece que para sitios que correspondan a cruces de carreteras y caminos con mayor afluencia de tráfico, mantener una cobertura mínima de 1.20 metros

sobre la corona de las tuberías, y en caminos de poco tráfico vehicular, una cobertura de 1.0 metro sobre la corona del tubo (INAA, 1999, pág. 15).

En cuanto a las pérdidas en el sistema, la cantidad total de agua perdida, está fijada como un porcentaje del consumo promedio diario (CPD) cuyo valor no deberá ser mayor del 20% (INAA, 1999, pág. 16).

2.6. Fuente de abastecimiento

Las fuentes de abastecimiento de agua potable según (INAA, 1999, pág. 17) debe cumplir con al menos dos propósitos o requisitos fundamentales:

- Suministrar agua en cantidad suficiente para abastecer la demanda de la población durante el período de diseño considerado.
- Mantener las condiciones de calidad necesarias para garantizar la potabilidad de la misma.

2.7. Mini acueductos por bombeo eléctrico (MABE)

Según (INAA, 1999, pág. 19) se toman en consideración ciertos criterios para la elección de este tipo de sistema de abastecimiento de agua, siendo éstos:

- Disponibilidad de fuente de abastecimiento.
- Disponibilidad de energía eléctrica.
- Capacidad de pago de la comunidad.

2.8. Estación de bombeo y sarta de bombeo

Para las estaciones de bombeo según (INAA, 1999, pág. 20), deben considerarse los elementos que la forman: caseta de protección de conexiones eléctricas, o mecánicas, conexión de bomba de sartas, fundación y equipo de bombeo y el tipo de energía.

Acorde con (INAA, 1999, pág. 20), la caseta de control se diseña de mampostería reforzada acorde a un modelo típico. La fundación del equipo de bombeo se

diseña generalmente de concreto reforzado con una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² a los 28 días.

De acuerdo con (INAA, 1999, pág. 23) las sargas de bombeo deben cumplir con los siguientes accesorios:

- Medidor maestro.
- Manómetro con llave de chorro ½”.
- Derivación de descargas para prueba de bombeo y limpieza de la sarga.
- Unión flexible para efecto de mantenimiento, las tuberías deben anclarse adecuadamente y determinar las fuerzas que actúa en los atraques para obtener un buen diseño.

Se debe tomar en cuenta conforme (INAA, 1999, pág. 24) un factor de 1.15 para calcular los caballos de fuerza (HP) del motor en base a la potencia de la bomba debido a pérdidas mecánicas.

2.8.1. Bombas verticales

Los factores que se deben tomar en cuenta para la selección de este equipo están dados por la norma técnica nicaragüense (INAA, 1999, pág. 20), siendo:

- Nivel de bombeo de acuerdo a los resultados de las pruebas efectuadas al pozo.
- Variaciones estacionales o niveles naturales de agua subterránea en las estaciones seca y lluviosa.
- El diámetro del ademe del pozo, el cual debe estar relacionado al caudal a extraerse.
- El diámetro de la columna de bombeo dentro del pozo acoplada a la bomba, será diseñada para una pérdida de fricción no mayor del 5% de su longitud.
- Calidad del Eje.
- Tipo de impulsores.
- Característica del arranque y puesta en marcha.

- Flexibilidad de Operación.
- Curvas características de las bombas.
- Golpe de ariete.

2.9. Calidad del agua y desinfección

En Nicaragua, se establece de acuerdo con (INAA, 1999, pág. 49), que los parámetros a considerar y las pruebas que se deben realizar, para verificar si el agua es apta para consumo humano, son:

- La fuente de agua a utilizarse en el proyecto, se le deberá efectuar por lo menos un análisis físico, químico, de metales pesados cuando se amerite y bacteriológico antes de su aceptación como tal.
- Los parámetros mínimos de control para el sector rural serán: coliforme total, coliforme fecal, olor, sabor, color, turbiedad, temperatura, concentraciones de iones de hidrógeno y conductividad.
- El análisis de las fuentes de agua tales como manantiales, pozos perforados, pozos excavados a mano deberán cumplir con las normas de calidad del agua vigentes aprobadas por el INAA y MINSA.

En cuanto a los parámetros que determinarán la clasificación del agua están dados según las normas CAPRE.

Para el caso de la desinfección, la sustancia que más se utiliza para eliminar microorganismos del agua es el cloro. Esta desinfección por cloro se realiza por medio de hipocloritos, y la aplicación de éstos al agua se efectúa mediante un hipoclorador de carga constante (INAA, 1999, pág. 48).

2.10. Línea de conducción

La línea de conducción se diseña de manera que la capacidad de ésta sea lo suficiente para transportar el gasto máximo por día (INAA, 1999, pág. 30).

Para las líneas de conducción por bombeo eléctrico, se debe considerar que:

- Se debe hacer uso de una fuente externa de energía, que impulse el agua desde la toma hasta la altura requerida, para vencer la carga estática y las pérdidas por fricción que se originan en el conducto al trasladarse el agua.
- Para dimensionar la línea se utilizará la condición del consumo máximo al final del período de diseño, estimado en 1.5 del consumo promedio.
- La tubería de descarga se seleccionará de manera que pueda resistir las altas presiones, y deberán ser protegidas contra el golpe de ariete, instalando válvulas aliviadoras de presión en las vecindades de las descargas de las bombas.

Dependiendo de las características topográficas del terreno, será necesario la instalación de válvulas de aire y vacío en las cimas y en el caso de los columpios válvulas de limpieza.

2.11. Almacenamiento de agua

El almacenamiento de agua en tanques, tiene como finalidad suplir la cantidad necesaria para compensar las demandas máximas que se presenten durante su vida útil, brindar presiones adecuadas en la red de distribución y disponer de reserva ante eventualidades e irrupciones en el suministro de agua (INAA, 1999, pág. 36).

La capacidad del tanque tendrá que diseñarse en base al 35% del consumo promedio diario, que se obtiene del 15% de un volumen compensador y un 20% de volumen de reserva (INAA, 1999, pág. 36).

Los tanques de almacenamiento deben estar localizados en zonas próximas al poblado y tomándose en cuenta la topografía del terreno, de manera tal que brinden presiones de servicio aceptables en los puntos de distribución (INAA, 1999, pág. 36).

Para el diseño de tanques sobre el suelo se establece según (INAA, 1999, pág. 37):

- Cuando la entrada y salida de agua es por medio de tuberías separadas, éstas se ubicarán en los lados opuestos con la finalidad de permitir la circulación del agua.
- Debe considerarse un paso directo y el tanque conectado tipo puente (bypass), de tal manera que permita mantener el servicio mientras se efectúe el lavado o reparación del tanque.
- La tubería de rebose descargará libremente sobre una plancha de concreto para evitar la erosión del suelo.
- Se instalarán válvulas de compuerta en todas las tuberías, limpieza, entrada y salida con excepción de la de rebose, y se recomienda que las válvulas y accesorios sean tipo brida.
- Se debe de considerar los demás accesorios como; escaleras, respiraderos, indicador de niveles y acceso con su tapadera.
- Se recomienda que los tanques tengan una altura máxima de 3.0 metros, con un borde libre de 0.50 metros y deberán estar cubiertos con una losa de concreto.

2.12. Red de distribución

Para el diseño de la red, se debe considerar, acorde con (INAA, 1999, pág. 32), lo siguiente:

- Diseñar para la condición de consumo a la hora máxima al final del período de diseño, resultante de aplicar el factor de 2.5 al consumo promedio diario.
- El sistema de distribución puede ser de red abierta, de malla cerrada o una combinación de ambos.
- La red se deberá proveer de válvulas, accesorios y obras de arte necesarias, para asegurar su buen funcionamiento y facilitar su mantenimiento.

2.13. Análisis hidráulico

El análisis hidráulico se debe realizar para determinar los diámetros de los conductos, porque si son demasiado grandes, las bajas velocidades pueden causar sedimentación y problemas de depósitos, además de encarecer el sistema, y si por el contrario, los diámetros son muy pequeños, se puede generar pérdidas de cargas elevadas y las altas velocidades pueden aumentar el impacto de los fenómenos transitorios como el golpe de ariete (INAA, 1999, pág. 32).

2.14. Saneamiento básico rural y Letrinas de Foso Ventilado (LFV)

Para el saneamiento básico rural se emplearán letrinas de foso ventilado (LFV). Este tipo de letrinas, según (INAA, 1999, pág. 68), se diferencia de las letrinas convencionales, por disponer de un tubo vertical de ventilación, que permite la circulación del aire que elimina los olores debidos a la descomposición de las excretas. Este tipo de letrinas está compuesto de las partes básicas como: el foso, losa, brocal, asiento y tapa, terraplén, caseta y ducto de ventilación.

2.15. Presupuesto del proyecto

El presupuesto según (Ruíz, 2001), es un estado de resultados anticipados a través de los planes o proyectos y que son presentados en términos financieros.

En la construcción, las condiciones de realización de un proceso productivo, son complejas y variables para cada caso específico; su complejidad depende, entre otras cosas de las condiciones aleatorias que circunscriben la realización de una obra, y su variabilidad en función del tiempo y lugar de ejecución de la misma.

CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

3. Diseño metodológico

3.1. Tipo de investigación

La investigación será de tipo descriptiva, ya que como lo expresa (Sampieri, Fernández-Collado, & Lucio, 2010, pág. 80), busca especificar propiedades, características y rasgos importantes, en este caso de la población y del sistema de abastecimiento de agua. Además, tendrá un enfoque cuantitativo ya que se obtendrán resultados contables, para explicar la situación socioeconómica de la población, los resultados del estudio topográfico, el análisis de agua y el diseño hidráulico del sistema de abastecimiento de agua potable.

3.2. Materiales y herramientas

Programas y aplicaciones: Google Forms, AutoCAD Civil 3D 2020, EPANET 2.0 vE, Microsoft Excel y Microsoft Word.

Levantamiento topográfico: Estación total, cinta métrica de 50 m, distanciómetro, trípode, plomo, prisma, fichas, clavos, pintura, etc.

3.3. Estudio socioeconómico

Para el estudio socioeconómico se utilizará como herramienta la encuesta, que se aplicará a los jefes de familia de cada una de las casas de la comunidad, por medio de Google Forms. Asimismo, cabe destacar que esta encuesta tendrá como fundamento el formato que el FISE proporciona para el estudio socioeconómico, modificado según la realidad de la comunidad.

Los datos resultantes de las encuestas se procesarán, para obtener los gráficos y todos los cálculos estadísticos necesarios para realizar el correcto análisis socioeconómico.

3.4. Estudio topográfico

El levantamiento topográfico será de tipo altimétrico y se hará uso de estación total, empleando el método de radiación con poligonal de apoyo. Asimismo, se tomarán lecturas de las coordenadas de cada una de las casas de la comunidad.

Una vez obtenidos los datos de la altimetría y de las coordenadas de cada una de las casas, se procesarán en AutoCAD Civil 3D para graficar las curvas de nivel correspondientes, obteniendo el relieve de la comunidad y la distribución de cada una de las casas que conforman la comunidad.

De la misma manera, con los datos obtenidos, se propondrá una línea de conducción, así como la red de distribución y la ubicación del tanque.

3.5. Aforo de la fuente

Para determinar el caudal que el pozo es capaz de brindar, se utilizará el método de aforo volumétrico según (Nickisch, 2008), expresado en la fórmula siguiente:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Ecuación 1: Flujo volumétrico

Donde:

Q: Caudal (Lps)

V: Volumen del recipiente (litros)

t: tiempo (segundos)

En cuanto al abatimiento que el pozo experimenta debido a la explotación del agua, se ocupará la expresión brindada por (Vargas & Arellano, 2002):

$$\textit{Abatimiento} = NE - NF$$

Ecuación 2: Abatimiento

Donde:

NE: Nivel estático del agua (m)

NF: Nivel final después del bombeo de agua (m)

Es importante mencionar, que la obtención de estos niveles se debe utilizar una sonda electrónica, que permita medir estas distancias correctamente.

Para evaluar el aforo de la fuente se empleará el método que la normativa nacional establece, según (INAA, 1999, pág. 19):

- El caudal máximo recomendado de la explotación de un pozo deberá ser igual o superior a 1.5 del consumo promedio diario (QDP).

$$Q_{m\acute{a}x} \geq 1.5QDP$$

Ecuación 3: Caudal máximo recomendado

Tomando en cuenta que el caudal del pozo, es el último valor de flujo volumétrico obtenido del aforo de acuerdo con (Villanueva & Iglesias, 1984).

3.6. Análisis de calidad de agua

Para conocer la calidad de agua de fuente lo que se deberá realizar es lo siguiente:

- Tomar una muestra del agua de la fuente posible para el abastecimiento.
- Llevar las muestras obtenidas, a un laboratorio certificado para que realice el análisis físico-químico y bacteriológico.
- Interpretar los resultados obtenidos de las muestras para hacer la comparación de éstas acorde a las normas CAPRE y NTON 05-007-98, obteniendo así, la clasificación de agua, verificar si el agua es apta para el consumo y darle el tratamiento adecuado.

3.7. Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable

3.7.1. Población de diseño

La población a servir se determinará mediante la ecuación del método geométrico de proyección según (INAA, 1999, pág. 9):

$$P_n = P_o * (1 + r)^n$$

Ecuación 4: Población de diseño

La tasa de crecimiento se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$r = \left(\frac{P_n}{P_o} \right)^{1/n} - 1$$

Ecuación 5: Tasa de crecimiento

Donde:

P_n: Población del año “n”

P_o: Población al inicio del período de diseño

r: Tasa de crecimiento en el período de diseño expresado en notación decimal

n: Número de años que comprende el período de diseño

3.7.2. Gastos de diseño

Según (INAA, 1999, pág. 16), los gastos se consideran con las ecuaciones:

Consumo promedio diario:

$$CPD = CD + CI$$

Ecuación 6: Consumo promedio diario

Donde:

CPD: Consumo promedio diario (lps)

CD: Consumo doméstico

CI: Consumo institucional

Pérdidas:

$$Pérdidas = 20\% * CPD$$

Ecuación 7: Pérdidas en el sistema

Consumo máximo diario:

$$CMD = (1.5 * CPD) + pérdidas$$

Ecuación 8: Consumo máximo diario

Consumo máximo horario:

Para determinar el consumo máximo horario al final del período de diseño, según (INAA, 1999, pág. 32), se aplica la ecuación siguiente:

$$CMH = (2.5 * CPD) + pérdidas$$

Ecuación 9: Consumo máximo horario

3.7.3. Diseño de la línea de conducción por bombeo

En el diseño de la línea de conducción (INAA, 1999, pág. 31 y 32) establece que:

1. Para la determinación de las pérdidas por fricción, se utilizará la fórmula:

$$\frac{H}{L} = S = \frac{10.675Q^{1.85}}{C^{1.85}D^{4.87}}$$

Ecuación 10: Pérdidas por fricción Hazen-Williams

Donde:

H: Pérdida de carga (m)

L: Longitud del conducto (m)

Q: Gasto (m³/s)

S: Pérdida de Carga (m/m)

C: Coeficiente Hazen-Williams (adimensional)

D: Diámetro interno de la tubería (m)

2. Para determinar, el diámetro económico, se puede aplicar la fórmula siguiente (Similar a la de Breesse, con K= 0.9 y n= 0.45).

$$D = 0.9(Q)^{0.45}$$

Ecuación 11: Diámetro económico

Donde:

D: Diámetro económico (m)

Q: Caudal (m³/s)

Para el cálculo del caudal de bombeo, se utilizará la condición de consumo máximo al final del día según (INAA, 1999, pág. 31), por lo que se utiliza la ecuación siguiente:

$$Q_b = CMD$$

Ecuación 12: Caudal de bombeo

Donde:

Q_b: Caudal de bombeo (m³/s)

CMD: Consumo máximo diario (m³/s)

En el caso del análisis de pérdidas en la sarta de bombeo, se empleará la metodología de (Mott, 2006, págs. 292-296):

$$K = \left(\frac{Le}{D}\right) f_T$$

Ecuación 13: Coeficiente de resistencia K

Donde:

K: Coeficiente de resistencia

Le: Longitud equivalente (m)

D: Diámetro interior de la tubería (m)

f_T: Factor de fricción

$$h_L = K \left(\frac{v^2}{2g}\right)$$

Ecuación 14: Pérdida de energía

Donde:

h_L: Pérdida de energía (m)

v: Velocidad (m/s)

g: Gravedad (m/s²)

En cuanto a la obtención de la carga dinámica total en la línea de conducción se aplicará la fórmula establecida por (CNA, 2007), como sigue:

$$CDT = h_d + h_f + h_L$$

Ecuación 15: Carga dinámica total

Donde:

CDT: Carga dinámica total (m)

h_d : Carga estática de descarga (m)

h_f : Pérdidas por fricción (m)

h_L : Pérdidas por accesorios (m)

Para obtener la potencia requerida de la bomba, se utilizará la fórmula estipulada por (López Cualla, 1995, pág. 133):

$$P_b = \frac{\gamma * Q * CDT}{e}$$

Ecuación 16: Potencia de la bomba

Donde:

P_b : Potencia de la bomba (kW)

γ : Peso específico del agua (kN/m³)

Q: Caudal (m³/s)

CDT: Carga dinámica total (m)

e: Eficiencia de la bomba (porcentaje)

Así mismo, (López Cualla, 1995), establece que para evitar recalentamiento del motor y tener en cuenta las pérdidas mecánicas de transmisión de energía debe utilizarse motores con una potencia de 1.15 a 1.20 veces la potencia de la bomba, coincidiendo con lo que la NTON 09-001-99 establece en el numeral 6.5 (INAA, 1999, pág. 24).

$$P_m = 1.15 P_b$$

Ecuación 17: Potencia del motor

Donde:

P_m : Potencia del motor (kW)

Pb: Potencia de la bomba (kW)

En el caso del cálculo del golpe de ariete en la línea de conducción, se utilizará la metodología expuesta en (López Cualla, 1995, págs. 190-193), traducido en las ecuaciones siguientes:

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + k \frac{D}{e}}}$$

Ecuación 18: Celeridad o fórmula de Allievi

Donde:

C: Celeridad de la onda (m/s)

D: Diámetro del tubo (m)

e: Espesor de la pared del tubo (m)

k: Relación entre el módulo de elasticidad del agua y el del material de la tubería (ver tabla 43 en anexos, pág. xxvi)

$$h_a = \frac{CV}{g}$$

Ecuación 19: Sobrepresión máxima

Donde:

ha: Sobrepresión (mca)

V: Velocidad (m/s)

g: gravedad (m/s²)

Es importante añadir, que se elige la ecuación de la sobrepresión máxima, ya que es el escenario más crítico, es decir el cierre repentino de una válvula debido a una falla mecánica.

3.7.4. Diseño del almacenamiento de agua potable

Para el volumen de almacenamiento se aplica según (INAA, 1999, pág. 36):

$$V_t = 35\% CPD$$

Ecuación 20: Volumen de almacenamiento

Donde:

V_t: Volumen del tanque (m³)

CPD: Consumo promedio diario (lps)

Para determinar las dimensiones del tanque se aplicará:

$$b = \sqrt{\frac{V_t}{h}}$$

Ecuación 21: Base del tanque

Donde:

b: Base del tanque (m)

V_t: Volumen del tanque (m³)

h: Altura propuesta del tanque (m), no mayor a 3 m, referente a 2.5 m de la altura del agua y 0.5 m de borde libre, acorde con la normativa nacional

3.7.5. Diseño de la red de distribución

Las redes de distribución según (INAA, 1999, pág. 32), se diseñan con el Consumo Máximo Horario (CMH) más las pérdidas, establecido en la ecuación 9.

Se utilizará el Software EPANET, para el diseño de red de distribución, y con los datos obtenidos de este programa, se hará una comparación con los valores de presión y velocidad permisibles según la norma.

Es importante destacar que, debido a la distribución de las casas, la red será tipo abierta, así que se utilizará el método del caudal unitario longitudinal, por lo cual se aplicarán las fórmulas, según (OPS & CEPIS, 2005, pág. 9):

$$Q_i = q_{ul} * L_i$$

Ecuación 22: Caudal en el tramo de tubería

Donde:

Qi: Caudal en el tramo i (lps)

qul: Caudal unitario longitudinal (lps/m)

Li: Longitud del tramo i (m)

$$q_{ul} = \frac{CMH}{L_T}$$

Ecuación 23: Caudal unitario

Donde:

CMH: Consumo máximo horario

LT: Longitud total de la red (m)

Para la determinación del diámetro en cada uno de los tramos de tubería se utilizará la fórmula despejada del flujo volumétrico, acorde (Mott, 2006, pág. 154.):

$$Q = vA$$
$$Q = v \left(\pi * \frac{d^2}{4} \right)$$
$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$$

Ecuación 24: Diámetro de la tubería

Donde:

Q: Caudal o flujo volumétrico (m³/s)

V: Velocidad (m/s)

D: Diámetro de la tubería (m)

3.8. Desinfección de agua utilizando cloro

Para determinar la cantidad de cloro a utilizar se aplicará la metodología estipulada por (Etienne, 2014), expresada en las fórmulas que se muestran a continuación:

$$t_d = \frac{CPD * 24}{Q_e * 86400} * f$$

Ecuación 25: Tiempo diario de goteo

Donde:

t_d : Tiempo diario de goteo (h/día)

CPD: Caudal promedio diario (L/día)

Q_e : Caudal de ingreso del agua en el tanque (lps)

f: Factor de aumento de consumo debido a fugas considerado como 1.5

$$Q_{Cl} = \frac{Vu}{t_d * t_r}$$

Ecuación 26: Caudal de goteo de cloro

Donde:

Q_{Cl} : Caudal de goteo de cloro (L/h)

V_u : Volumen útil del tanque dosador (lts)

t_d : Tiempo diario de goteo (h/día)

t_r : Tiempo de recarga considerado como 14 días

$$P_{Cl} = \frac{d_{Cl} * Q_e * V_t}{Q_{Cl} * \%Cl} * 3.6$$

Ecuación 27: Cantidad de cloro

Donde:

P_{Cl} : Cantidad de cloro (gramos)

d_{Cl} : Demanda estimada de cloro (mg/l)

V_t : Volumen total del tanque (lts)

Q_{Cl} : Caudal de goteo de cloro (L/h)

$\%Cl$: Porcentaje de cloro del producto utilizado

3.9. Diseño de letrinas de foso ventilado

Se debe considerar en este tipo de letrinas, según (INAA, 1999, págs. 67-68), que:

- El período de diseño debe ser de 4 a 10 años.
- El foso debe ser de forma rectangular con una profundidad de 2 m a 4.5 m, con un ancho de 0.70 m, de largo 0.90 m y una altura mínima de brocal de 0.50 m.
- La caseta debe tener una altura en la parte frontal de 2 m y en la parte posterior de 1.90 m. El alero del techo debe ser de 0.50 m. El hueco de ventilación en la parte alta de la pared debe ser de 0.15 m x 0.20 m.
- El tubo de ventilación de 4 pulgadas de diámetro con malla fina en uno de sus extremos. El tubo sobresale 0.50 m del nivel de techo de la caseta.
- Las letrinas deben ubicarse a 5 m de la vivienda o a 20 m desde el pozo.

3.10. Elaboración de los planos

Los planos de todo el sistema de agua potable, así como el perfil de la línea de conducción, se elaborarán a partir de los resultados de los análisis hidráulicos obtenidos en EPANET, para ser trasladados en AutoCAD Civil 3D, en el cual se imprimirán en formato PDF, para ser agregados al presente informe.

La escala de los planos, irán en dependencia del área que se obtenga en estudio topográfico, cabe mencionar, que se emplearán las que son más utilizadas.

3.11. Presupuesto

Mediante la propuesta de planos se efectuará el presupuesto, con el software Microsoft Project, donde se presentarán los costos y cantidades para los diseños típicos de los componentes del sistema de abastecimiento de agua para presentar los alcances del proyecto. La hoja de alcances del presupuesto se construirá con referencia a (FISE, 2008) .

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

4. Análisis y presentación de los resultados

4.1. Estudio socioeconómico

4.1.1. Población

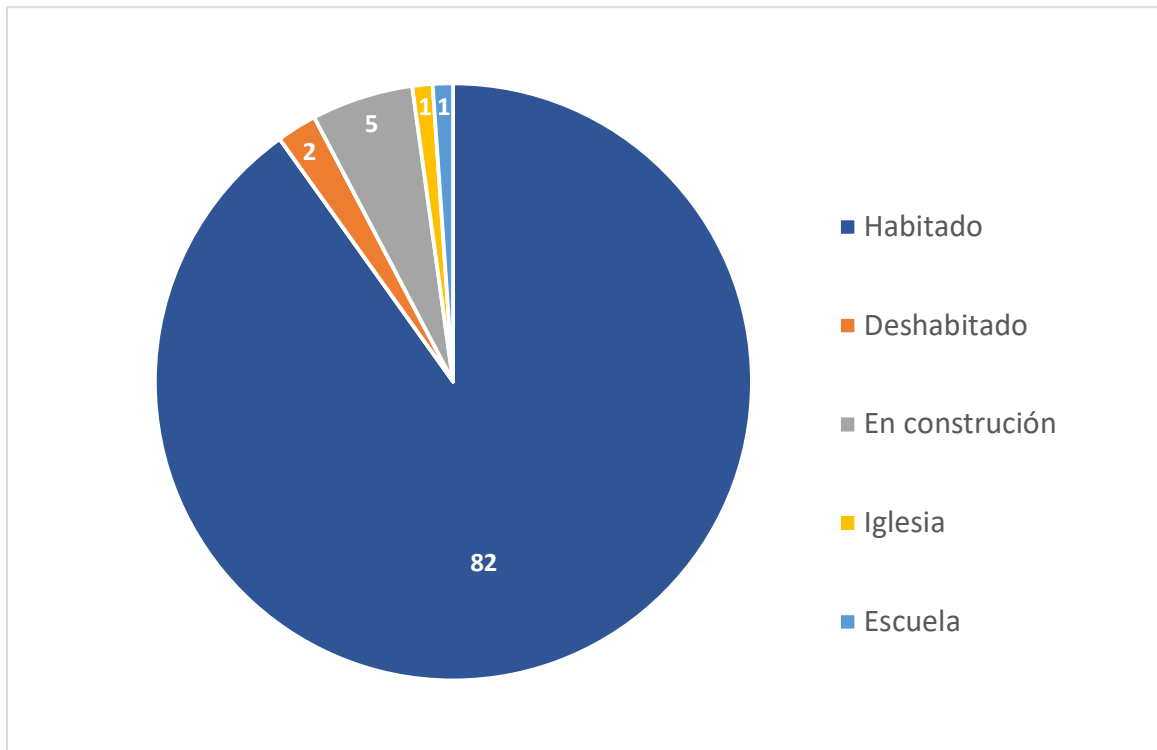
Con respecto a los datos obtenidos en las encuestas, se contabilizó una cantidad de 91 lotes en total, divididos de la siguiente manera:

Tabla 1: Censo poblacional

| ID | Descripción | Lotes | Poblacion | | |
|---------------|-----------------|-------|-----------|-----|-------|
| | | | M | F | TOTAL |
| H | Habitado | 82 | 151 | 155 | 306 |
| D | Deshabitado | 2 | | | 0 |
| C | En construcción | 5 | | | 0 |
| I | Iglesia | 1 | | | 0 |
| E | Escuela | 1 | | | 0 |
| TOTAL= | | 91 | 151 | 155 | 306 |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 1: Tipo de ocupación por lote



Fuente: Elaboración propia

A partir de la tabla 1, puede observarse que en la comunidad de Subtiaba existen actualmente 82 viviendas habitadas, distribuyéndose en ellas una población de 306 habitantes, entre los cuales 155 son mujeres y 151 son hombres. De la misma manera se encontraron 2 viviendas deshabitadas y 5 en proceso de construcción. Se presentan, al igual, algunos sitios públicos como: una escuela y una iglesia.

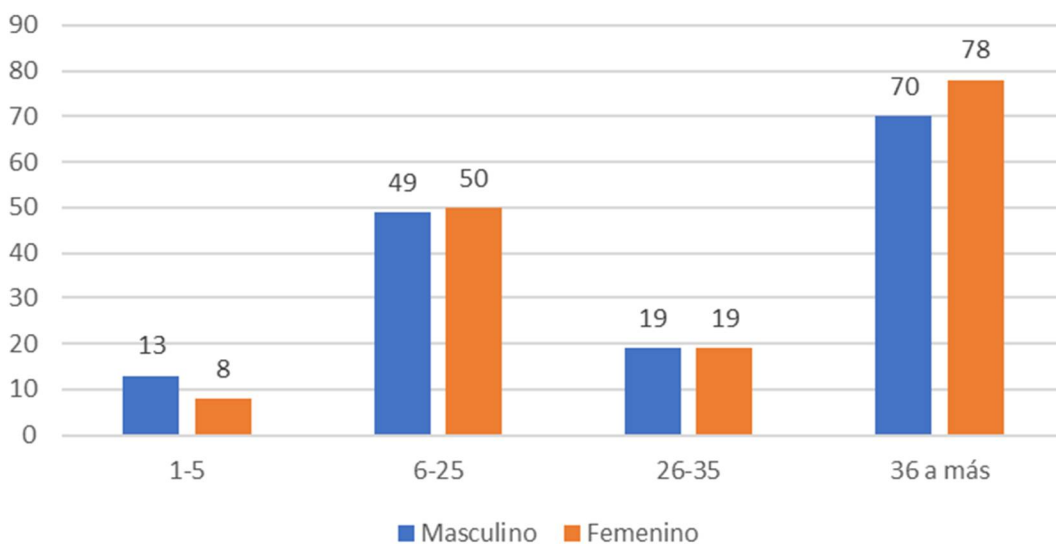
Con esta información se podrá conocer la población base y con la misma, realizar la proyección de población para el período de diseño de 20 años para el mini acueducto por bombeo eléctrico.

4.1.2. Rango de edad de la población

De acuerdo a los datos obtenidos de la encuesta, se obtuvo que la mayor parte de la población, la componen personas de 36 años o mayores, correspondiendo a un 48.37 % del total (306 personas), y es de notar, respecto al gráfico 2, que la mayoría de estas personas son mujeres (78).

El otro grupo etario mayoritario, corresponde a las personas entre 6 a 25 años, con 99 personas, de las cuales 49 son hombres y 50 mujeres, así mismo este grupo representa el 32.35% del total de la población de la comunidad.

Gráfico 2: Rango de edades según el género



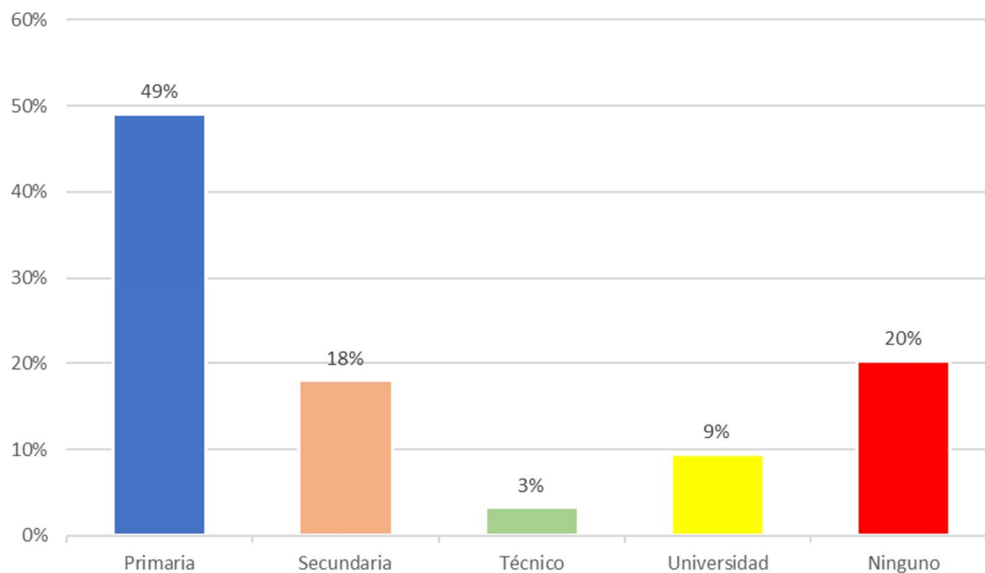
Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Nivel académico y ocupación

El nivel educativo o académico más alto alcanzado, es primaria, correspondiendo al 49% del total de habitantes, le sigue un 20% que no tiene ningún nivel educativo, siendo esto común en las zonas rurales, debido a que muchas veces los niños se dedican a trabajar, descuidando su formación académica.

El 18% de los pobladores de la comunidad alcanzaron el bachillerato, 9% el nivel profesional y sólo un 3% obtuvo un técnico, tal como es perceptible en el gráfico 3.

Gráfico 3: Nivel académico de los pobladores de Subtiaba

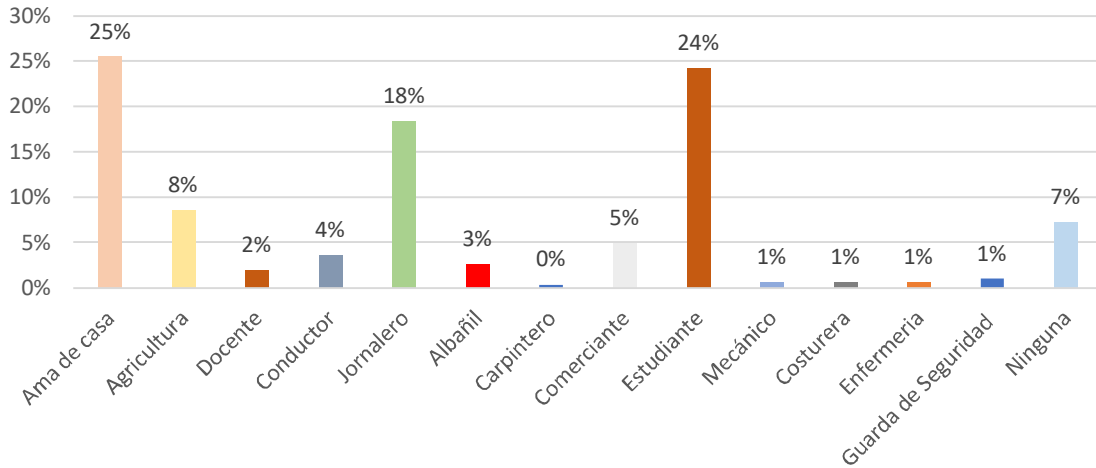


Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, la mayoría de la población, según el gráfico 4, se dedica a los cuidados del hogar, correspondiendo a un 25%, siendo en su totalidad mujeres, luego el 24% son estudiantes, el 18% de los habitantes son jornaleros y el 8% se dedican a la agricultura.

Es necesario observar, que la mayoría de los trabajos no corresponden a nivel profesional, esto debido al bajo nivel académico de la población en esta comunidad.

Gráfico 4: Ocupación

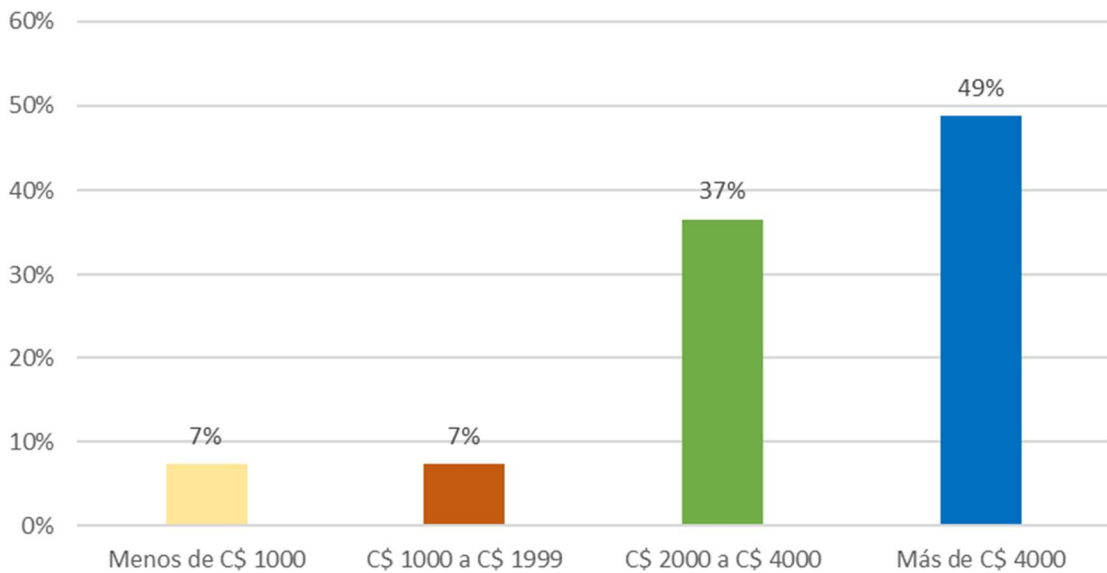


Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Ingresos y capacidad de pago

Se obtuvo en las encuestas, que el 49% de la población tienen un salario mayor a los C\$ 4000 por mes, y el 37% entre C\$ 2000 y C\$ 4000 al mes, considerándose que es posible que puedan efectuar el pago de agua potable, y a la vez colaborar con el proyecto y su mantenimiento.

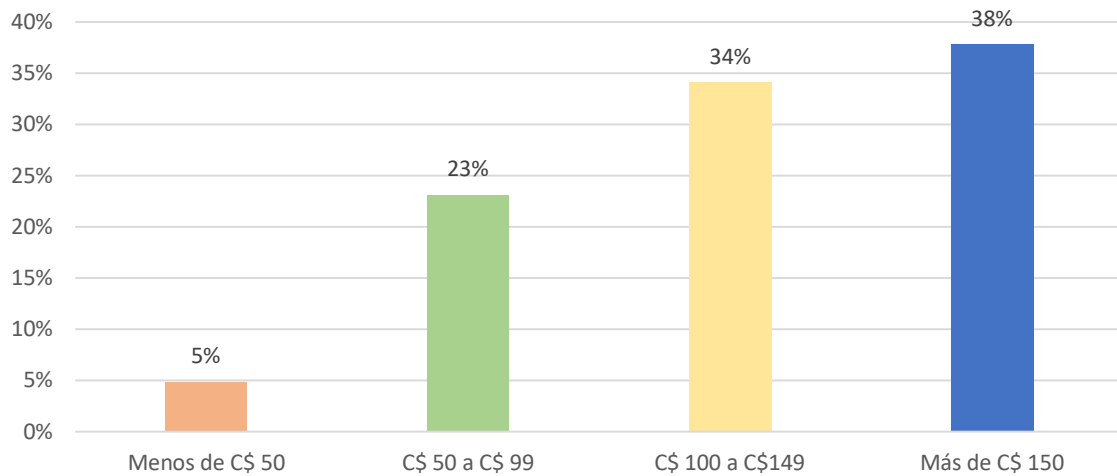
Gráfico 5: Ingreso por mes



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 6, se muestra que el 38% de la población paga más de C\$ 150 al mes por el servicio de energía eléctrica, así mismo el 34% gasta al mes de C\$ 100 a C\$ 149 córdobas, y solo el 5% gasta menos de C\$ 50. Estos datos dan un indicador sobre la capacidad de pago por los servicios básicos, pudiendo decir, por lo tanto, que la comunidad posee una buena capacidad para sobrellevar las cuotas por servicios básicos.

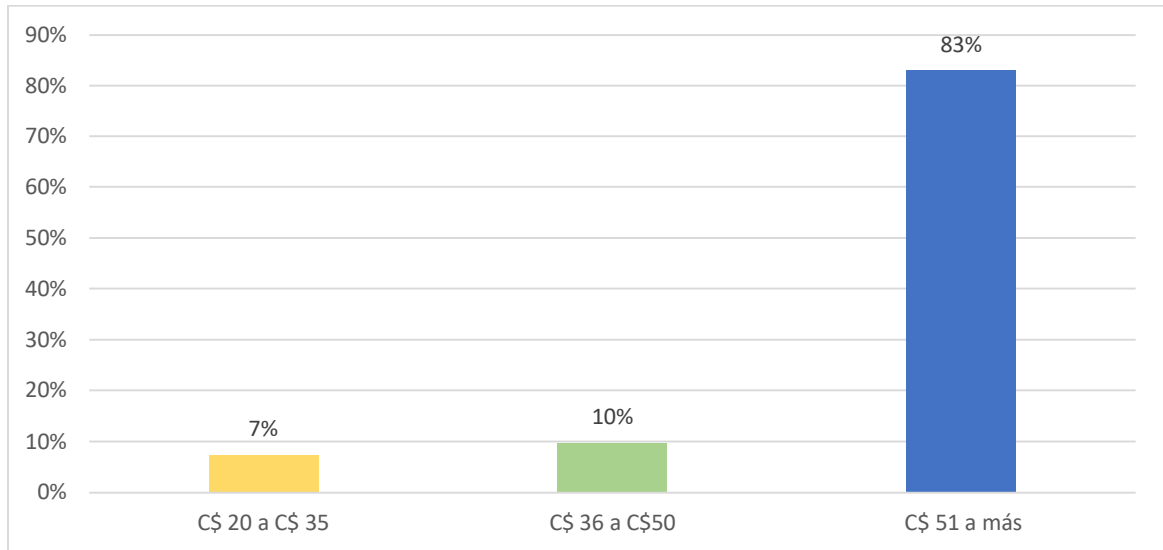
Gráfico 6: Último pago mensual de energía eléctrica



Fuente: Elaboración propia

Es muy importante ahora, considerar el resultado obtenido sobre la disponibilidad de pago al mes por servicio de agua potable mostrado en el gráfico 7, en este caso el 83% de los habitantes de la comunidad está dispuesto a pagar más de C\$ 51 por el servicio, indicando, por lo tanto, que la comunidad puede hacerse cargo de los costos de mantenimiento e instalación del sistema de agua potable.

Gráfico 7: Disponibilidad de pago por servicio de agua potable

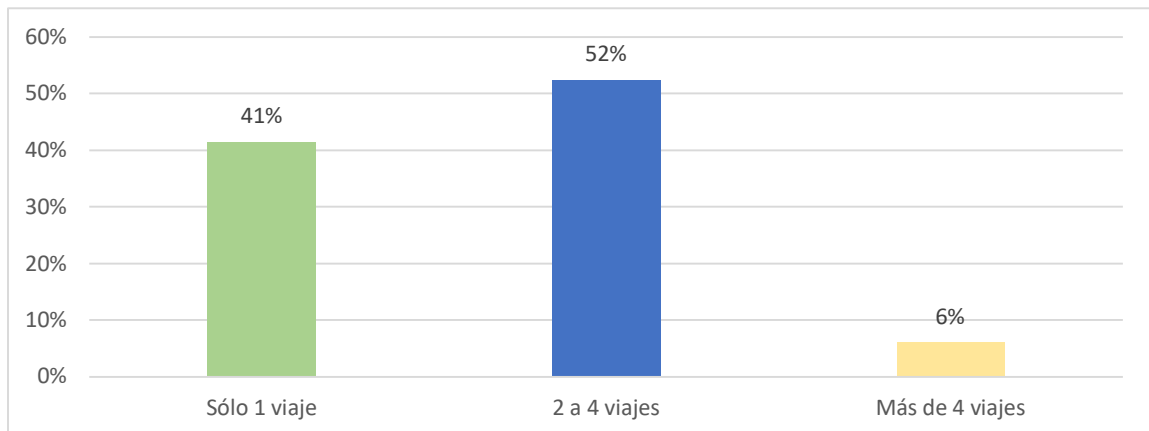


Fuente: Elaboración propia

4.1.5. Validación y aceptación del proyecto

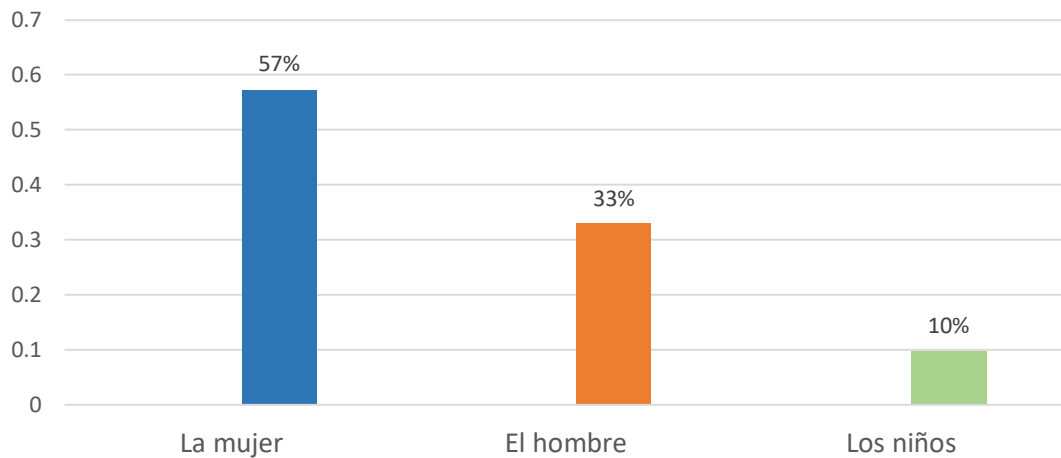
Debido a la evidente falta de agua en la comunidad de Subtiaba, es posible ver en el gráfico 8, que el 52% de las personas de la comunidad, necesita hacer de dos a cuatro viajes en el día para poder saciar la necesidad de agua, además como complemento del gráfico 9, se puede observar que quienes realizan estos viajes, en su mayoría (57%) son las mujeres, esto debido a que ellas se encargan, por lo general, de las labores domésticas.

Gráfico 8: Viajes para recolección de agua



Elaboración: Fuente propia

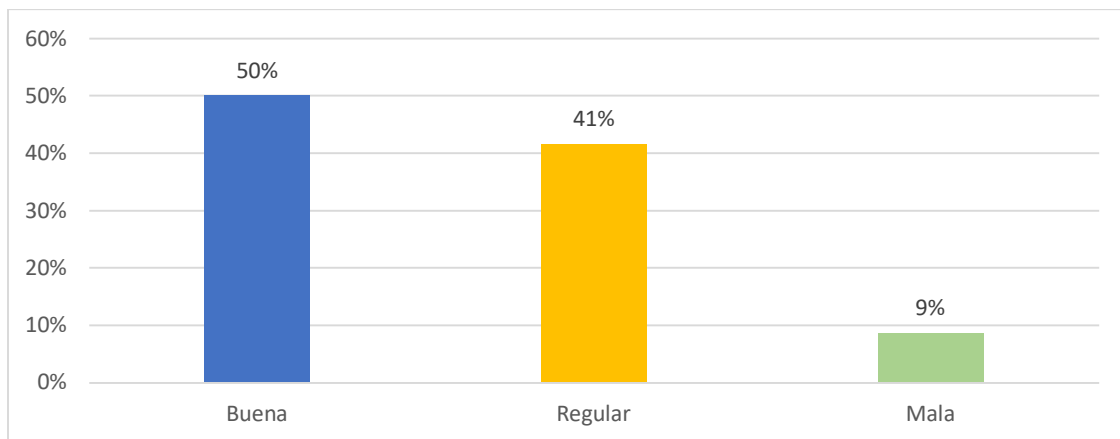
Gráfico 9: Encargado de acarrear el agua



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la calidad del agua percibida por la población (ver gráfico 10), es de notar que, el 50% la considera buena, el 41% la considera regular y el 9% mala, ratificando con estos resultados la importancia de la realización de un proyecto de agua potable.

Gráfico 10: Calidad del agua

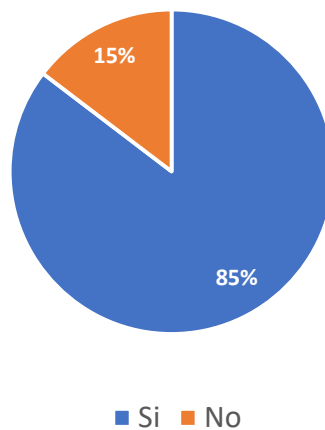


Elaboración: Fuente propia

Con respecto al saneamiento, se puede observar en el gráfico 11 que, aunque la mayoría de las viviendas cuentan con letrinas (85%), la cantidad restante (15%) no cuenta con una y esto causa que las fuentes de agua se contaminen, debido a

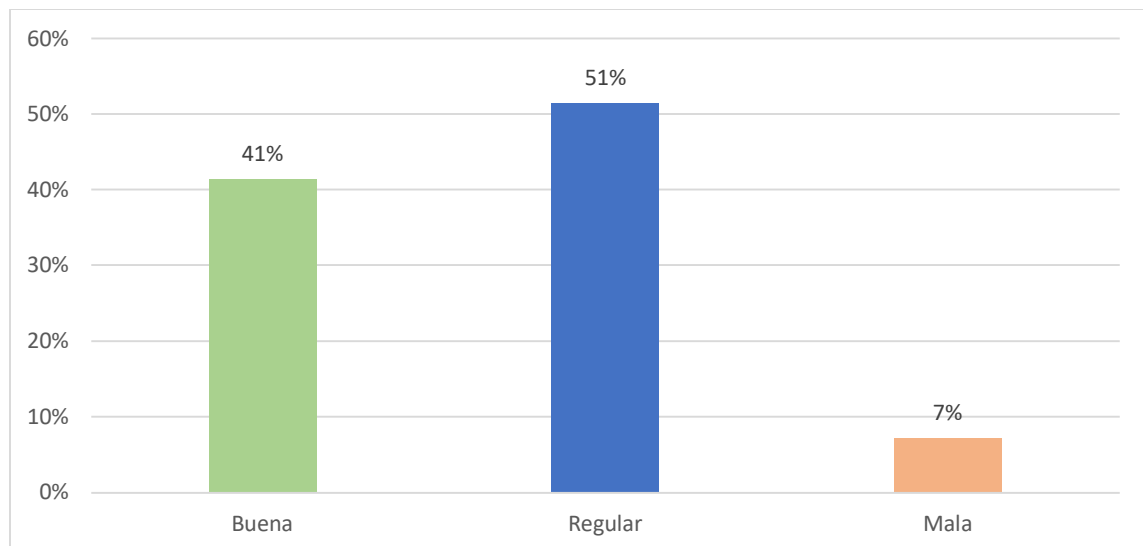
que las deposiciones de material fecal se realizan en el aire libre. Así mismo, con la información del gráfico 12, es posible aseverar que la mayoría de las letrinas se encuentran en un estado regular, es decir no óptimo, indicando que éstas no se han construido de la forma adecuada, y puede causar de la misma forma problemas relacionados a la contaminación de acuíferos subterráneos.

Gráfico 11: Viviendas con letrinas



Elaboración: Fuente propia

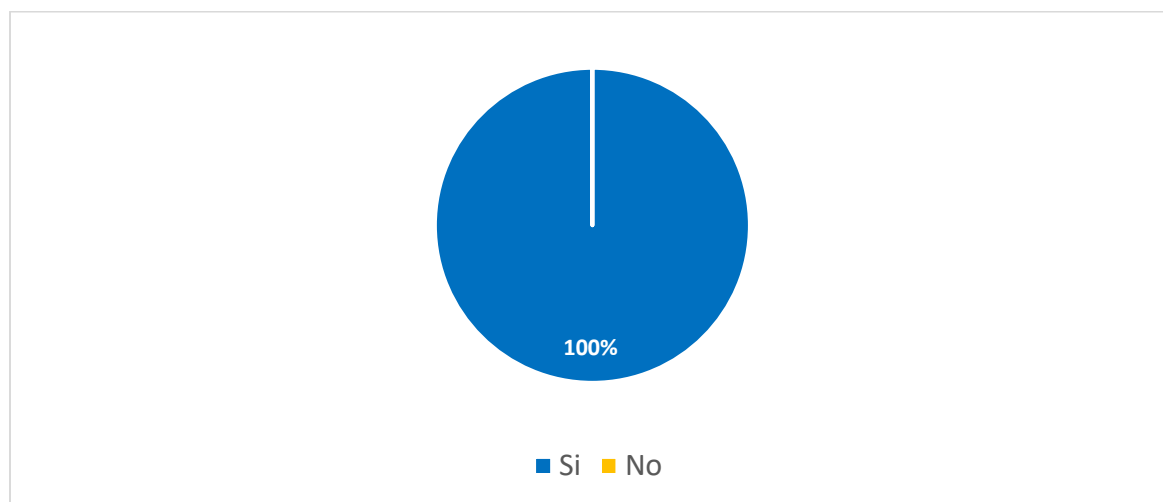
Gráfico 12: Resumen de estado de letrinas



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la disposición de las personas para que se realice el proyecto de agua potable y saneamiento, se tiene que por unanimidad (100%) lo aceptan, esto correspondiente a las 306 personas que habitan en la comunidad, exceptuando la futura población de las 5 casas en construcción, por lo cual se puede decir que es realizable desde el punto de vista social y económico acorde al gráfico 13.

Gráfico 13: Disposición para el proyecto de agua potable y saneamiento



Elaboración: Fuente propia

4.2. Población de diseño

A partir de los datos obtenidos en la encuesta referentes a la cantidad de habitantes de la comunidad de Subtiaba y de los datos del censo oficial de la República de Nicaragua en el año 2005 (INIDE, 2008), (ver tabla 2), se obtuvo el crecimiento geométrico para la comunidad de Subtiaba, con la aplicación de la ecuación 5.

Tabla 2: Censo para la comunidad de Subtiaba

| Año | Habitantes |
|------|------------|
| 2005 | 455 |
| 2021 | 306 |

Fuente: Elaboración propia con datos de las encuestas y el INIDE

$$r = \left(\frac{306 \text{ hab}}{455 \text{ hab}} \right)^{1/16 \text{ años}} - 1$$

$$r = -0.0245$$

Es evidente que ha habido un descenso de habitantes a lo largo de los 16 años desde el último censo oficial realizado en Nicaragua (-2.45% anual), esto puede ser provocado por la migración por parte de los habitantes de la comunidad hacia la ciudad de Estelí.

Debido a que la normativa nacional no permite una tasa de crecimiento geométrica menor al 2.5%, se tomará por tanto este valor (2.5%) para realizar el cálculo de proyección poblacional para 20 años, utilizando la ecuación 4.

$$P_n = 306 \text{ hab} * (1 + 0.025)^{20 \text{ años}}$$

$$P_n = 501 \text{ habitantes}$$

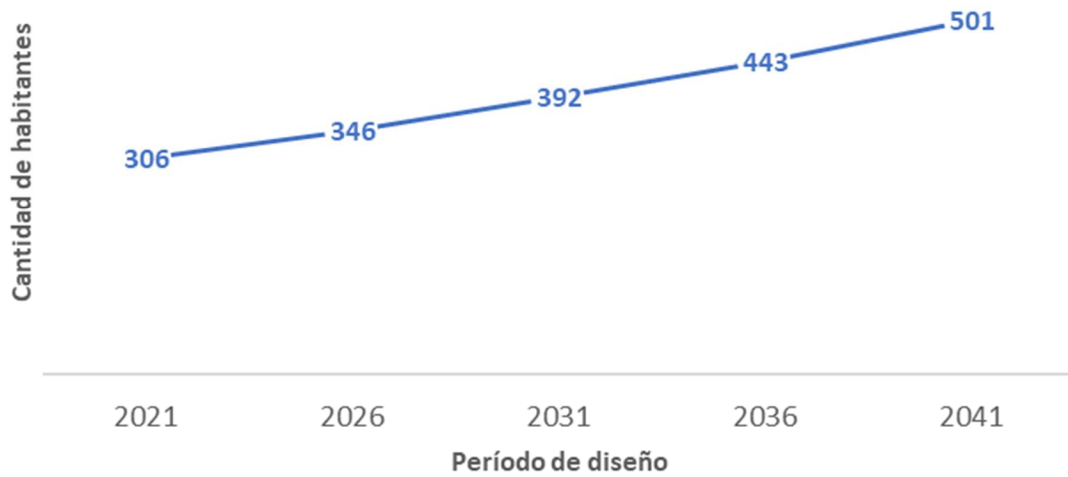
La población que se espera para el 2041, es decir para los 20 años de período de diseño del sistema, es de 501 habitantes, con la tasa de crecimiento del 2.5% anual.

Tabla 3: Proyección poblacional para 20 años

| Período (n) | Año | Población (habitantes) |
|-------------|------|------------------------|
| 0 | 2021 | 306 |
| 5 | 2026 | 346 |
| 10 | 2031 | 392 |
| 15 | 2036 | 443 |
| 20 | 2041 | 501 |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 14: Proyección poblacional para el año 2041



Fuente: Elaboración propia

4.3. Gastos de diseño

Con los datos obtenidos en la proyección poblacional para un período de diseño de 20 años del mini acueducto por bombeo eléctrico, se obtuvieron los resultados de los caudales de diseño con la aplicación de las ecuaciones 6, 7, 8, 9 y 20, que servirán para el diseño de todo el sistema de agua potable.

Cabe mencionar, que la dotación doméstica empleada fue de 60 lppd, siendo este valor el máximo recomendado por la norma técnica nacional, esto para garantizar la satisfacción máxima de agua de los habitantes de la comunidad. A su vez, se empleó para el caso de la dotación institucional, el 7% del caudal doméstico, según la NTON 09-003-99¹ (INAA, 1999, pág. 6) para localidades del resto del país.

¹ Se hace referencia a la norma técnica para sistemas de agua potable en áreas urbanas, debido a que la norma técnica para la zona rural no contempla una dotación establecida para el consumo público o institucional.

$$CPD = CD + CI$$

$$CPD = \left(\frac{Pob * Ddom}{86400} \right) + \left(\frac{Pob * 0.07 Ddom}{86400} \right)$$

$$CPD = \left(\frac{501 \text{ hab} * 60 \text{ lppd}}{86400 \frac{\text{seg}}{\text{día}}} \right) + \left(\frac{501 * 0.07(60 \text{ lppd})}{86400 \frac{\text{seg}}{\text{día}}} \right)$$

$$CPD = (0.3479 \text{ lps}) + (0.0243 \text{ lps})$$

$$CPD = 0.372 \text{ lps}$$

$$Pérdidas = 20\% * CPD$$

$$Pérdidas = 20\% * 0.372 \text{ lps}$$

$$Pérdidas = 0.074 \text{ lps}$$

$$CMD = (1.5 * CPD) + pérdidas$$

$$CMD = (1.5 * 0.372 \text{ lps}) + 0.074 \text{ lps}$$

$$CMD = 0.633 \text{ lps}$$

$$CMH = (2.5 * CPD) + pérdidas$$

$$CMH = (2.5 * 0.372 \text{ lps}) + 0.074 \text{ lps}$$

$$CMH = 1.005 \text{ lps}$$

$$V_t = 35\% CPD$$

$$V_t = 35\% (0.372 \text{ lps}) * 86400 \frac{\text{seg}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lts}}$$

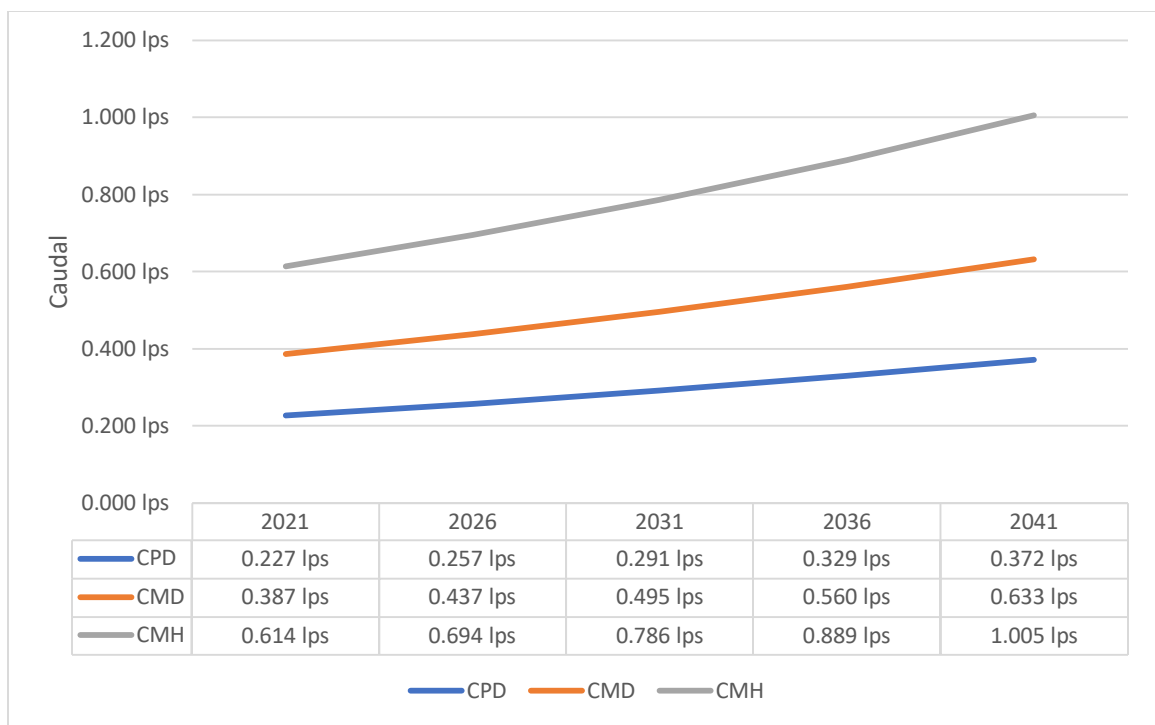
$$V_t = 11.26 \text{ m}^3$$

Tabla 4: Caudales de diseño y volumen de almacenamiento

| Período | Año | Población | CD | CI | CPD | Pérdidas | CMD | CMH | Vol. Alm. |
|---------|------|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------|------------------|------------------|----------------------------|
| 0 | 2021 | 306 | 0.213 lps | 0.015 lps | 0.227 lps | 0.045 lps | 0.387 lps | 0.614 lps | 6.88 m ³ |
| 5 | 2026 | 346 | 0.240 lps | 0.017 lps | 0.257 lps | 0.051 lps | 0.437 lps | 0.694 lps | 7.77 m ³ |
| 10 | 2031 | 392 | 0.272 lps | 0.019 lps | 0.291 lps | 0.058 lps | 0.495 lps | 0.786 lps | 8.81 m ³ |
| 15 | 2036 | 443 | 0.308 lps | 0.022 lps | 0.329 lps | 0.066 lps | 0.560 lps | 0.889 lps | 9.95 m ³ |
| 20 | 2041 | 501 | 0.348 lps | 0.024 lps | 0.372 lps | 0.074 lps | 0.633 lps | 1.005 lps | 11.26 m³ |

Fuente: Elaboración propia con resultados de encuestas y parámetros de diseño

Gráfico 15: Caudales de diseño



Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos de los caudales de diseño, en base a los datos de la proyección poblacional a 20 años, fueron: 0.372 lps para el consumo promedio diario, 0.633 lps para el consumo máximo por día y 1.005 lps de consumo máximo por hora, acorde al gráfico 15.

4.4. Levantamiento topográfico

Con los resultados obtenidos en el levantamiento topográfico de la superficie de la comunidad de Subtiaba, realizado con estación total, se pudo determinar, que la elevación promedio del lugar, es de 1108.4 msnm con una elevación máxima de 1214 msnm y una mínima de 1059.86 msnm; además se pudo determinar que el pozo se encuentra a una altitud de 1147 msnm con coordenadas en X 574 565, Y 1 441 053, zona 16.

De la misma manera, se obtuvo la altura donde se ubicará el tanque de almacenamiento de agua potable, es de 1214 msnm con coordenadas X 575 023, Y 1 441 299, zona 16; así pues, existe una diferencia de altura entre el tanque y el pozo de 67 metros.

El lote que se encuentra a mayor altura con respecto a los demás, tiene una elevación de 1149.91 msnm y el lote ubicado en el punto más bajo, le corresponde una elevación de 1060 msnm como se muestra en la tabla 5.

Se puede decir, además, que la diferencia de altura entre el tanque y el lote con mayor elevación es de 64.09 m y del mismo tanque al lote con menor elevación existe una diferencia de 154 m (ver tabla 6).

Todos los datos obtenidos del levantamiento se encuentran en el anexo pág. v y x (tablas 37 y 38).

Tabla 5: Resumen de elevaciones

| ELEVACIONES | |
|-----------------------|--------------|
| Z PROMEDIO = | 1108.40 msnm |
| Z MÁX = | 1214.00 msnm |
| Z MÍN = | 1059.86 msnm |
| Z TANQUE = | 1214.00 msnm |
| Z POZO = | 1147.00 msnm |
| LOTE CON MAYOR ELEV = | 1149.91 msnm |
| LOTE CON MENOR ELEV = | 1060.00 msnm |

Fuente: Elaboración propia con datos provenientes del levantamiento topográfico

Tabla 6: Diferencia de elevaciones

| DIFERENCIA DE ELEVACIONES | |
|------------------------------|----------|
| Z TANQUE- Z POZO= | 67.00 m |
| Z TANQUE- LOTE MAYOR ELEV = | 64.09 m |
| Z TANQUE - LOTE MENOR ELEV = | 154.00 m |

Fuente: Elaboración propia

4.5. Aforo de la fuente de agua

Se determinó el caudal que es capaz de otorgar el pozo perforado de la comunidad de Subtiaba, con coordenadas UTM 574565 E, 1441053 N, zona 16 P, utilizando la ecuación 1 y 2, referente al método de aforo volumétrico y al abatimiento respectivamente. La tabla 7, muestra los resultados obtenidos del aforo.

Cabe destacar, que el pozo tenía en su interior una bomba sumergible con lo cual facilitó la determinación de su caudal. Por otro lado, el pozo tiene un diámetro de ademe de 6" y el agua una temperatura de 25°C.

El caudal al principio de la prueba de bombeo es de 2.92 lps (tal como es perceptible en la tabla 7), sin embargo, al final de las tres horas de prueba (minuto 180), se tiene que el caudal es de 1.08 lps y se comprobó así mismo un abatimiento del acuífero de 14.63 m. De la misma manera, es posible observar que a partir del minuto 150, el caudal empieza a estabilizarse, así como el abatimiento, indicando que en ese punto el pozo empieza a recuperarse, otorgando un caudal constante, sin disminuir el nivel de agua, por lo cual se puede decir que el caudal que el pozo es capaz de brindar es de 1.08 lps o aproximadamente 17 GPM (ver tabla 7)

Tabla 7: Resultados del aforo del pozo

| TIEMPO DE BOMBEO | T | Variación de Niveles | Variación de Caudales | | |
|------------------|-------|----------------------|-----------------------|--------|-------|
| | | Abatimiento | Vol. Recipiente | Caudal | |
| min | Seg | m | Lts | LPS | GPM |
| 0 | 6.673 | 0 | 19.516 | 2.92 | 46.79 |
| 10 | 12.1 | 1.52 | 19.516 | 1.61 | 25.81 |
| 20 | 13.76 | 3.35 | 19.516 | 1.42 | 22.69 |
| 30 | 14.38 | 5.79 | 19.516 | 1.36 | 21.71 |
| 40 | 14.76 | 6.10 | 19.516 | 1.32 | 21.16 |
| 50 | 14.98 | 6.40 | 19.516 | 1.30 | 20.84 |
| 60 | 15.12 | 6.71 | 19.516 | 1.29 | 20.65 |
| 70 | 15.6 | 8.53 | 19.516 | 1.25 | 20.02 |
| 80 | 16.47 | 8.84 | 19.516 | 1.18 | 18.96 |
| 90 | 16.76 | 9.45 | 19.516 | 1.16 | 18.63 |
| 100 | 16.85 | 10.36 | 19.516 | 1.16 | 18.53 |
| 110 | 16.97 | 11.28 | 19.516 | 1.15 | 18.40 |
| 120 | 17.25 | 12.19 | 19.516 | 1.13 | 18.10 |
| 130 | 17.34 | 13.11 | 19.516 | 1.13 | 18.01 |
| 140 | 17.47 | 13.41 | 19.516 | 1.12 | 17.87 |
| 150 | 17.89 | 13.72 | 19.516 | 1.09 | 17.45 |
| 160 | 17.95 | 14.63 | 19.516 | 1.09 | 17.40 |
| 170 | 18 | 14.63 | 19.516 | 1.08 | 17.35 |
| 180 | 18 | 14.63 | 19.516 | 1.08 | 17.35 |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del aforo

Se determinó, de igual manera los niveles de agua del pozo, así como su profundidad total, con ayuda de una sonda electrónica, obteniendo los resultados mostrados en la tabla 8.

Tabla 8: Datos de nivel de agua del pozo

| | | |
|--------------------------|--------|---------|
| Profundidad Total | 300 ft | 91.44 m |
| Nivel Estático | 65 ft | 19.81 m |
| Nivel Dinámico | 113 ft | 34.44 m |
| Abatimiento | 48 ft | 14.63 m |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la sonda electrónica

Es de notar en la tabla 8, que el pozo perforado tiene una profundidad total de 91.44 m (300 pies), el nivel estático o el nivel del agua antes de extraer el agua es de 19.81 m (65 pies) medido desde la parte superior del pozo, y el nivel dinámico, es decir el nivel al final de la prueba de bombeo es de 34.44 m o 113 pies.

Es importante mencionar que el aforo en su totalidad fue supervisado por personal de ENACAL.

Ahora, sabiendo que el pozo de Subtiaba es capaz de generar un caudal de 1.08 lps, se evaluó con respecto a la NTON 09-001-99, si se acepta o no esta fuente de agua basado en los cálculos de gastos de diseños previos, aplicando la ecuación 3.

$$1.08 \text{ lps} \geq 0.633 \text{ lps}$$

Es claro que la expresión anterior es verdadera, por lo cual se puede decir que es posible utilizar el pozo perforado de la comunidad de Subtiaba, ya que es capaz de abastecer el sistema de agua potable hasta un período de 20 años.

4.6. Análisis de calidad de agua

Después de realizar la toma de muestra de agua del pozo de Subtiaba, se llevaron éstas al laboratorio pertinente para el respectivo análisis físico-químico y bacteriológico, obteniéndose así los valores que se muestran en las tablas 9, 10 y 11.

Tabla 9: Resultados de laboratorio de la prueba físico-química

| MÉTODO SM // EPA // HACH | ENSAYO REALIZADO | UNIDAD | RESULTADOS | NORMA CAPRE (Rango o valor máximo recomendado) |
|--------------------------|---------------------------|-------------------------|------------|--|
| Visual | Aspecto | NE | Clara | NE |
| 4500-B | Potencial de Hidrógeno | pH | 7.34 | 6.5-8.5 |
| 2550-B | Temperatura | °C | 21.30 | 18 a 30 |
| 2510-B | Conductividad Eléctrica | µS/cm | 624.00 | 400 |
| 4500-D | Cloruros | mg/L | 11.40 | 250 |
| 4500-D | Sulfatos | mg/L | 45.08 | 250 |
| 2340-C | Dureza Total | mg/L Ca CO ₃ | 274.56 | 400 |
| 3500-B | Calcio | mg/L | 86.73 | 100 |
| 3500-B | Magnesio | mg/L | 14.13 | 50 |
| 3500-X | Sodio | mg/L | 17.25 | 200 |
| 2540-C | Sólidos Disueltos Totales | mg/L | 390.00 | 1000 |
| 3500-C | Potasio | mg/L | 1.36 | 10 |
| 4500-G | Cloro Residual | mg/L | 0.01 | 0.5 a 1.0 |

Fuente: Elaboración propia con resultados de las pruebas de laboratorio

Tabla 10: Resultados de las pruebas de metales pesados

| MÉTODO SM // EPA // HACH | ENSAYO REALIZADO | UNIDAD | RESULTADOS | NORMA CAPRE |
|--------------------------|------------------|--------|------------|-------------|
| G.H | Arsénico | mg/L | <0.002 | 0.01 |
| 3500-B | Aluminio | mg/L | <0.006 | 0.2 |
| 3500-B | Cobre | mg/L | 0.026 | 2 |
| 3500-B | Zinc | mg/L | <0.02 | 3 |

Elaboración: Elaboración propia con resultados de las pruebas de laboratorio

Tabla 11: Resultados de las pruebas bacteriológicas

| MÉTODO SM // EPA // HACH | ENSAYO REALIZADO | UNIDAD | RESULTADOS | NORMA CAPRE |
|--------------------------|------------------|-----------|------------|-------------|
| 9221-B | Coliforme Total | NMP/100mL | 23.00 | Negativo |
| 9221-E | Coliforme Fecal | NMP/100mL | 13.00 | Negativo |

Elaboración: Elaboración propia con resultados de las pruebas de laboratorio

Si se realiza una comparación de los datos obtenidos con la tabla 39 (anexos pág. xx) referente a la NTON 05-007-98 o norma para la clasificación de recursos hídricos (INAA, 2000); es posible observar que el agua del pozo de Subtiaba corresponde a la clasificación tipo 1-a, es decir, aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes.

Se debe notar, en la tabla 9, que el valor de la conductividad eléctrica (624 $\mu\text{S}/\text{cm}$) sobrepasa el límite de 400 establecido por la norma CAPRE, sin embargo, como no existe otro pozo o fuente de agua cercana, se pueden tolerar valores de conductividad eléctrica en el agua potable de hasta 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ya que no representa ningún riesgo para la salud del ser humano según Global Aquaculture Alliance (Boyd, 2017).

Es posible notar, igualmente, en la tabla 9, que los valores de cloro residual no cumplen con los establecidos por la norma, sin embargo, se debe tener en consideración que a la fuente de agua, es decir el pozo, no ha recibido ningún tratamiento de cloro.

Es importante resaltar también, que en la tabla 11, referente a las pruebas de tipo bacteriológica, hay presencia de coliformes en el agua, con un valor de 23 NMP/100 ml para coliformes totales y 13 NMP/100 ml, de coliformes fecales; por lo que será necesario desinfectar el agua por medio de cloro, para la eliminación total de estos microorganismos, ya que presentan una resistencia baja al cloro de acuerdo con (OMS, 2006, pág. 105).

4.7. Línea de conducción

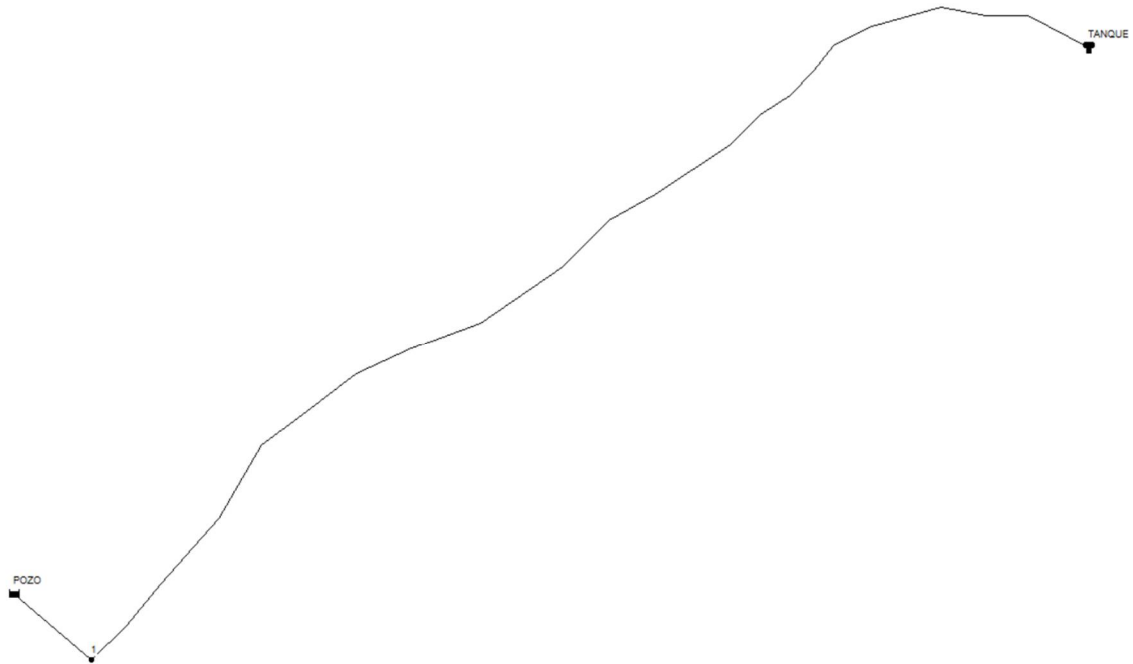
4.7.1. Trazo de la línea de conducción por bombeo eléctrico

Con los datos que se obtuvieron del levantamiento topográfico, es posible realizar el trazo de la línea de conducción, sabiendo que ésta empieza desde el pozo y finaliza en el tanque de almacenamiento.

La altura a la cual está el pozo, que servirá como fuente de abastecimiento de toda la red, es de 1147 msnm y el tanque de almacenamiento de agua tiene una

cota de 1214 msnm, existiendo una diferencia de nivel entre ambos de 67 m, como se puede observar en la tabla 6, por lo que es evidentemente necesario un equipo de bombeo que pueda vencer este diferencial de altura, así como las pérdidas de carga que se generan en el sistema.

Ilustración 3: Línea de conducción



Fuente: Elaboración propia

4.7.2. Gasto de diseño

Para el cálculo del gasto de diseño, que en este caso corresponde al caudal de bombeo, se empleó la ecuación 12 como sigue:

$$Q_b = 6.33 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

El caudal de bombeo resultante es de $6.33 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ (0.633 lps) para 16 hrs de funcionamiento de la bomba, tal como la norma técnica establece (ver numeral 2.10 del presente documento), y es este caudal el que se utilizará para determinar el diámetro de las tuberías para la línea de conducción.

4.7.3. Determinación de la cota mínima de bombeo

Se sabe en primera instancia, que el pozo se encuentra a una cota de 1147 msnm, correspondiendo esta altura a la superficie o al ras del terreno; además con el aforo realizado, se tiene que el nivel estático es de 19.812 m, y que el abatimiento es de 14.631 m, por lo que el nivel de bombeo será:

$$NB = 1147 \text{ msnm} - (19.812 \text{ msnm} + 14.631 \text{ msnm})$$

$$NB = 1112.557 \text{ msnm}$$

Este dato, sin embargo, que corresponde al nivel dinámico del agua en el pozo, se le debe restar 6 m como mínimo, establecido por la norma técnica nacional que expresa: “La longitud de columna se establece para que se sumerja 6 m bajo el nivel mínimo de bombeo” (INAA, 1999, pág. 35), por lo que:

$$NB_{\text{mín}} = 1112.557 \text{ msnm} - 6 \text{ m}$$

$$NB_{\text{mín}} = 1106.557 \text{ msnm}$$

La cota mínima de bombeo por lo tanto será de 1106.557 msnm.

Es importante mencionar que los datos anteriores, respectivos a los niveles de pozo, fueron obtenidos del aforo del mismo, en la época seca o verano, específicamente en el mes de enero, por lo que se deduce, que las cotas de nivel de agua obtenidas son las mínimas en el año.

4.7.4. Selección de los diámetros de tubería

Para la selección de diámetros en las líneas de conducción por bombeo eléctrico es necesario primeramente considerar lo que (Tercero, 1978) establece: “En las líneas de conducción por bombeo hay dos factores de costo que son los más significativos y por eso intervienen la selección del diámetro más económico: consumo de energía y costo de tubería”. De la misma manera se debe tomar en cuenta que: “Para un diámetro determinado, las pérdidas de carga aumentarán de acuerdo al aumento del gasto y consecuentemente se incrementarán los costos de operación y mantenimiento” (Arocha, 1980, pág. 208).

Es pues necesario, hacer en primer lugar un análisis hidráulico para la línea de conducción para determinar las pérdidas de carga en el sistema, y hacer una comparación entre diversos diámetros, teniendo como un valor base el diámetro económico proporcionado por la ecuación 11, y que se muestra consecutivamente:

$$D = 0.9(6.33 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s})^{0.45}$$

$$D = 32.721 \text{ mm}$$

Así también, se utilizó la ecuación 24, que se basa en la fórmula del flujo volumétrico, sustituyendo la velocidad por los rangos establecidos por la norma nicaragüense que son 0.4 m/s y 2 m/s, para obtener valores máximos y mínimos de referencia para la selección del diámetro económico.

$$D_{vm\acute{a}x} = \sqrt{\frac{4 (6.33 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s})}{\pi (2 \text{ m/s})}} * \frac{1000 \text{ mm}}{m}$$

$$D_{vm\acute{a}x} = 20.072 \text{ mm}$$

$$D_{vm\acute{i}n} = \sqrt{\frac{4 (6.33 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s})}{\pi (0.4 \text{ m/s})}} * \frac{1000 \text{ mm}}{m}$$

$$D_{vm\acute{i}n} = 44.883 \text{ mm}$$

Es de notar, que el diámetro económico (32.72 mm) está entre los valores mínimo (20.072 mm) y máximo (44.883 mm) obtenidos de la fórmula de flujo volumétrico.

Ahora, es necesario elegir los diámetros comerciales de tuberías de acero cédula 40 y tuberías de PVC obtenidos del catálogo ubicado en los anexos págs. xxvi y xxvii (tablas 44 y 45).

Los valores de los diámetros internos comerciales más cercanos a los calculados, se muestran en la tabla 12.

Tabla 12: Diámetros comerciales para la línea de conducción

| Ø nominal | Ø interno | Material | Ø interno | Material |
|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|
| 1 1/4 " | 35.10 mm | Acero Céd 40 | 38.92 mm | PVC-SDR26 |
| 1 1/2 " | 40.90 mm | Acero Céd 40 | 44.56 mm | PVC-SDR26 |
| 2 " | 52.50 mm | Acero Céd 40 | 55.71 mm | PVC-SDR26 |

Fuente: Elaboración propia

4.7.4.1. Pérdidas de carga en la línea de conducción

En primera instancia se calculan las pérdidas de energía debido a la fricción en la línea de impulsión, que en este caso, como se pretende utilizar una bomba sumergible, es equivalente a la distancia que va desde el nivel mínimo de bombeo del pozo hasta el tanque de almacenamiento de agua potable, resultando una distancia de 632.50 m para la línea de impulsión, esto obtenido de los datos del levantamiento topográfico y del aforo del pozo (niveles de bombeo), sin embargo, debe tenerse en cuenta que se utilizarán tanto tuberías de acero como de PVC, el primer tipo empleado para el tramo que va desde el nivel de bombeo hasta la sarta (40.94 m), ya que es donde se infiere que habrá más presión debido a la bomba y el segundo tipo (PVC) para el tramo que va desde la sarta hasta el tanque de almacenamiento (591.56 m).

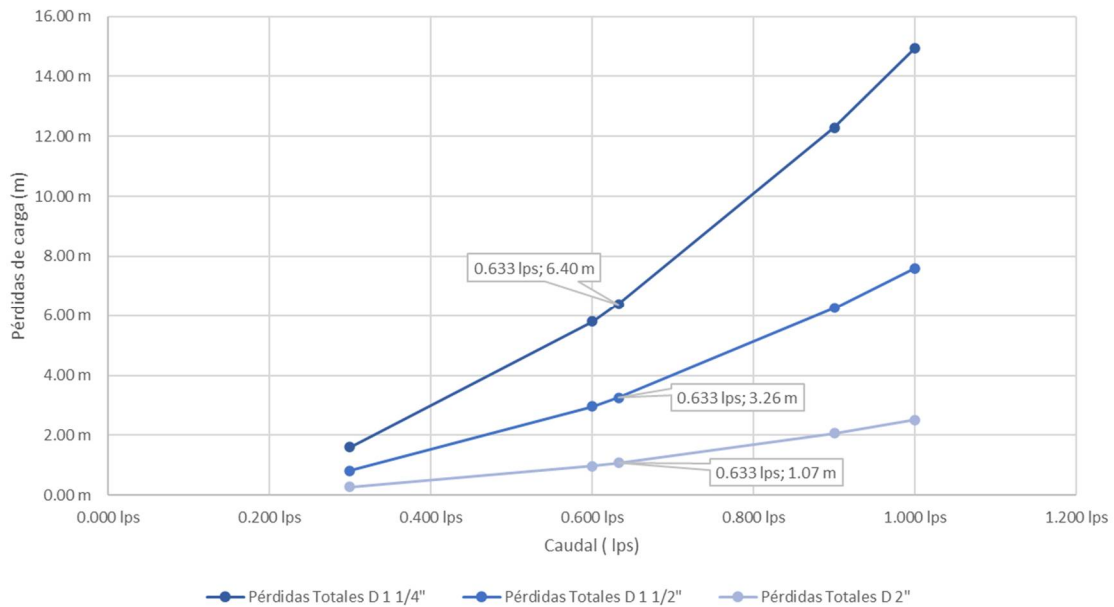
La tabla 13 muestra el resultado de las pérdidas de carga debido a la fricción por tramo, en la línea de conducción, sin tomar en cuenta las pérdidas en la sarta de bombeo por el momento, empleando la ecuación 10 de Hazen-Williams.

Tabla 13: Comparación de pérdidas por fricción según diámetro

| Tramo | Qb | Tubería | Ø nominal | Ø interno | Velocidad | Longitud | Coef. H-W | Pérdidas |
|--------------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|---------------|
| Bomba-Sarta | 0.633 lps | H°G° | 1 1/4 " | 35.10 mm | 0.65 m/s | 40.94 m | 100 | 1.25 m |
| | 0.633 lps | H°G° | 1 1/2" | 40.90 mm | 0.48 m/s | 40.94 m | 100 | 0.59 m |
| | 0.633 lps | H°G° | 2" | 52.50 mm | 0.29 m/s | 40.94 m | 100 | 0.18 m |
| Sarta-Tanque | 0.633 lps | PVC | 1 1/4 " | 38.92 mm | 0.53 m/s | 591.56 m | 150 | 5.15 m |
| | 0.633 lps | PVC | 1 1/2" | 44.56 mm | 0.41 m/s | 591.56 m | 150 | 2.67 m |
| | 0.633 lps | PVC | 2" | 55.71 mm | 0.26 m/s | 591.56 m | 150 | 0.90 m |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 16: Pérdidas de carga por fricción en la línea de impulsión



Fuente: Elaboración propia

Es de notar, tanto en la tabla 13 como en el gráfico 16, que entre mayor sea el diámetro, menor es el valor de pérdidas por fricción, es por ello que para un diámetro nominal de 1 ¼" se tienen pérdidas totales de 6.40 m, para uno de 1 ½" se obtienen 3.26 m y para 2", 1.07 m de pérdidas totales.

Ahora se debe analizar las pérdidas de carga que ocurren en la sarta de bombeo, empleando las ecuaciones 13 y 14.

4.7.4.2. Pérdidas de carga en la sarta de bombeo

Para la determinación de las pérdidas de carga en la sarta debido a los accesorios, que la conforman, se utilizaron las ecuaciones 13 y 14 para el cálculo del factor K por accesorio y las pérdidas totales, respectivamente.

Para la sarta, se asignó un diámetro tentativo de tubería de acero de 1 1/2 pulgadas, por ser un valor medio entre las tuberías candidatas en análisis.

En la tabla 14, se muestran los accesorios que conforman la sarta de bombeo, así como sus valores de coeficientes de pérdidas correspondientes, sumando en total un valor K de 16.40, que se utiliza para la determinación de la pérdida de carga

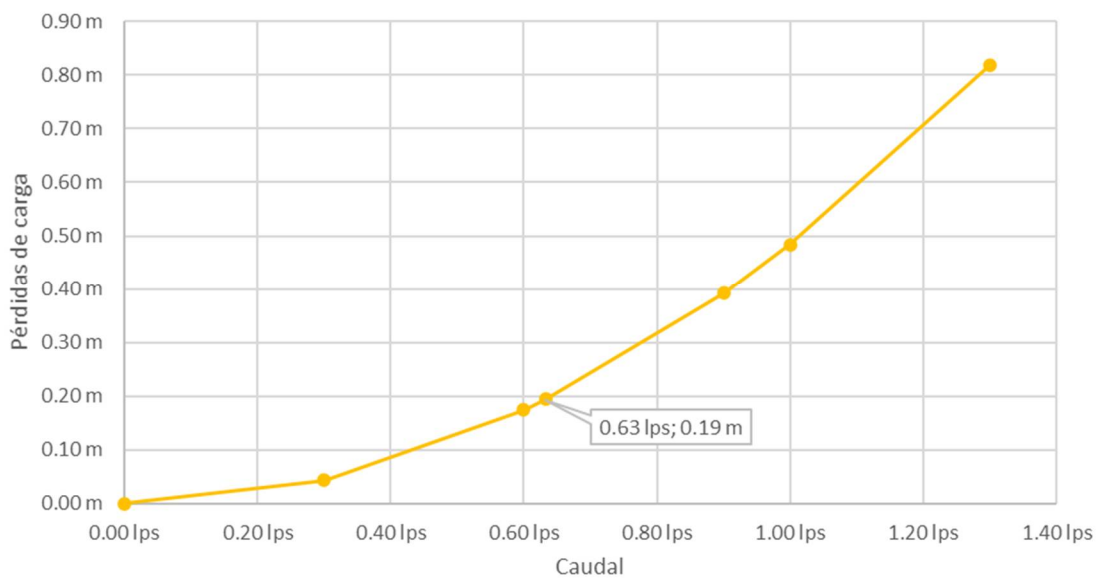
total en la sarta que en este caso es de 0.19 m, como se puede ver en la curva de pérdidas de la sarta de bombeo en el gráfico 17.

Tabla 14: Valor K de la sarta de bombeo

| Elementos | Cantidad | Le/D | $f\tau$ | K |
|---|----------|-------|---------|--------------|
| Válvula de aire H°F° | 1 | 20.20 | 0.019 | 0.38 |
| Unión Dresser de H°F° | 1 | | | 0.04 |
| Medidor maestro | 1 | | | 2.5 |
| Válvula check H°F° de extremos bridados | 1 | 100 | 0.019 | 1.9 |
| Cruz de H°F° | 1 | 20 | 0.019 | 0.38 |
| Válvula de alivio H°F° extremos bridados | 1 | | | 3.9 |
| Válvula de Compuerta H°F° extremos bridados | 1 | 8 | 0.019 | 0.152 |
| Válvula de Pase de H°F° | 1 | 340 | 0.019 | 6.46 |
| Manómetro | 1 | 20.20 | 0.019 | 0.38 |
| Codos de 45° H°F° de extremos roscados | 2 | 16 | 0.019 | 0.304 |
| TOTAL | | | | 16.40 |

Fuente: Elaboración propia con datos de las tablas 46 y 47 del anexo págs. xxvii y xxviii

Gráfico 17: Pérdidas de carga en la sarta de bombeo.



Fuente: Elaboración propia

4.7.4.3. Carga dinámica total en la línea de conducción

Para calcular la carga dinámica total, se empleó la ecuación 15, y de esta manera poder hacer una comparación de esta carga total por cada diámetro candidato para el diseño de la línea de conducción, obteniendo de la misma forma la curva característica del sistema de conducción por bombeo, para la posterior selección de la bomba.

$$CDT_{1\frac{1}{2}"} = 0.19\text{ m} + 3.26\text{ m} + 109.76\text{ m}$$

$$CDT_{1\frac{1}{2}"} = 113.21\text{ m}$$

Tabla 15: Carga dinámica total por diámetro de tubería

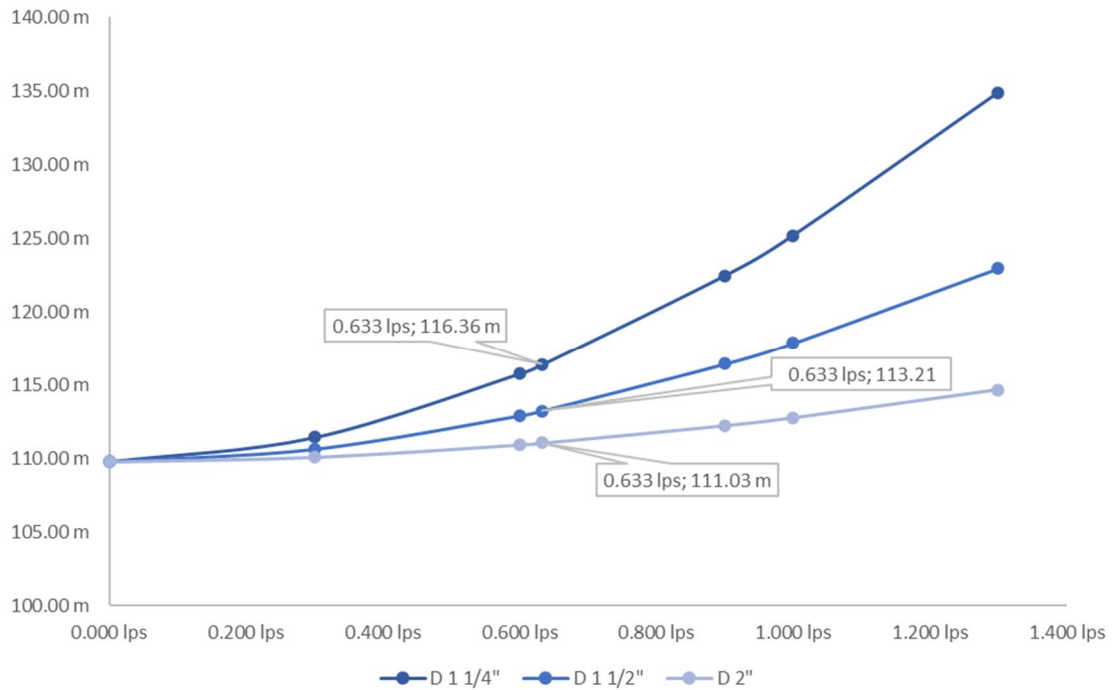
| Ø nominal | Qb | Pérdidas sarta | Pérdidas por fricción | Carga estática | CDT |
|-----------|-----------|----------------|-----------------------|----------------|-----------------|
| 1 1/4" | 0.633 lps | 0.19 m | 6.40 m | 109.76 m | 116.36 m |
| 1 1/2" | 0.633 lps | 0.19 m | 3.26 m | 109.76 m | 113.21 m |
| 2" | 0.633 lps | 0.19 m | 1.07 m | 109.76 m | 111.03 m |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 15 y en gráfico 18, es posible notar, que el factor determinante para la carga total dinámica en el sistema según sea el diámetro de tubería, son las pérdidas debido a la fricción, ya que los demás factores como las pérdidas en la sarta y la carga estática, son valores invariables según el tamaño del diámetro de la tubería.

En base a los resultados de la tabla 10, se afirma, entonces que entre menor sea el diámetro de la tubería, mayores son las pérdidas de carga por fricción en el sistema, es por ello que resulta, en el caso del diámetro más bajo de 1 1/4", una carga dinámica de 116.36 m; en cuanto al diámetro de 1 1/2", produce una carga dinámica de 113.21 m y por último el diámetro de 2" genera pérdidas totales de 111.03 m.

Gráfico 18: Curva de pérdidas en el sistema según el diámetro de tubería



Fuente: Elaboración propia

4.7.4.4. Determinación de la potencia de bomba requerida por diámetro

Se realizó un cálculo teórico para determinar la potencia de la bomba y el motor, según el diámetro de la tubería, de acuerdo con las ecuaciones 16 y 17, tomando el valor ponderado (40 %) de la eficiencia de la bomba, según (IRC, 2002, pág. 457), que establece se pueden utilizar valores estimados de eficiencia de 30% para bombas de 0.4 kW hasta 60% para bombas de 4 kW.

$$P_{b\ 1\ 1/2''} = \frac{9.79\ \text{kN/m}^3 * 6.33 \times 10^{-4}\ \text{m}^3/\text{s} * 113.21\ \text{m}}{0.4}$$

$$P_{b\ 1\ 1/2''} = 1.75\ \text{kW}$$

$$P_{m\ 1\ 1/2''} = 1.15 * 1.75\ \text{kW}$$

$$P_{m\ 1\ 1/2''} = 2.02\ \text{kW}$$

Tabla 16: Potencia teórica de la bomba según el diámetro de tubería

| Diámetro | Peso Específico Agua (25°) | Q | CDT | Eficiencia | Potencia bomba | Potencia del motor |
|----------|----------------------------|----------------------------|----------|------------|----------------|--------------------|
| 1 1/4" | 9.79 kN/m ³ | 6.33E-04 m ³ /s | 116.36 m | 40.0% | 1.80 kW | 2.07 kW 2.78 Hp |
| 1 1/2" | 9.79 kN/m ³ | 6.33E-04 m ³ /s | 113.21 m | 40.0% | 1.75 kW | 2.02 kW 2.70 Hp |
| 2" | 9.79 kN/m ³ | 6.33E-04 m ³ /s | 111.03 m | 40.0% | 1.72 kW | 1.98 kW 2.65 Hp |

Fuente: Elaboración propia

Así pues, como es posible ver en la tabla 16, se obtuvo para el diámetro de 1 1/4" una potencia requerida de 2.07 kW o 2.78 Hp, para 1 1/2", se tienen 2.02 kW o 2.7 Hp aproximadamente y para el diámetro de 2", es necesario una potencia de motor de 1.98 kW o 2.65 Hp. Es de notar, que los diámetros menores generan mayores pérdidas de cargas, y como éstas son proporcionales a la potencia de la bomba se traduce en un aumento del valor de la misma, y viceversa.

Cabe mencionar, que estos valores de potencia serán utilizados para el posterior análisis económico para determinar los costos de energía eléctrica debido al consumo del motor y ver qué diámetro resulta ser el más económico para la línea de conducción.

4.7.4.5. Análisis económico

Se determinaron los costos de las tuberías e instalación y los costos de energía eléctrica utilizando la metodología propuesta por (Arocha, 1980, págs. 215-126).

En primer lugar, se obtuvieron los costos de las tuberías y su respectiva instalación (excavación y relleno), para los diámetros de tubería de 1 1/4" y de 1 1/2". La tubería de 2" no se tomará en cuenta desde ahora, debido a que se genera una velocidad de 0.26 m/s y 0.29 m/s en los tramos de tuberías de H°G° y PVC respectivamente (ver tabla 13), siendo estos valores inferiores a la velocidad mínima establecida por la norma nacional de 0.40 m/s.

Los resultados obtenidos de los costos de tubería e instalación para los dos diámetros seleccionados, son los que se muestran en las tablas 17 y 18.

Tabla 17: Costos de tubería e instalación para $\varnothing = 1 \frac{1}{4}$ "

| Material | Und. medida | Precio unitario | Cantidad | Precio Total |
|--------------------------------------|----------------|-----------------|----------|-------------------------------|
| Excavación Manual en terreno natural | m ³ | C\$ 41.80 | 227.75 | C\$ 9,520.83 |
| Tubería de PVC de 1 1/4" SDR-26 | und. | C\$ 380.00 | 104.00 | C\$ 39,520.00 |
| Pega PVC | und. | C\$ 220.00 | 3.00 | C\$ 660.00 |
| Relleno y compactación Manual | m ³ | C\$ 57.26 | 227.75 | C\$ 13,040.22 |
| Tubería H.G de 1 1/4" | und. | C\$ 1,470.00 | 7.00 | C\$ 10,290.00 |
| Bridas H.G para 1 1/4" | und. | C\$ 250.00 | 8.00 | C\$ 2,000.00 |
| Instalación | | | | Para 1 1/4" en 20 años |
| | | | | C\$ 75,031.05 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18: Costos de tubería e instalación para $\varnothing = 1 \frac{1}{2}$ "

| Material | Und. medida | Precio unitario | Cantidad | Precio Total |
|--------------------------------------|----------------|-----------------|----------|-------------------------------|
| Excavación Manual en terreno natural | m ³ | C\$ 41.80 | 227.75 | C\$ 9,520.83 |
| Tubería de PVC de 1 1/2" SDR-26 | und. | C\$ 420.00 | 104.00 | C\$ 43,680.00 |
| Pega PVC | und. | C\$ 220.00 | 3.00 | C\$ 660.00 |
| Relleno y compactación Manual | m ³ | C\$ 57.26 | 227.75 | C\$ 13,040.22 |
| Tubería H.G de 1 1/2" | und. | C\$ 1,540.00 | 7.00 | C\$ 10,780.00 |
| Bridas H.G para 1 1/2" | und. | C\$ 280.00 | 8.00 | C\$ 2,240.00 |
| Instalación | | | | Para 1 1/2" en 20 años |
| | | | | C\$ 79,921.05 |

Fuente: Elaboración propia

En resumen, se puede decir que los costos de las tuberías e instalación para un diámetro de 1 1/4" asciende a los C\$75, 031.05 y en el caso de la tubería de 1 1/2" tiene un costo total de C\$79, 921.05, todo lo anterior mostrado por las tablas 17 y 18. Es de observar, que los costos totales aumentan entre mayor sea el diámetro como es natural, ya que las tuberías de diámetro más grande son más caras.

Para la determinación de los costos de energía producidos por el gasto de los motores de la bomba, se consideró en primer lugar el tiempo de bombeo (Tb) que en este caso es de 16 horas al día como lo establece la norma técnica (INAA, 1999, pág. 19), luego el consumo de energía, que se obtiene de la potencia

requerida por el tiempo de bombeo, y por último el costo mensual que equivale al consumo por la tarifa.

El costo energético en los 20 años de vida útil del mini acueducto por bombeo eléctrico, resulta de la multiplicación del costo mensual por los meses que hay en 20 años (240 meses).

Es importante mencionar, que la tarifa de energía eléctrica (6.24 C\$/kWh) se obtuvo de lo estipulado por (INE, 2021), que corresponde al costo de bombeo comunitario (ver tabla 48, en anexos pág. xxviii).

Tabla 19: Consumo de energía eléctrica por diámetro de tubería

| Costo de energía eléctrica en 20 años | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|-------------|----------------|--------------|---------------|------------------------|
| DN | Potencia requerida | Tb | Consumo | Tarifa | Costo mensual | Costo total en 20 años |
| 1 1/4 " | 2.07 kW | 480 hrs/mes | 993.60 kWh/mes | 6.24 C\$/kWh | C\$ 6,202.95 | C\$ 1,488,706.91 |
| 1 1/2" | 2.02 kW | 480 hrs/mes | 969.60 kWh/mes | 6.24 C\$/kWh | C\$ 6,053.12 | C\$ 1,452,747.80 |

Fuente: Elaboración propia

Es posible ver en la tabla 19, que el costo energético total en el caso del diámetro de tubería de 1 ¼" es de C\$ 1,488,706.91 y para uno de 1 ½" asciende a los C\$ 1,452,747.8. Como es de notar, la tendencia en los resultados es de disminuir el costo de energía eléctrica entre mayor sea el diámetro de tubería, esto es debido a que la potencia requerida para los diámetros de tubería más grandes disminuye, porque se tiene menor carga dinámica total, en comparación con las tuberías de menor diámetro.

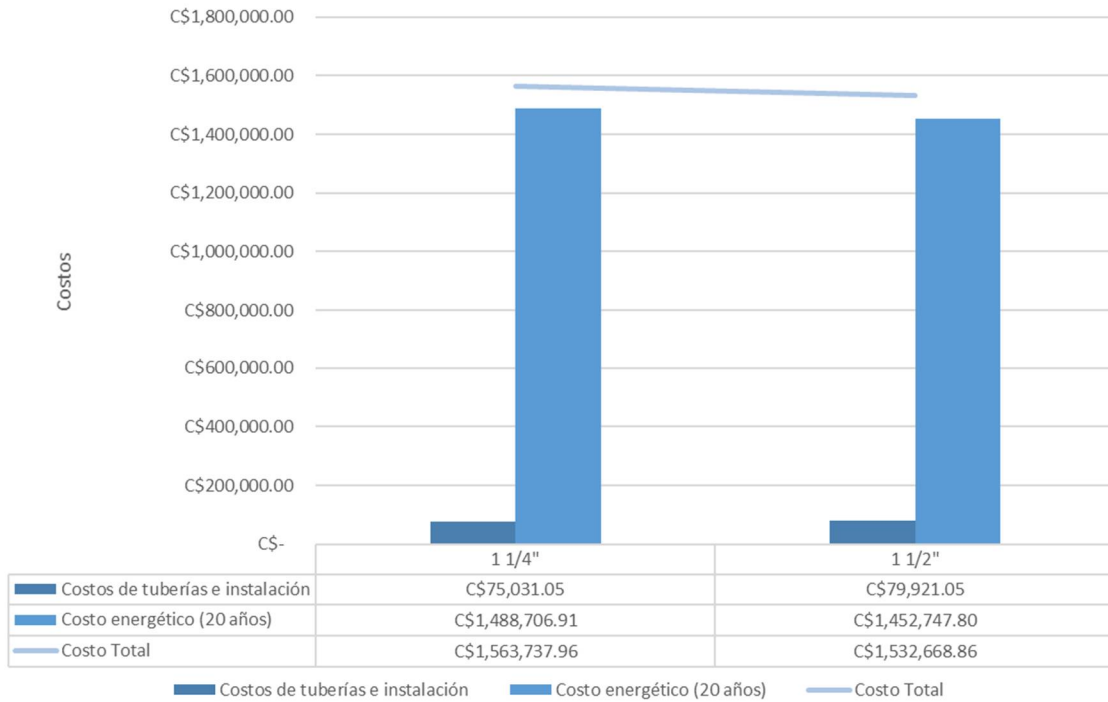
Es posible resumir todos los datos obtenidos para obtener los costos totales según sea el diámetro de tubería, tal como se aprecia en la tabla 20 y el gráfico 19.

Tabla 20: Resumen de costos totales según diámetro

| DN | Costos de tuberías e instalación | Costo energético (20 años) | Costo total |
|--------|----------------------------------|----------------------------|------------------|
| 1 1/4" | C\$ 75,031.05 | C\$ 1,488,706.91 | C\$ 1,563,737.96 |
| 1 1/2" | C\$ 79,921.05 | C\$ 1,452,747.80 | C\$ 1,532,668.86 |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 19: Comparativa de costos según diámetro de tubería



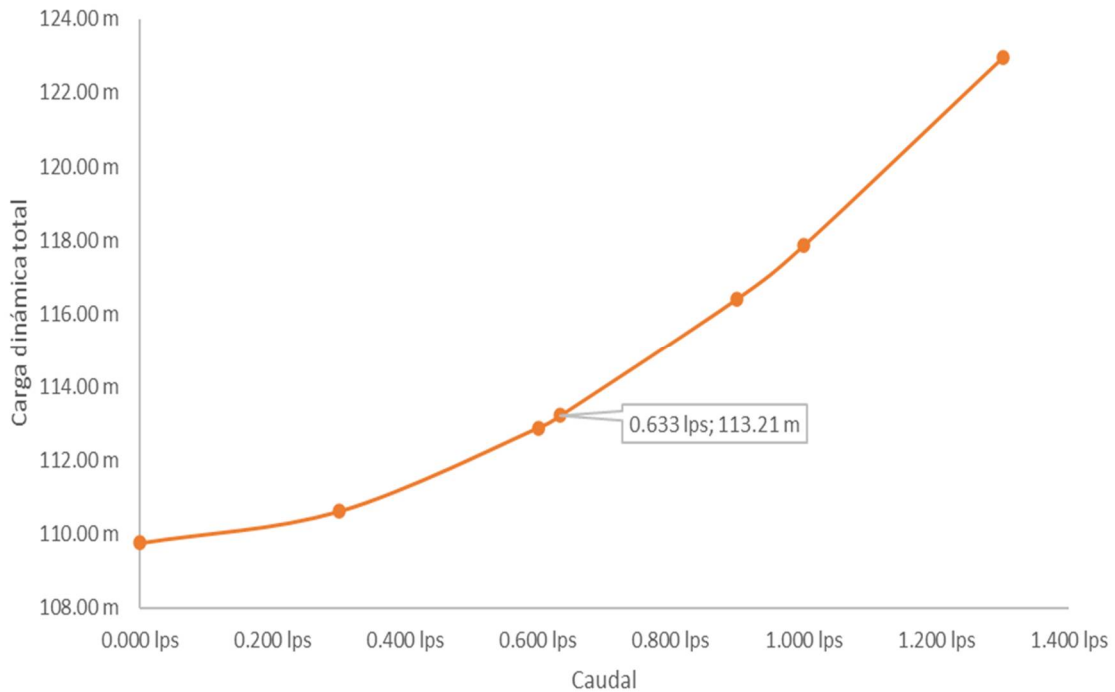
Fuente: Elaboración propia

Es posible distinguir en el gráfico 19, que el factor determinante para los costos totales, son los costos de energía eléctrica y no tanto los costos de las tuberías e instalación, ya que se puede ver que los costos totales tienen un mayor valor si los costos energéticos ascienden. Por tales motivos, para el diámetro de 1 1/2", que tiene un menor consumo de energía, los costos totales son de C\$ 1,532,668.86; siendo este valor el menor entre los demás diámetros, por lo que este será el diámetro óptimo económicamente y será utilizado por dicho motivo en la línea de conducción.

4.7.4.6. Elección final de la bomba

Sabiendo que el diámetro nominal a utilizar para la respectiva línea de conducción es de 1 1/2", ahora se puede elegir la bomba que se utilizará para llevar el agua desde el pozo hasta el tanque de almacenamiento, empleando tanto la curva de pérdidas del sistema como la curva de rendimiento de la bomba.

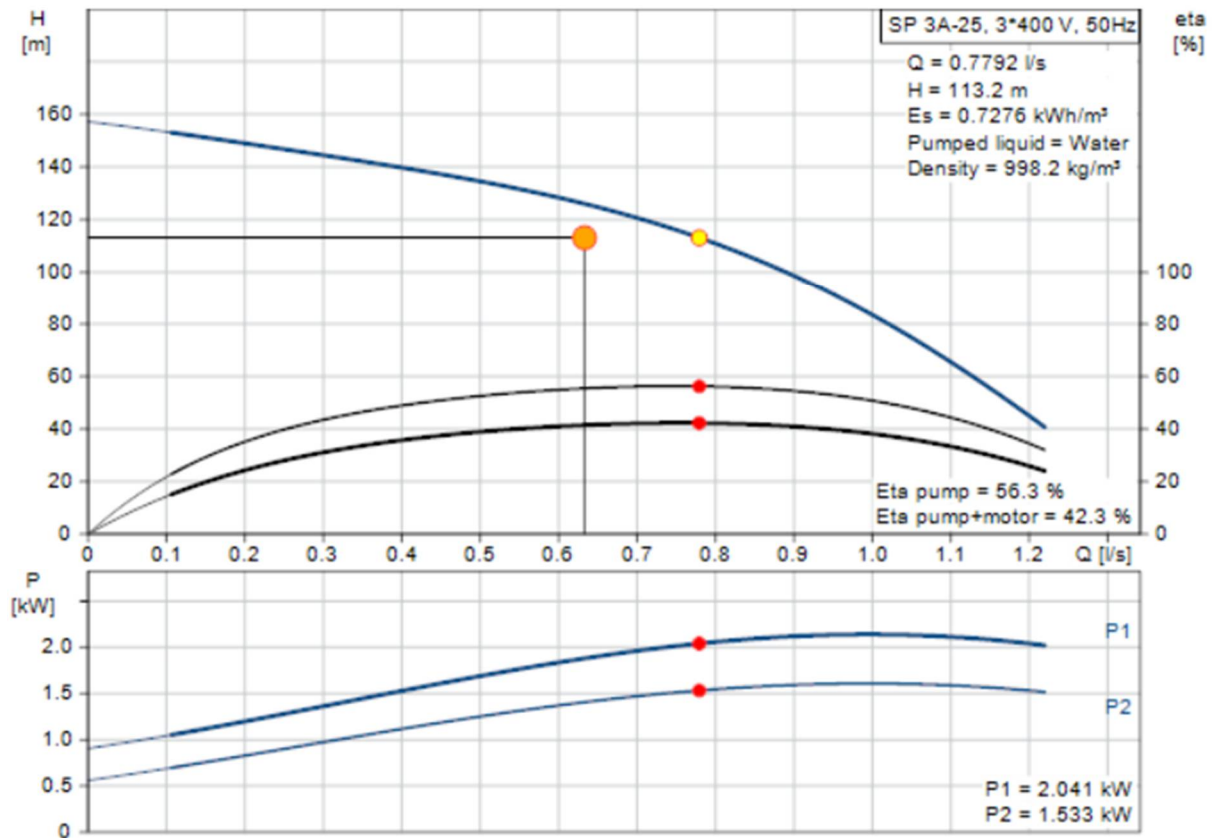
Gráfico 20: Curva de pérdidas en el sistema para $\varnothing = 1\ 1/2"$



Fuente: Elaboración propia

Como se ve en el gráfico 20, la carga dinámica total para el caudal de bombeo de 0.633 lps, es de 113.21 m; ahora, debe buscarse en la curva de rendimiento de la bomba un valor similar tanto de carga dinámica total (eje y) como caudal (eje x), para verificar si la bomba es adecuada para la línea de conducción en específico, tal como se puede comprobar en el gráfico 21.

Gráfico 21: Curva de rendimiento de bomba SP 3A-25



Fuente: (Grundfos, Lenntech, 2018)

Como se aprecia en el gráfico 21, este tipo de bomba (Grundfos SP 3A-25) es capaz de sobrellevar la carga dinámica total del sistema, así como el caudal, ya que este tipo de bomba es capaz de mover un caudal de 0.78 lps hasta una altura de 113.21 m (carga dinámica total); así mismo esta bomba, según el fabricante, trabajando en estas condiciones se obtiene un rendimiento de bomba y motor de 42.3%, utilizando 2.04 kW de energía, siendo este resultado similar al calculado (2.02 kW) para un diámetro de 1 1/2" (ver tabla 16).

4.7.4.7. Golpe de ariete en la línea de conducción

Se realizó el cálculo de la sobrepresión por golpe de ariete debido al cierre de válvula en la sarta de bombeo, utilizando las ecuaciones 18 y 19, en los tramos de tubería que van desde el pozo a la sarta de bombeo, y de la misma hasta el

tanque de almacenamiento, ya que estos tramos están conformados por tuberías de diferentes materiales, que son a saber, acero y PVC, respectivamente. Los datos para realizar los respectivos cálculos se muestran en la tabla 21; cabe mencionar que el valor del espesor de la pared fue obtenido de los catálogos de tuberías mostrados en las tablas 44 y 45 de los anexos páginas xxvi y xvii.

Tabla 21: Datos para calcular la sobrepresión por golpe de ariete

| Tramo | Tipo de tubería | Ø nominal | Ø interno | e | k |
|----------------|-----------------|-----------|-----------|---------|-----|
| Pozo - Sarta | Acero | 1 1/2 | 40.90 mm | 3.68 mm | 0.5 |
| Sarta - Tanque | PVC | 1 1/2 | 44.56 mm | 1.85 mm | 18 |

Fuente: Elaboración propia

Al utilizar las ecuaciones 18 y 19, se tiene:

$$C_{\text{pozo-sarta}} = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + 0.5 * \frac{40.90 \text{ mm}/1000}{3.68 \text{ mm}/1000}}}$$

$$C_{\text{pozo-sarta}} = 1349.01 \text{ m/s}$$

$$h_{a \text{ pozo-sarta}} = \frac{1349.01 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.48 \text{ m/s}}{9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{a \text{ pozo-sarta}} = 66.24 \text{ m}$$

El resto de los resultados, se muestra en la tabla 22.

Tabla 22: Sobrepresión debido al golpe de ariete por tramo de tubería

| Tramo | Celeridad | V | ha |
|----------------|-------------|----------|---------|
| Pozo - Sarta | 1349.01 m/s | 0.48 m/s | 66.24 m |
| Sarta - Tanque | 451.00 m/s | 0.41 m/s | 18.66 m |

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida la sobrepresión, se debe ahora calcular la presión total que interviene en cada tramo, es decir la carga por sobrepresión y la carga dinámica total, de la siguiente manera:

$$P_{m\acute{a}x \text{ pozo-sarta}} = 66.24 \text{ m} + 113.21 \text{ m}$$

$$P_{m\acute{a}x \text{ pozo-sarta}} = 179.45 \text{ m} = 254.8 \text{ psi}$$

En el caso del tramo sarta – tanque, debido a que se encuentra por encima del nivel en donde está ubicada la bomba, la presión en este punto va a disminuir, por lo que primero se debe calcular la presión en la sarta de bombeo, que equivale a la carga dinámica total menos la altura del terreno y las pérdidas por fricción; luego se le debe sumar al resultado anterior, el valor de la sobrepresión por golpe de ariete para obtener la presión total.

$$H = 113.21 \text{ m} - 40.94 \text{ m} - 0.59 \text{ m}$$

$$H = 71.68 \text{ m}$$

$$P_{m\acute{a}x \text{ sarta-Tanque}} = 18.66 \text{ m} + 71.68 \text{ m}$$

$$P_{m\acute{a}x \text{ sarta-tanque}} = 90.34 \text{ m} = 128.28 \text{ psi}$$

En resumen, puede decirse que la presión total para el tramo pozo-sarta que está conformado por tuberías de acero, es de 254.8 psi y el tramo sarta-tanque que es de tuberías PVC se tiene una presión de 128.28 psi.

Basándose en los datos anteriores, ahora, se evaluaron éstos con los valores de los catálogos de tuberías (tablas 44 y 45 de los anexos páginas xxvi y xvii), en cuanto a la presión que resisten, siendo así que se obtiene la tubería de acero cédula 40 de 1 1/2 pulgadas, para el tramo pozo-sarta, es capaz de resistir la presión total de 254.8 psi, ya que la presión estipulada por el catálogo es de 1300 psi; lo mismo con la tubería de PVC SDR-26 de 1 1/2 pulgadas, del tramo sarta-tanque, que tiene una presión de trabajo de 160 psi y una de ruptura de 500 psi, siendo la presión total calculada de 128.28 psi. Todo lo anterior indica que los tipos de tuberías propuestos son correctos, ya que cumplen con todos los

requisitos, tanto económicos como hidráulicos, y por lo tanto serán utilizados para la línea de conducción.

4.8. Diseño del tanque de almacenamiento

Para el diseño del tanque de almacenamiento se emplearán las ecuaciones 20 y 21, correspondientes al volumen de almacenamiento y para determinar las dimensiones del tanque respectivamente. Cabe mencionar que el tanque estará sobre la superficie del suelo ya que lo permite la topografía del terreno, y además en la comunidad de Subtiaba hay facilidad para obtener los materiales de construcción como piedra bolón o cantera, tal como la norma técnica lo recomienda (INAA, 1999, pág. 37).

$$V_t = 35\% \left(3.72 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} \right) * \frac{86400 s}{día}$$

$$V_t = 11.26 m^3/día$$

Ahora se debe tener en cuenta para el cálculo de las dimensiones del tanque lo siguiente: “si se ha de lograr el dimensionamiento más económico debe guardarse la relación D=H” (Tercero, 1978). Es de observar, sin embargo, que para el caso presente, como se desea dimensionar un tanque con planta cuadrada, la relación será B=H.

Así, pues tomando un valor tentativo para “h” de 2.20 m, teniendo en cuenta la restricción de altura de hasta 3 m, de la norma técnica.

$$b = \sqrt{\frac{11.26 m^3}{2.20 m}}$$

$$b = 2.26 m$$

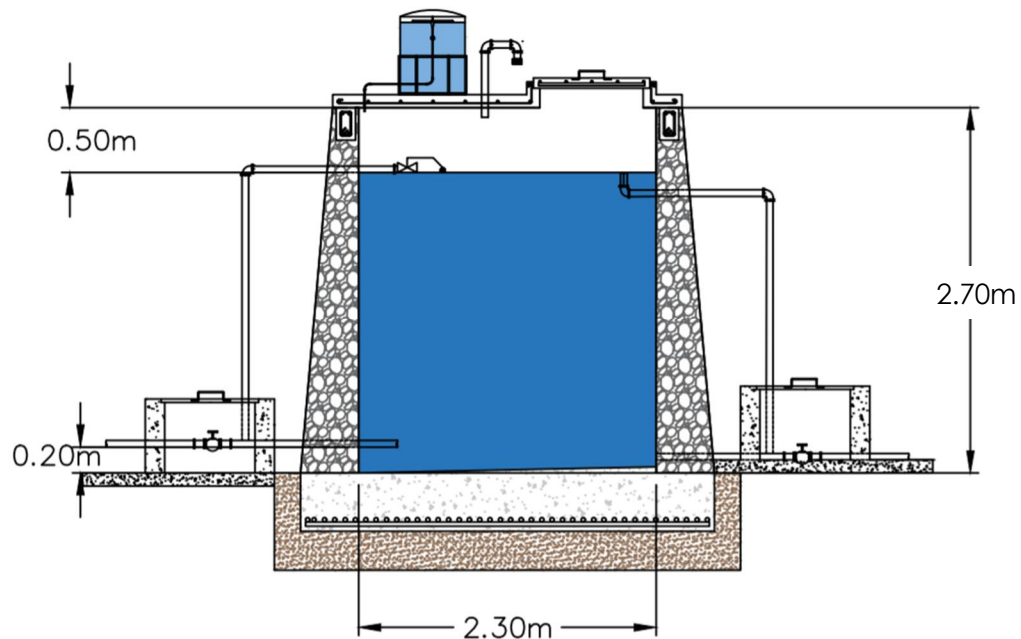
El resultado para la base cuadrada del tanque es de 2.26 m, no obstante, por razones constructivas se utilizará un valor de 2.30 m; además se considerará un valor de borde libre de 0.50 m, por recomendación de la NTON 09-001-99 y una altura de sedimentación medida desde la base del tanque de 0.20 m según (López Cualla, 1995, pág. 215).

Tabla 23: Resumen de las dimensiones del tanque de almacenamiento

| Dimensiones del tanque de almacenamiento | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|
| Vol. Útil | b | h | BL | S |
| 11.64 m ³ | 2.30 m | 2.20 m | 0.50 m | 0.20 m |

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 4: Dimensiones del tanque de almacenamiento



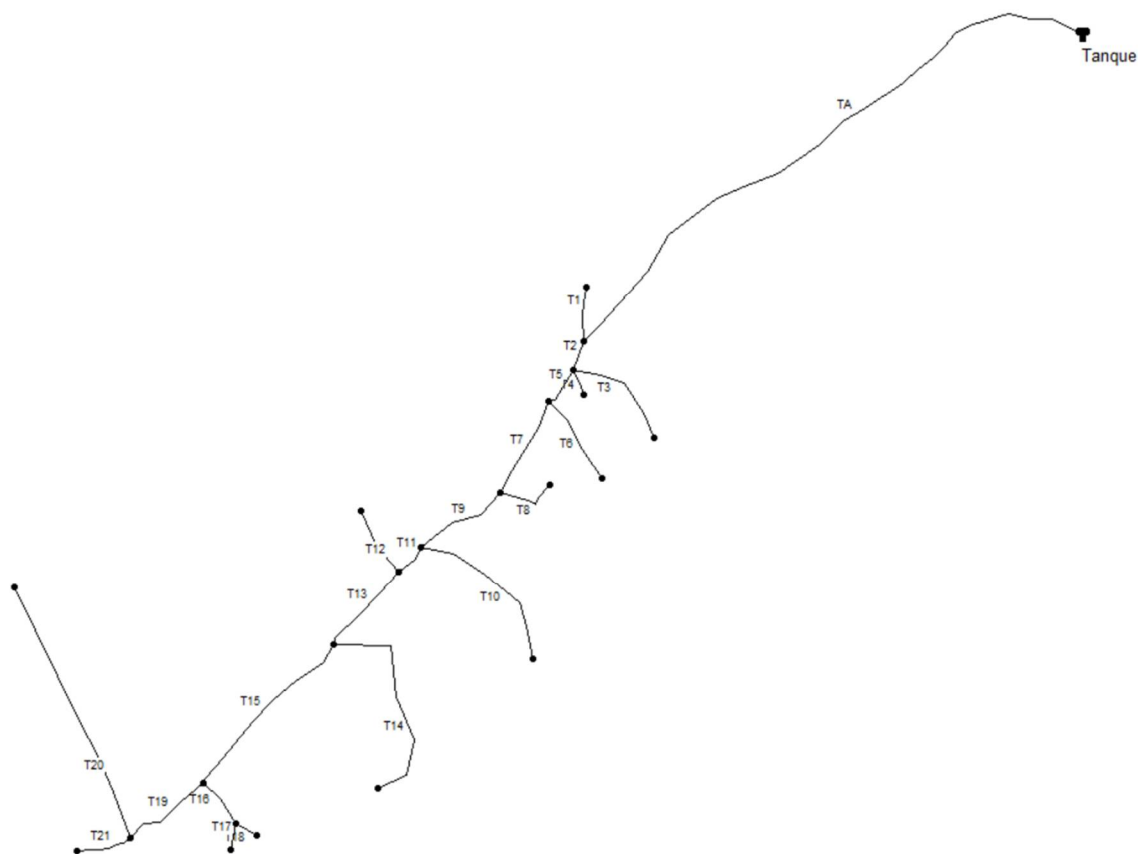
Fuente: Elaboración propia

4.9. Red de distribución

4.9.1. Trazado de la red de distribución

A partir de los datos obtenidos en el levantamiento topográfico, se realizó el trazado de la red, teniendo como inicio el tanque de almacenamiento de agua potable, localizado a una altura de 1214 msnm, siendo ésta superior con respecto a las propiedades a servir; por lo que es posible diseñar la red por gravedad.

Ilustración 5: Trazado de la red de distribución



Fuente: Elaboración propia

Es claramente distinguible en la ilustración 5, que la red de distribución es de tipo abierta en atención a la distribución de las casas y la topografía del lugar.

4.9.2. Definición de caudales por nodo

Para definir el caudal en cada nodo de la red de distribución, se empleó el método del caudal unitario longitudinal, mostrado en el numeral 3.7.5 , teniendo como referencia las Normas de Diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable (INAA, 1989, pág. 40), que expresan: “Para localidades pequeñas y en localidades en las cuales se pueda estimar que su desarrollo futuro sea en base a densidades uniformes, se podrán obtener los consumos concentrados en base al consumo por unidad de longitud de las tuberías”.

Así pues, aplicando la ecuación 23, se obtuvo:

$$q_{ul} = \frac{1.005 \text{ lps}}{1715.203 \text{ m}}$$

$$q_{ul} = 586 \times 10^{-6} \text{ lps/m}$$

Es importante mencionar que la longitud de 1715.203 m, que se obtiene del levantamiento topográfico corresponde a la longitud total de la red de distribución, incluyendo sus ramificaciones y omitiendo la tubería de alimentación de la red.

En base al caudal longitudinal obtenido, que es de 586×10^{-6} lps/m, se prosiguió a utilizar la ecuación 22, para determinar los caudales en cada tramo de tubería.

$$Q_i = 586 \times 10^{-6} \text{ lps/m} * 51.435 \text{ m}$$

$$Q_i = 0.0301 \text{ lps}$$

Los resultados, del caudal por cada tramo de tubería de toda la red, se muestran en la tabla 24.

Tabla 24: Caudal por tramo de tubería

| Tramo | Longitud | q _{uL} | Q _i |
|--------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| TA | --- | ---- | --- |
| T1 | 51.435 m | 586.0E-6 Lps/m | 0.03 Lps |
| T2 | 26.807 m | 586.0E-6 Lps/m | 0.02 Lps |
| T3 | 102.919 m | 586.0E-6 Lps/m | 0.06 Lps |
| T4 | 21.320 m | 586.0E-6 Lps/m | 0.01 Lps |
| T5 | 36.741 m | 586.0E-6 Lps/m | 0.02 Lps |
| T6 | 83.962 m | 586.0E-6 Lps/m | 0.05 Lps |
| T7 | 93.835 m | 586.0E-6 Lps/m | 0.05 Lps |
| T8 | 51.021 m | 586.0E-6 Lps/m | 0.03 Lps |
| T9 | 86.868 m | 586.0E-6 Lps/m | 0.05 Lps |
| T10 | 150.248 m | 586.0E-6 Lps/m | 0.09 Lps |
| T11 | 31.708 m | 586.0E-6 Lps/m | 0.02 Lps |
| T12 | 62.554 m | 586.0E-6 Lps/m | 0.04 Lps |
| T13 | 87.648 m | 586.0E-6 Lps/m | 0.05 Lps |
| T14 | 193.833 m | 586.0E-6 Lps/m | 0.11 Lps |
| T15 | 169.393 m | 586.0E-6 Lps/m | 0.10 Lps |
| T16 | 43.472 m | 586.0E-6 Lps/m | 0.03 Lps |
| T17 | 27.613 m | 586.0E-6 Lps/m | 0.02 Lps |
| T18 | 24.876 m | 586.0E-6 Lps/m | 0.01 Lps |
| T19 | 80.350 m | 586.0E-6 Lps/m | 0.05 Lps |
| T20 | 239.488 m | 586.0E-6 Lps/m | 0.14 Lps |
| T21 | 49.112 m | 586.0E-6 Lps/m | 0.03 Lps |
| TOTAL | 1715.203 m | | 1.01 Lps |

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados de la tabla 24, es posible encontrar los caudales por nodo, dividiendo el caudal del tramo de tubería entre los nodos correspondientes, con respecto a la metodología de (IRC, 2002, pág. 483).

En el nodo 2, convergen los tramos T1 y T2, por lo cual:

$$Q_{n2} = \frac{0.0301 \text{ lps}}{2} + \frac{0.0157 \text{ lps}}{2}$$

$$Q_{n2} = 0.0229 \text{ lps}$$

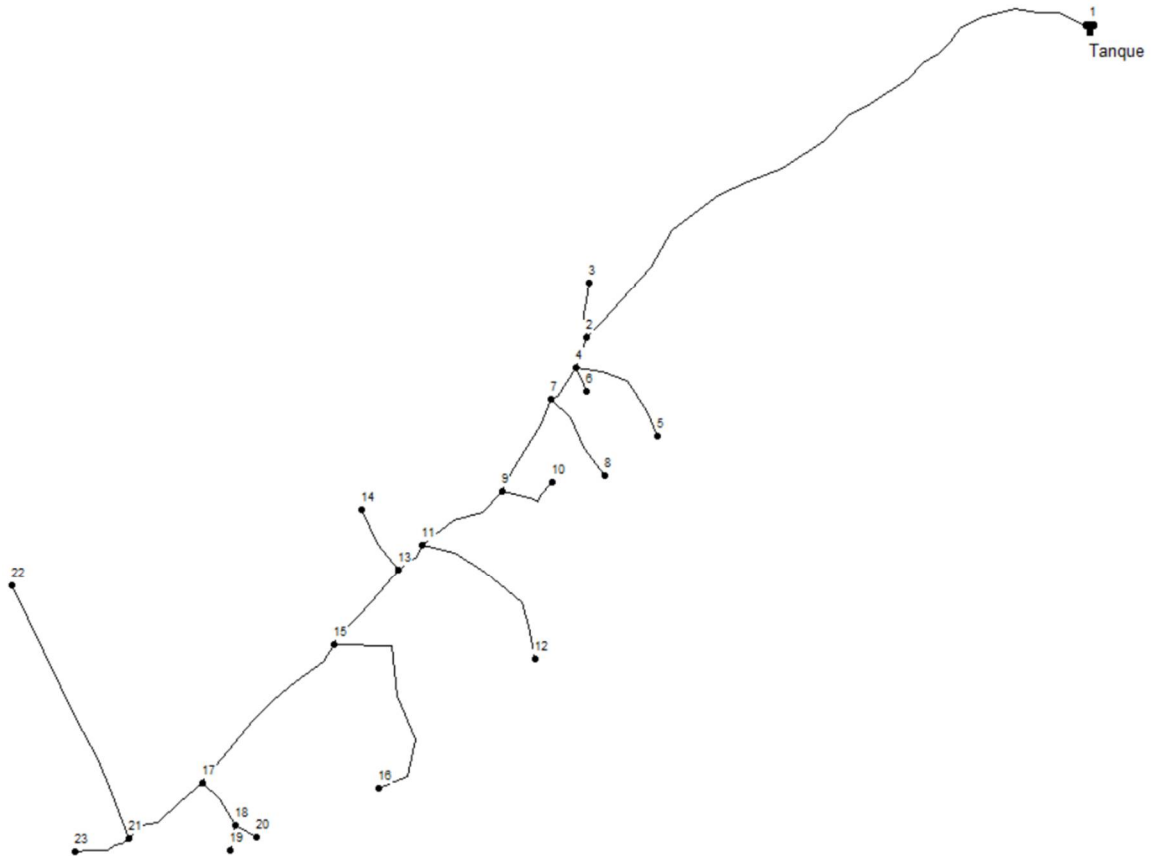
Tabla 25: Caudal en los nodos de la red de distribución

| Nodo | Q _{nodo} |
|--------------|-------------------|
| 1 | TANQUE |
| 2 | 0.023 Lps |
| 3 | 0.015 Lps |
| 4 | 0.055 Lps |
| 5 | 0.030 Lps |
| 6 | 0.006 Lps |
| 7 | 0.063 Lps |
| 8 | 0.025 Lps |
| 9 | 0.068 Lps |
| 10 | 0.015 Lps |
| 11 | 0.079 Lps |
| 12 | 0.044 Lps |
| 13 | 0.053 Lps |
| 14 | 0.018 Lps |
| 15 | 0.132 Lps |
| 16 | 0.057 Lps |
| 17 | 0.086 Lps |
| 18 | 0.028 Lps |
| 19 | 0.008 Lps |
| 20 | 0.007 Lps |
| 21 | 0.108 Lps |
| 22 | 0.070 Lps |
| 23 | 0.014 Lps |
| TOTAL | 1.01 Lps |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 25, se muestran los resultados de los gastos en cada nodo de la red de distribución, coincidiendo la sumatoria de los caudales en los nodos con el consumo máximo horario (CMH) de 1.005 lps.

Ilustración 6: Ubicación de los nodos en la red de distribución



Fuente: Elaboración propia

Con los caudales obtenidos en cada nodo, se obtuvo los gastos reales en cada uno de los tramos de tubería, aplicando el principio de continuidad, en cual se establece que el flujo que entra es el mismo que sale, según (IRC, 2002, pág. 483).

Analizando, el tramo TA o línea de alimentación de la red, se establece que:

$$Q_{TA} = \sum Q_n$$

$$Q_{TA} = 1.005 \text{ lps}$$

Es de notar que, el caudal en el tramo de tubería correspondiente a la línea de alimentación, coincide con el CMH, tal como se esperaba, ya que por este tramo deberá pasar toda el agua que abastece la red de distribución y que corresponde a la sumatoria de todas las “salidas” de caudal de la red.

Los resultados de los caudales reales en los tramos de la red de distribución se muestran en la tabla 26.

Tabla 26: Caudales reales por tramo en la red de distribución

| Tramo | Q |
|-------|-----------|
| TA | 1.005 Lps |
| T1 | 0.015 Lps |
| T2 | 0.967 Lps |
| T3 | 0.030 Lps |
| T4 | 0.006 Lps |
| T5 | 0.876 Lps |
| T6 | 0.025 Lps |
| T7 | 0.788 Lps |
| T8 | 0.015 Lps |
| T9 | 0.705 Lps |
| T10 | 0.044 Lps |
| T11 | 0.583 Lps |
| T12 | 0.018 Lps |
| T13 | 0.511 Lps |
| T14 | 0.057 Lps |
| T15 | 0.322 Lps |
| T16 | 0.043 Lps |
| T17 | 0.008 Lps |
| T18 | 0.007 Lps |
| T19 | 0.193 Lps |
| T20 | 0.070 Lps |
| T21 | 0.014 Lps |

Fuente: Elaboración propia

4.9.3. Determinación de los diámetros de las tuberías

A partir de los valores de los caudales obtenidos con anterioridad y estableciendo una velocidad tentativa de 1.2 m/s, que se encuentra dentro de los parámetros de la normativa nacional, que es a saber 0.4 m/s y 2 m/s, se obtuvo los diámetros para cada tramo de tubería, aplicando la ecuación 24.

Para el caso del tramo TA, el diámetro tentativo de la tubería resulta:

$$D_{TA} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$$
$$D_{TA} = \sqrt{\frac{4 \left(1.005 \frac{l}{s} * \frac{1 m^3}{1000 l} \right)}{\pi \left(1.2 \frac{m}{s} \right)}}$$
$$D_{TA} = 0.03266 m * \frac{1000 mm}{1 m}$$
$$D_{TA} = 32.66 mm$$

Para que en el tramo de tubería TA, el agua viaje a una velocidad de 1.2 m/s, es necesario que la tubería tenga un diámetro interno aproximado de 32.66 milímetros; no obstante, es necesario considerar lo que las Normas de Diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable (INAA, 1989, pág. 36) establecen: “El diámetro mínimo de la tubería de la red de distribución será de 2 pulgadas (50mm) siempre y cuando se demuestre que su capacidad sea satisfactoria para atender la demanda máxima, aceptándose en ramales abiertos en extremos de la red, para servir a pocos usuarios de reducida capacidad económica; y en zonas donde razonablemente no se vaya a producir un aumento de densidad de población, podrá usarse el diámetro mínimo de una pulgada y media 1 ½” (37.5mm) en longitudes no superiores a los 100.00 m.

Es así que en el caso del tramo TA, se elige un diámetro comercial de 2 pulgadas.

Este proceso se repite con los demás tramos de la red de distribución.

La tabla 27, muestra los resultados de los diámetros a utilizar en la red de distribución en cada uno de los tramos. Cabe mencionar que los diámetros comerciales, se obtuvieron del catálogo de tuberías SDR 26 ubicado en los anexos pág. xxvii, tabla 45.

Tabla 27: Diámetro de tuberías por tramo en la red de distribución

| Tramo | Longitud | Q | Vpropuesta | Ø calculado | Ø comercial | Ø nominal (pulg) |
|-------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|------------------|
| TA | 559.628 m | 1.005 Lps | 1.20 m/s | 32.66 mm | 55.71 mm | 2 |
| T1 | 51.435 m | 0.015 Lps | 1.20 m/s | 4.00 mm | 44.56 mm | 1 1/2 |
| T2 | 26.807 m | 0.967 Lps | 1.20 m/s | 32.03 mm | 55.71 mm | 2 |
| T3 | 102.919 m | 0.030 Lps | 1.20 m/s | 5.66 mm | 55.71 mm | 2 |
| T4 | 21.320 m | 0.006 Lps | 1.20 m/s | 2.57 mm | 44.56 mm | 1 1/2 |
| T5 | 36.741 m | 0.876 Lps | 1.20 m/s | 30.48 mm | 44.56 mm | 1 1/2 |
| T6 | 83.962 m | 0.025 Lps | 1.20 m/s | 5.11 mm | 44.56 mm | 1 1/2 |
| T7 | 93.835 m | 0.788 Lps | 1.20 m/s | 28.92 mm | 55.71 mm | 2 |
| T8 | 51.021 m | 0.015 Lps | 1.20 m/s | 3.98 mm | 44.56 mm | 1 1/2 |
| T9 | 86.868 m | 0.705 Lps | 1.20 m/s | 27.36 mm | 55.71 mm | 2 |
| T10 | 150.248 m | 0.044 Lps | 1.20 m/s | 6.83 mm | 55.71 mm | 2 |
| T11 | 31.708 m | 0.583 Lps | 1.20 m/s | 24.86 mm | 55.71 mm | 2 |
| T12 | 62.554 m | 0.018 Lps | 1.20 m/s | 4.41 mm | 44.56 mm | 1 1/2 |
| T13 | 87.648 m | 0.511 Lps | 1.20 m/s | 23.28 mm | 55.71 mm | 2 |
| T14 | 193.833 m | 0.057 Lps | 1.20 m/s | 7.76 mm | 55.71 mm | 1 1/2 |
| T15 | 169.393 m | 0.322 Lps | 1.20 m/s | 18.49 mm | 55.71 mm | 2 |
| T16 | 43.472 m | 0.043 Lps | 1.20 m/s | 6.79 mm | 44.56 mm | 1 1/2 |
| T17 | 27.613 m | 0.008 Lps | 1.20 m/s | 2.93 mm | 44.56 mm | 1 1/2 |
| T18 | 24.876 m | 0.007 Lps | 1.20 m/s | 2.78 mm | 44.56 mm | 1 1/2 |
| T19 | 80.350 m | 0.193 Lps | 1.20 m/s | 14.30 mm | 44.56 mm | 1 1/2 |
| T20 | 239.488 m | 0.070 Lps | 1.20 m/s | 8.63 mm | 55.71 mm | 2 |
| T21 | 49.112 m | 0.014 Lps | 1.20 m/s | 3.91 mm | 44.56 mm | 1 1/2 |

Fuente: Elaboración propia

4.9.4. Análisis hidráulico de la red de distribución

4.9.4.1. Análisis de velocidades en la red

Una vez obtenidos los diámetros a utilizar en cada tramo de tubería que conforma la red, se calcularon las velocidades reales que existe en el sistema, para hacer una comparación con los límites que la norma nacional establece.

Los resultados de las velocidades en cada tramo de tubería de la red, obtenidos en la simulación de régimen permanente en EPANET, se muestran en la tabla 28.

Tabla 28: Velocidades reales en la red de distribución

| ID Línea | Longitud | Diámetro | Caudal | Velocidad | Pérdidas Unit. |
|-------------|----------|----------|--------|-----------|----------------|
| | m | mm | LPS | m/s | m/Km |
| Tubería TA | 559.628 | 55.71 | 1.01 | 0.41 | 3.59 |
| Tubería T1 | 51.435 | 44.56 | 0.02 | 0.01 | 0 |
| Tubería T2 | 26.807 | 55.71 | 0.97 | 0.4 | 3.34 |
| Tubería T3 | 102.919 | 55.71 | 0.03 | 0.01 | 0.01 |
| Tubería T4 | 21.32 | 44.56 | 0.01 | 0 | 0 |
| Tubería T5 | 36.741 | 55.71 | 0.88 | 0.36 | 2.78 |
| Tubería T6 | 83.962 | 44.56 | 0.02 | 0.02 | 0.01 |
| Tubería T7 | 93.835 | 55.71 | 0.79 | 0.32 | 2.29 |
| Tubería T8 | 51.021 | 44.56 | 0.01 | 0.01 | 0 |
| Tubería T9 | 86.868 | 55.71 | 0.71 | 0.29 | 1.86 |
| Tubería T10 | 150.248 | 55.71 | 0.04 | 0.02 | 0.01 |
| Tubería T11 | 31.708 | 55.71 | 0.58 | 0.24 | 1.3 |
| Tubería T12 | 62.554 | 44.56 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| Tubería T13 | 87.648 | 55.71 | 0.51 | 0.21 | 1.02 |
| Tubería T14 | 193.833 | 55.71 | 0.06 | 0.02 | 0.02 |
| Tubería T15 | 169.393 | 55.71 | 0.32 | 0.13 | 0.44 |
| Tubería T16 | 43.472 | 44.56 | 0.04 | 0.03 | 0.03 |
| Tubería T17 | 27.613 | 44.56 | 0.01 | 0.01 | 0 |
| Tubería T18 | 24.876 | 44.56 | 0.01 | 0 | 0 |
| Tubería T19 | 80.35 | 55.7 | 0.19 | 0.08 | 0.17 |
| Tubería T20 | 239.488 | 55.71 | 0.07 | 0.03 | 0.03 |
| Tubería T21 | 49.112 | 44.56 | 0.01 | 0.01 | 0 |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de EPANET

Es muy importante notar, que de entre todos los tramos que conforman la red, sólo dos de ellos cumplen con la velocidad establecida por la norma técnica nacional, que son a saber, los tramos TA y T2; el resto de tramos no cumple con la velocidad debido a que los diámetros son muy grandes con respecto a la demanda de agua, haciendo que la velocidad, que es inversamente proporcional al diámetro de las tuberías, sea menor.

Como la norma establece que no se pueden utilizar diámetros menores a 1 ½", debe dejarse los diámetros como se muestran en la tabla 28, teniendo como consideración que deberán ponerse válvulas de limpieza en los extremos de los tramos con mayor longitud en los que la velocidad no cumple y en los puntos más bajos de los mismos, para evitar la sedimentación.

En cuanto a las pérdidas unitarias, que provienen de la ecuación de Hazen-Williams (utilizando un coeficiente de fricción de 150) configuradas en el simulador EPANET, se puede notar que la mayor pérdida se da en el tramo TA, equivalente a 3.59 m/Km, la que le sigue es el tramo T2 con 3.34 m/Km, así mismo existen tramos en donde las pérdidas son nulas o igual a cero como en el caso del tramo T1, T4, T8, T17, T18 y T21.

4.9.4.2. Análisis de presiones en la red

Los resultados de las presiones en la red de distribución, obtenidos en el simulador EPANET, se reflejan en la tabla 29. Estos valores deben ser comparados en base a los límites que la norma nacional establece, que es de 5 a 50 metros de columna de agua.

Tabla 29: Presiones en la red de distribución

| ID nudo | Cota | Demanda | Altura | Presión |
|-------------|----------|---------|---------|---------|
| | msnm | LPS | m | mca |
| Tanque | 1214 | -1.01 | 1214.3 | 0.3 |
| Conexión 2 | 1139.053 | 0.02 | 1212.29 | 73.24 |
| Conexión 3 | 1149.756 | 0.02 | 1212.29 | 62.54 |
| Conexión 4 | 1133.726 | 0.06 | 1212.2 | 78.48 |
| Conexión 5 | 1139 | 0.03 | 1212.2 | 73.2 |
| Conexión 6 | 1136.977 | 0.01 | 1212.2 | 75.23 |
| Conexión 7 | 1125.909 | 0.06 | 1212.1 | 86.19 |
| Conexión 8 | 1127.03 | 0.02 | 1212.1 | 85.07 |
| Conexión 9 | 1116.513 | 0.07 | 1211.89 | 95.37 |
| Conexión 10 | 1124 | 0.01 | 1211.89 | 87.89 |
| Conexión 11 | 1097.18 | 0.08 | 1211.73 | 114.55 |
| Conexión 12 | 1097 | 0.04 | 1211.72 | 114.72 |
| Conexión 13 | 1091.577 | 0.05 | 1211.68 | 120.11 |
| Conexión 14 | 1092.991 | 0.02 | 1211.68 | 118.69 |
| Conexión 15 | 1082.269 | 0.13 | 1211.59 | 129.33 |
| Conexión 16 | 1082.269 | 0.06 | 1211.59 | 129.32 |
| Conexión 17 | 1065.914 | 0.09 | 1211.52 | 145.61 |
| Conexión 18 | 1065.914 | 0.03 | 1211.52 | 145.61 |
| Conexión 19 | 1064 | 0.01 | 1211.52 | 147.52 |
| Conexión 20 | 1066.902 | 0.01 | 1211.52 | 144.62 |
| Conexión 21 | 1061.34 | 0.11 | 1211.51 | 150.17 |
| Conexión 22 | 1062 | 0.07 | 1211.5 | 149.5 |
| Conexión 23 | 1060 | 0.01 | 1211.51 | 151.51 |

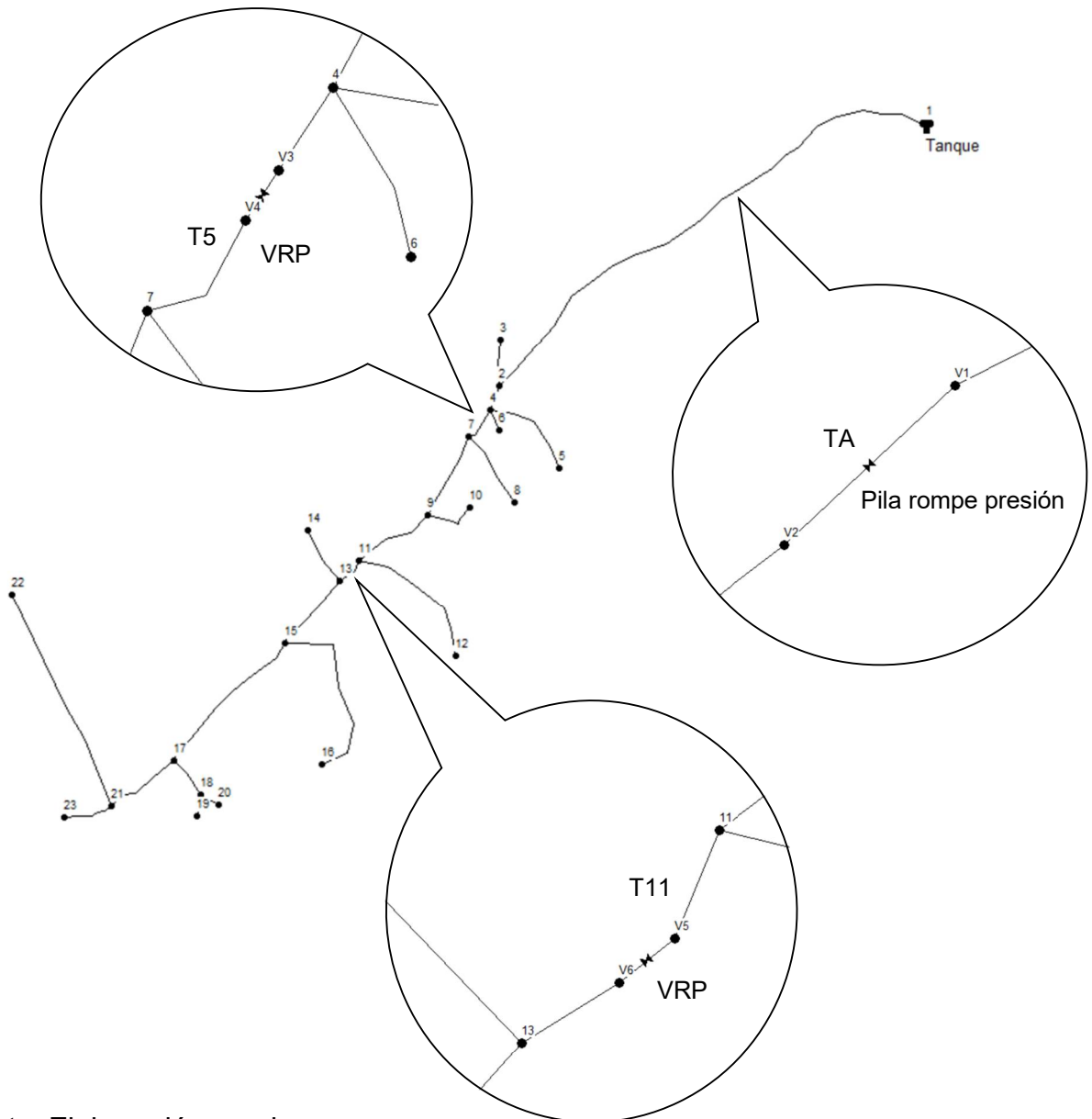
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de EPANET

Se puede observar claramente en la tabla 29, que ninguna de las presiones en los nodos de la red cumple con los límites proporcionados por la normativa, por lo cual se debe hacer un ajuste a la red, agregando válvulas reductoras de presión o pilas rompe presión según sea más conveniente.

4.9.4.3. Ajuste de la red de distribución

Con el fin de estabilizar las presiones en el sistema de distribución, de manera que se encuentren dentro del rango de la normativa nacional, se empleó una pila rompe presión en el tramo TA, y válvulas reductoras de presión en los tramos T5 y T11, como se muestra en la ilustración 7. Cabe mencionar que se evaluará la red, cuando el tanque se encuentre a su nivel mínimo de agua, a fin de evitar cualquier valor de presión muy bajo.

Ilustración 7: Red de distribución ajustada con válvulas reductoras de presión



Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la presión obtenidos a partir de la simulación de régimen permanente en EPANET de la red de distribución con la pila rompe presión en TA, y las válvulas reductoras de presión en T5 y T11, son favorables, ya que en todos los nodos cumplen con los límites establecidos por la normativa nacional, tal como se puede visualizar en la tabla 31, siendo la presión promedio en todo el sistema de 32.05 mca, teniendo como máximo una presión de 49.08 en el nodo 23, y una presión mínima de 16.27 mca en el nodo 14.

Tabla 30: Velocidades en la red de distribución con pilas rompe presión y válvulas reductoras presión

| RED CON VÁLVULAS | | | | | |
|------------------|---------------|----------|--------|-----------|----------------|
| ID Línea | Longitud | Diámetro | Caudal | Velocidad | Pérdidas Unit. |
| | m | mm | LPS | m/s | m/Km |
| Tubería TA | 253.166 | 55.71 | 1.01 | 0.41 | 3.59 |
| Tubería TA' | 306.462 | 55.71 | 1.01 | 0.41 | 3.59 |
| Tubería T1 | 51.435 | 44.56 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| Tubería T2 | 26.807 | 55.71 | 0.97 | 0.4 | 3.34 |
| Tubería T3 | 102.919 | 55.71 | 0.03 | 0.01 | 0.01 |
| Tubería T4 | 21.32 | 44.56 | 0.01 | 0 | 0 |
| Tubería T5 | 17.434 | 55.71 | 0.88 | 0.36 | 2.78 |
| Tubería T5' | 19.307 | 55.71 | 0.88 | 0.36 | 2.78 |
| Tubería T6 | 83.962 | 44.56 | 0.02 | 0.02 | 0.01 |
| Tubería T7 | 93.835 | 55.71 | 0.79 | 0.32 | 2.29 |
| Tubería T8 | 51.021 | 44.56 | 0.01 | 0.01 | 0 |
| Tubería T9 | 86.868 | 55.71 | 0.71 | 0.29 | 1.86 |
| Tubería T10 | 150.248 | 55.71 | 0.04 | 0.02 | 0.01 |
| Tubería T11 | 19.553 | 55.71 | 0.58 | 0.24 | 1.31 |
| Tubería T11' | 12.155 | 55.71 | 0.58 | 0.24 | 1.3 |
| Tubería T12 | 62.554 | 44.56 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| Tubería T13 | 87.648 | 55.71 | 0.51 | 0.21 | 1.02 |
| Tubería T14 | 193.833 | 55.71 | 0.06 | 0.02 | 0.02 |
| Tubería T15 | 169.393 | 55.71 | 0.32 | 0.13 | 0.44 |
| Tubería T16 | 43.472 | 44.56 | 0.04 | 0.03 | 0.03 |
| Tubería T17 | 27.613 | 44.56 | 0.01 | 0.01 | 0 |
| Tubería T18 | 24.876 | 44.56 | 0.01 | 0 | 0 |
| Tubería T19 | 80.35 | 55.71 | 0.19 | 0.08 | 0.17 |
| Tubería T20 | 239.488 | 55.71 | 0.07 | 0.03 | 0.03 |
| Tubería T21 | 49.112 | 44.56 | 0.01 | 0.01 | 0 |
| Caja RP | No Disponible | 55.71 | 1.01 | 0.41 | 41.41 |
| VRP 1 | No Disponible | 55.71 | 0.88 | 0.36 | 26.54 |
| VRP 2 | No Disponible | 55.71 | 0.58 | 0.24 | 34.47 |

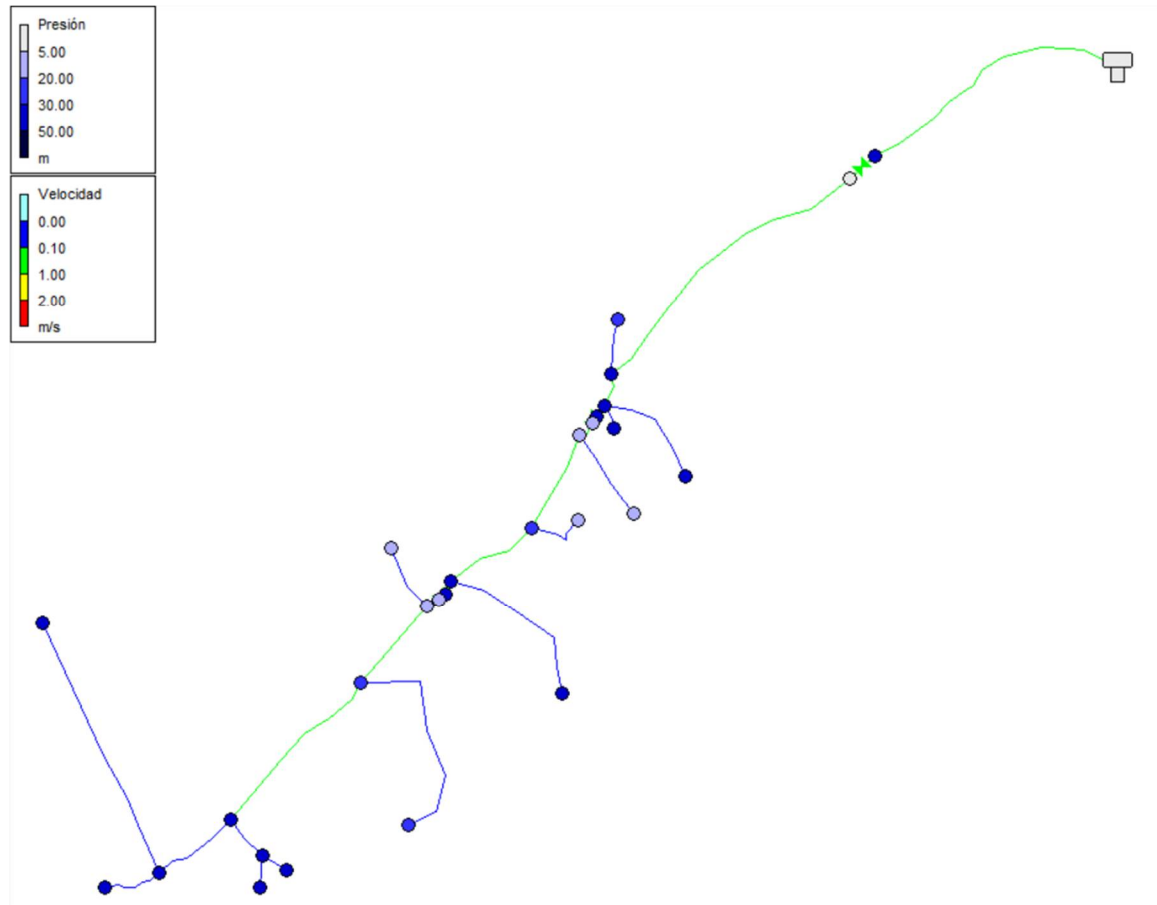
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de EPANET

Tabla 31: Presión en los nodos de la red con pilas rompe presión y válvulas reductoras de presión

| ID nudo | Cota | Demanda | Altura | Presión |
|----------------|----------|---------|---------|-----------|
| | msnm | LPS | m | mca |
| TANQUE | 1214 | -1.01 | 1214.3 | 0.3 |
| Conexión 2 | 1139.053 | 0.02 | 1170.88 | 31.83 |
| Conexión 3 | 1149.756 | 0.02 | 1170.88 | 21.12 |
| Conexión 4 | 1133.726 | 0.06 | 1170.79 | 37.06 |
| Conexión 5 | 1139 | 0.03 | 1170.79 | 31.79 |
| Conexión 6 | 1136.977 | 0.01 | 1170.79 | 33.81 |
| Conexión 7 | 1125.909 | 0.06 | 1144.15 | 18.24 |
| Conexión 8 | 1127.03 | 0.02 | 1144.15 | 17.12 |
| Conexión 9 | 1116.513 | 0.07 | 1143.93 | 27.42 |
| Conexión 10 | 1124 | 0.01 | 1143.93 | 19.93 |
| Conexión 11 | 1097.18 | 0.08 | 1143.77 | 46.59 |
| Conexión 12 | 1097 | 0.04 | 1143.77 | 46.77 |
| Conexión 13 | 1091.577 | 0.05 | 1109.26 | 17.68 |
| Conexión 14 | 1092.991 | 0.02 | 1109.26 | 16.27 mín |
| Conexión 15 | 1082.269 | 0.13 | 1109.17 | 26.9 |
| Conexión 16 | 1082.269 | 0.06 | 1109.16 | 26.9 |
| Conexión 17 | 1065.914 | 0.09 | 1109.09 | 43.18 |
| Conexión 18 | 1065.914 | 0.03 | 1109.09 | 43.18 |
| Conexión 19 | 1064 | 0.01 | 1109.09 | 45.09 |
| Conexión 20 | 1066.902 | 0.01 | 1109.09 | 42.19 |
| Conexión 21 | 1061.34 | 0.11 | 1109.08 | 47.74 |
| Conexión 22 | 1062 | 0.07 | 1109.07 | 47.07 |
| Conexión 23 | 1060 | 0.01 | 1109.08 | 49.08 máx |
| Conexión CRP 1 | 1171.979 | 0 | 1213.39 | 41.41 |
| Conexión CRP 2 | 1171.979 | 0 | 1171.98 | 0 |
| Conexión V3 | 1131.203 | 0 | 1170.74 | 39.54 |
| Conexión V4 | 1131.203 | 0 | 1144.2 | 13 |
| Conexión V5 | 1096.274 | 0 | 1143.75 | 47.47 |
| Conexión V6 | 1096.274 | 0 | 1109.27 | 13 |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de EPANET

Ilustración 8: Velocidades y presiones en la red de distribución con CRP² y VRP³



Fuente: Elaboración propia con resultados obtenidos de EPANET

² Cajas rompe presión.

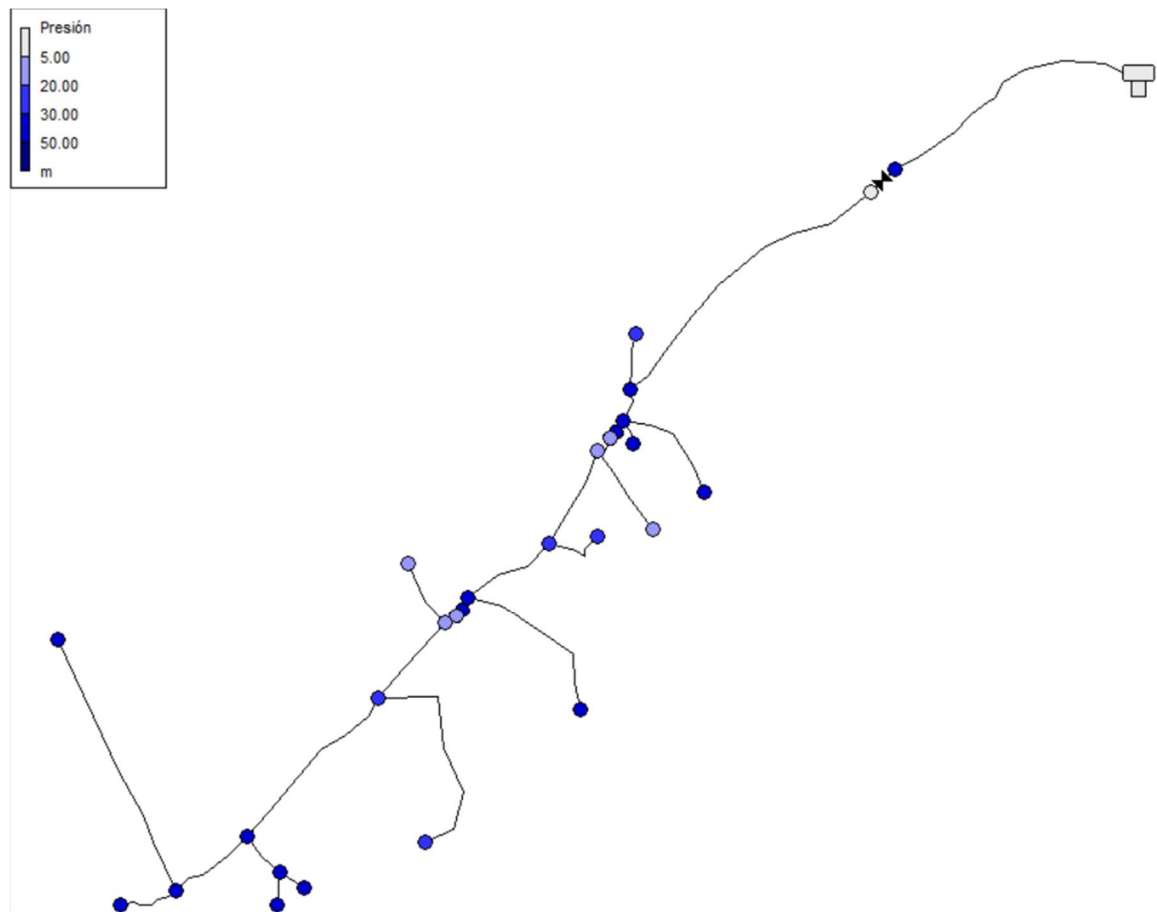
³ Válvulas reductoras de presión.

4.9.4.4. Análisis de la red con demanda en nodos igual a cero

Ahora que se tiene el ajuste de la red, es necesario también considerar lo que la norma nacional establece, y es que debe realizarse un análisis de las presiones máximas que pueden existir en la red de distribución cuando las demandas son iguales a cero (INAA, 1999, pág. 43).

Se modeló por lo tanto en EPANET esta condición de la presión cuando la demanda en los nodos es cero, y cuando el tanque de almacenamiento se encuentra a su nivel máximo, obteniendo los resultados mostrados en la ilustración 9 y en la tabla 32.

Ilustración 9: Análisis de presiones en la red de distribución con demanda cero



Fuente: Elaboración propia con resultados obtenidos de EPANET

Tabla 32: Análisis de presiones en la red de distribución con demanda cero

| ID nudo | Cota | Demanda | Altura | Presión |
|---------------|----------|---------|---------|------------------|
| | msnm | LPS | m | mca |
| TANQUE | 1214 | 0 | 1216.32 | 2.32 |
| Conexión 2 | 1139.053 | 0 | 1171.98 | 32.93 |
| Conexión 3 | 1149.756 | 0 | 1171.98 | 22.22 |
| Conexión 4 | 1133.726 | 0 | 1171.98 | 38.25 |
| Conexión 5 | 1139 | 0 | 1171.98 | 32.98 |
| Conexión 6 | 1136.977 | 0 | 1171.98 | 35 |
| Conexión 7 | 1125.909 | 0 | 1144.2 | 18.29 |
| Conexión 8 | 1127.03 | 0 | 1144.2 | 17.17 |
| Conexión 9 | 1116.513 | 0 | 1144.2 | 27.69 |
| Conexión 10 | 1124 | 0 | 1144.2 | 20.2 |
| Conexión 11 | 1097.18 | 0 | 1144.2 | 47.02 |
| Conexión 12 | 1097 | 0 | 1144.2 | 47.2 |
| Conexión 13 | 1091.577 | 0 | 1109.27 | 17.7 |
| Conexión 14 | 1092.991 | 0 | 1109.27 | 16.28 mín |
| Conexión 15 | 1082.269 | 0 | 1109.27 | 27 |
| Conexión 16 | 1082.269 | 0 | 1109.27 | 27 |
| Conexión 17 | 1065.914 | 0 | 1109.27 | 43.36 |
| Conexión 18 | 1065.914 | 0 | 1109.27 | 43.36 |
| Conexión 19 | 1064 | 0 | 1109.27 | 45.27 |
| Conexión 20 | 1066.902 | 0 | 1109.27 | 42.37 |
| Conexión 21 | 1061.34 | 0 | 1109.27 | 47.93 |
| Conexión 22 | 1062 | 0 | 1109.27 | 47.27 |
| Conexión 23 | 1060 | 0 | 1109.27 | 49.27 máx |
| Conexión CRP1 | 1171.979 | 0 | 1216.32 | 44.34 |
| Conexión CRP2 | 1171.979 | 0 | 1171.98 | 0 |
| Conexión V3 | 1131.203 | 0 | 1171.98 | 40.78 |
| Conexión V4 | 1131.203 | 0 | 1144.2 | 13 |
| Conexión V5 | 1096.274 | 0 | 1144.2 | 47.93 |
| Conexión V6 | 1096.274 | 0 | 1109.27 | 13 |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de EPANET

En la tabla 32, es posible notar que la mayor presión que se registra en la red con la condición crítica correspondiente a la demanda en los nodos igual a cero, sigue siendo en la conexión o nodo 23 con 49.27 mca, teniendo un aumento del 0.4% con respecto al valor de presión obtenido en el mismo nodo, pero con caudal concentrado. De la misma manera es posible notar que la presión mínima registrada es de 16.28 mca en el nodo 14, teniendo un valor relativamente igual al obtenido con caudales concentrados en la sección 4.9.4.3.

Teniendo siempre como referencia la tabla 32, se puede observar que todos los nodos de la red de distribución analizados en la condición de demanda cero, cumplen con las presiones establecidas normativa nacional (presión mínima 5 m y presión máxima 50 m).

4.9.4.5. Verificación de resistencia de la tubería en la red de distribución

La presión máxima en el sistema en el punto más bajo de la red de distribución es de 49.27 mca, esto equivalente a 70 psi, cuando el agua está a 25°C.

Considerando que la tubería PVC SDR-26 tiene una presión de trabajo de 160 psi y una presión de ruptura de 500 psi, con respecto al catálogo de tuberías (ver anexos tabla 45, pág. xxvii), puede decirse que la tubería es capaz de sobrellevar la presión máxima del sistema de 70 psi o 49.27 mca, siendo la tubería ideal para la red de distribución de agua potable.

4.10. Desinfección del agua para la red de distribución

Es evidente en el apartado 4.6 referente al análisis de calidad de agua, que la fuente de abastecimiento, es decir, el agua del pozo perforado de la comunidad de Subtiaba, presenta coliformes totales y fecales, por lo cual se le debe realizar una desinfección por cloro, ya que los coliformes tienen una resistencia baja al cloro según la tabla 49 localizada en los anexos pág. xxix.

Se debe tener en cuenta, que para que la desinfección por cloro sea eficaz debe haber una concentración de cloro residual libre entre 0.2 mg/l y 0.5 mg/l en los puntos más alejados de la red de distribución (INAA, 1999, pág. 95), así mismo no puede sobrepasar la dosis de cloro a los 5 mg/l, ya que puede afectar el aspecto, sabor u olor del agua y ocasionar reclamos de los consumidores, según (OMS, 2006, pág. 164).

4.10.1. Cantidad de cloro a utilizar

Para determinar la cantidad de cloro que se debe utilizar, se aplicaron las ecuaciones 25, 26 y 27, como se muestra a continuación:

$$t_d = \frac{32164 \text{ Lpd} * 24}{0.633 \text{ lps} * 86400} * 1.5$$

$$t_d = 21 \text{ h/día}$$

$$Q_{cl} = \frac{500 \text{ lts}}{21 \text{ h/día} * 14 \text{ días}}$$

$$Q_{cl} = 1.70 \text{ l/h}$$

$$P_{cl} = \frac{2 \text{ mg/l} * 0.633 \text{ lps} * 600 \text{ lts}}{1.70 \text{ l/h} * 0.7} * 3.6$$

$$P_{cl} = 2296.52 \text{ gr}$$

Por tanto, según los resultados obtenidos en los cálculos anteriores, se necesitarán 2296.52 gr de hipoclorito de calcio al 70% cada 14 días (tiempo de recarga), para una dosificación de 2 mg/l, esto con motivo de la preparación de la solución madre.

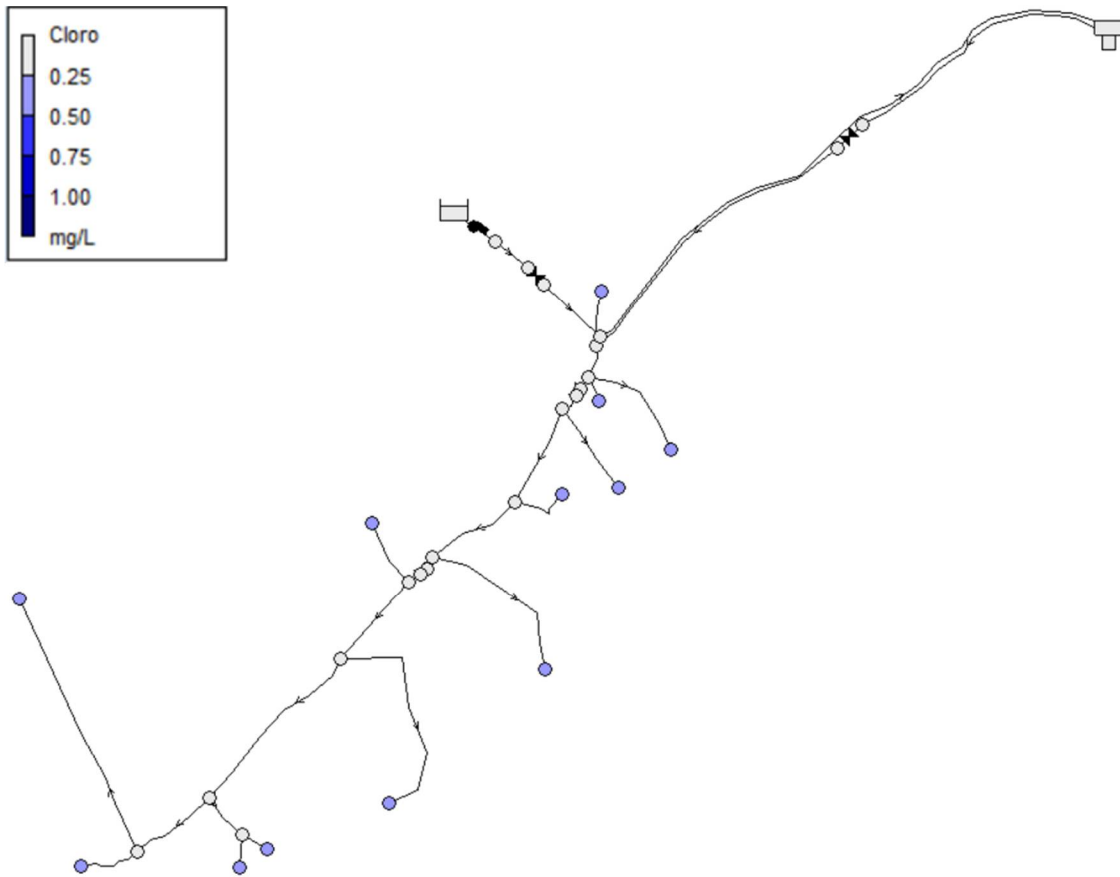
Es de observar también, que el caudal que debe salir por el hipoclorador tiene que ser de aproximadamente 1.70 litros por hora, considerando un volumen útil de 500 litros, ya que se toma como volumen muerto los 100 litros del fondo del tanque según (Etienne, 2014, pág. 37).

4.10.2. Análisis de cloro residual

Se realizó un estudio del cloro residual en la red de distribución, mediante EPANET, aplicando una dosis de 2 mg/l de cloro en el tanque de almacenamiento, para determinar si se obtiene un cloro residual dentro de los rangos recomendados de 0.2 mg/l y 2 mg/l.

Tanto en la ilustración 10 como en la tabla 33, es posible notar que en todos los nodos de la red de distribución hay una cantidad de cloro residual mayor a 0.2 mg/l, siendo el promedio 0.24 mg/l, ascendiendo a un valor de 0.35 mg/l y 0.3 mg/l en los nodos más alejados de la red (nodos 22 y 23).

Ilustración 10: Análisis de cloro residual en la red de distribución



Fuente: Elaboración propia con resultados obtenidos de EPANET

Tabla 33: Cloro residual en la red de distribución a las 24 hrs de funcionamiento

| Tabla de Red - Nudos en 24:00 Hrs | | | |
|-----------------------------------|----------|---------|-----------------|
| ID Nudo | Cota | Demanda | Cloro |
| | m | LPS | mg/l |
| TANQUE | 1214 | 0.39 | 0.2 |
| Conexión V1 | 1171.979 | 0 | 0.2 |
| Conexión V2 | 1171.979 | 0 | 0.2 |
| Conexión 2 | 1139.053 | 0.01 | 0.21 mín |
| Conexión 3 | 1149.756 | 0 | 0.25 |
| Conexión 4 | 1133.726 | 0.01 | 0.21 |
| Conexión 5 | 1139 | 0.01 | 0.27 |
| Conexión 6 | 1136.977 | 0 | 0.25 |
| Conexión 7 | 1125.909 | 0.02 | 0.21 |
| Conexión V3 | 1131.203 | 0 | 0.21 |
| Conexión V4 | 1131.203 | 0 | 0.21 |
| Conexión 8 | 1127.03 | 0.01 | 0.25 |
| Conexión 9 | 1116.513 | 0.02 | 0.21 |
| Conexión 10 | 1124 | 0 | 0.25 |
| Conexión 11 | 1097.18 | 0.02 | 0.21 |
| Conexión 12 | 1097 | 0.01 | 0.3 |
| Conexión 13 | 1091.577 | 0.01 | 0.21 |
| Conexión 14 | 1092.991 | 0 | 0.28 |
| Conexión 15 | 1082.269 | 0.03 | 0.22 |
| Conexión V5 | 1096.274 | 0 | 0.21 |
| Conexión V6 | 1096.274 | 0 | 0.21 |
| Conexión 16 | 1082.269 | 0.01 | 0.31 |
| Conexión 17 | 1065.914 | 0.02 | 0.24 |
| Conexión 18 | 1065.914 | 0.01 | 0.25 |
| Conexión 19 | 1064 | 0 | 0.31 |
| Conexión 20 | 1066.902 | 0 | 0.31 |
| Conexión 21 | 1061.34 | 0.03 | 0.24 |
| Conexión 22 | 1062 | 0.02 | 0.35 máx |
| Conexión 23 | 1060 | 0 | 0.3 |

Fuente: Elaboración propia con resultados obtenidos de EPANET

4.11. Propuesta de saneamiento básico rural

Debido a que en la comunidad de Subtiaba, un 15% de la población no posee letrinas en sus casas, existe un alto riesgo de contaminación de las fuentes de agua con heces fecales, esto sumado a un 51% del total de letrinas en estado regular y 7% en mal estado, por lo cual se propuso un diseño de letrinas de foso ventilado según la normativa NTON 09-001-99, ya que representa una alternativa práctica y de baja inversión como se verá más adelante.

4.11.1. Letrinas de foso ventilado y su ubicación

Una de las razones por la cuales se aplica letrinas de foso ventilado, de entre las múltiples opciones existentes, es debido a sus ventajas como la simplicidad en su construcción, eliminación de los malos olores a través del tubo de ventilación y control del ingreso de moscas, todo ello basándose en (ENACAL, 1999).

Ahora bien, para el diseño de las letrinas de foso ventilado, se empleó la metodología que la NTON 09-001-99 brinda, y que se ubica en la sección 3.9 del presente escrito.

El resultado obtenido es el que se muestra en la ilustración 11 y 12, teniendo en consideración que estas letrinas tienen como características en este proyecto: foso de 4.5 m, revestido con mampostería reforzada, caseta de zinc liso, estructura metálica compuesta de perfiles L de acero, un banco y plancha de fibra de vidrio.

Es importante resaltar, que el foso de 4.5 m de profundidad, no tocará el nivel freático de la zona, ya que se tienen datos, que este nivel ronda los 10 m en promedio según (Corrales, 2005).

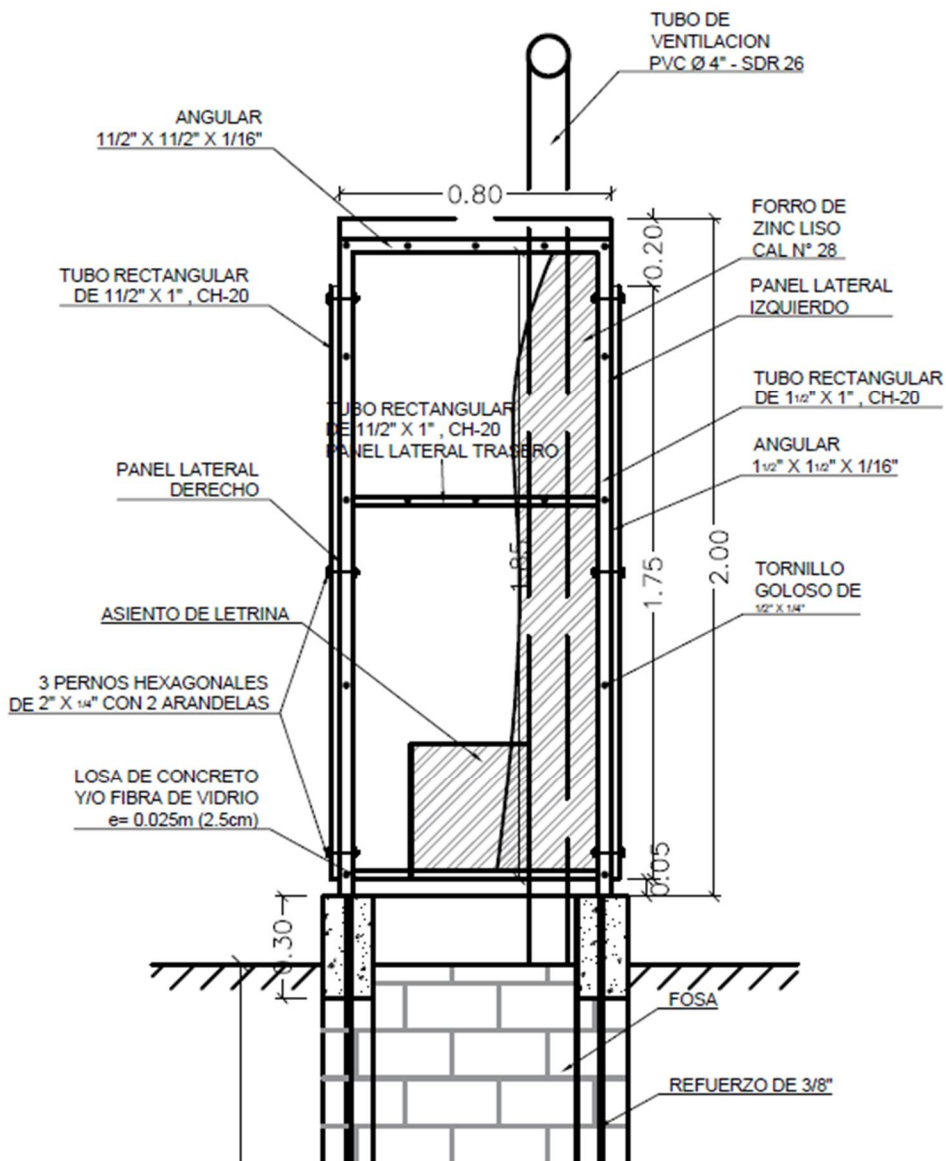
En cuanto a la ubicación de las letrinas, la norma técnica recomienda un espaciamiento según lo mostrado en la tabla 34, esto con el motivo de evitar contaminación de las fuentes de agua subterráneas, así como para evitar malos olores en las inmediaciones de las letrinas.

Tabla 34: Localización de letrinas

| | |
|-------------------------------|---------|
| Pozo Excavado | 20.00 m |
| Vivienda | 5.00 m |
| Linderos de la propiedad | 5.00 m |
| Tanque de agua sobre el suelo | 10.00 m |
| Tanque de agua sobre torre | 8.00 m |
| Tubo de agua potable | 3.00 m |

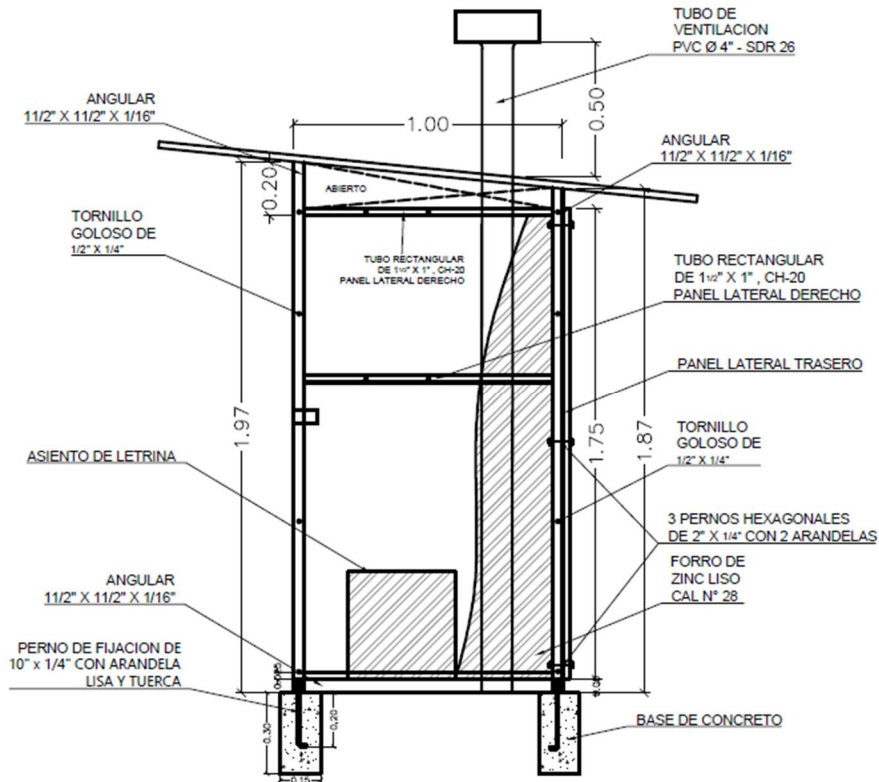
Fuente: Elaboración propia con datos de la NTON 09-001-99

Ilustración 11: Detalle de letrinas de foso ventilado



Fuente: Elaboración propia con especificaciones de la NTON 09-001-99

Ilustración 12: Vista lateral de la letrina de foso ventilado



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 13: Ubicación recomendada de las letrinas de foso ventilado



Fuente: Elaboración propia con datos recomendados por la NTON 09-001-99

4.12. Presupuesto de la obra

4.12.1. Sistema de agua potable

A continuación, se muestra el costo presupuesto del proyecto, donde se elaboró una hoja de alcances de la obra.

El presupuesto se realizó con referencia al (FISE, 2008), en donde se expone el “Catálogo de Etapas y Sub-Etapas” que incluye proyectos de sistema de agua potable. Las cantidades de obra se estiman en base a los planos del sistema de agua potable obtenido.

Tabla 35: Presupuesto del sistema de agua potable de la comunidad Subtiaba, Estelí, Nicaragua

| ETAPA | DESCRIPCIÓN | U/M | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | COSTO TOTAL | |
|-------|-------------|--------------------------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| 320 | 00 | LÍNEA DE CONDUCCIÓN | M | | C\$567,502.42 | |
| 320 | 01 | EXCAVACIÓN PARA TUBERÍA | M ³ | 390.4296 | C\$41.80 | C\$16,319.97 |
| 320 | 04 | RELLENO Y COMPACTACIÓN | M ³ | 390.4296 | C\$110.00 | C\$42,947.30 |
| 320 | 08 | TUBERÍA DE 1 1/2" DE DIÁMETRO | M | 591.56 | C\$80.22 | C\$47,454.70 |
| 340 | 03 | CASETA DE CONTROL | M ² | | C\$13,062.91 | C\$129,376.53 |
| 10 | 00 | PRELIMINARES | M ² | 30.61 | C\$40.97 | C\$1,254.23 |
| 30 | 00 | FUNDACIONES | M ³ | 14.4 | C\$751.76 | C\$10,825.40 |
| 40 | 00 | ESTRUCTURAS DE CONCRETO | M ³ | 10.566 | C\$2,062.56 | C\$21,792.98 |
| 50 | 00 | MAMPOSTERÍA | M ² | 25.93 | C\$455.22 | C\$11,803.87 |
| 60 | 00 | TECHOS Y FASCIAS | M ² | 13.6 | C\$690.08 | C\$9,385.15 |
| 90 | 00 | PISOS | M ² | 30.61 | C\$379.81 | C\$11,625.85 |
| 120 | 00 | PUERTAS | C/U | 1 | C\$2,466.24 | C\$2,466.24 |
| 130 | 00 | VENTANAS | C/U | 1 | C\$5,786.45 | C\$5,786.45 |
| 160 | 00 | ELECTRICIDAD | GLB | 156.763 | C\$313.95 | C\$49,216.31 |
| 200 | 00 | PINTURA | M ² | 46.67 | C\$104.22 | C\$4,863.75 |
| 201 | 00 | LIMPIEZA Y ENTREGA FINAL | GLB | 30.61 | C\$11.64 | C\$356.30 |
| 340 | 08 | CERCAS PERIMETRALES Y PORTONES | M ² | | C\$25,303.51 | C\$100,078.41 |
| 10 | 00 | PRELIMINARES | M ² | 432 | C\$29.50 | C\$12,744.44 |
| 30 | 00 | FUNDACIONES | M ³ | 16.36 | C\$1,132.11 | C\$18,521.24 |
| 50 | 00 | BLOQUES DE CEMENTO | M ² | 30 | C\$419.55 | C\$12,586.61 |
| 40 | 00 | ESTRUCTURA DE CONCRETO | M ³ | 0.25 | C\$23,403.68 | C\$5,850.92 |
| 140 | 04 | OTRO TIPO DE OBRAS METÁLICAS | M ² | 158.08 | C\$119.19 | C\$18,841.18 |
| 140 | 09 | CERRAMIENTO CON MALLA CICLÓN | M ² | 158.08 | C\$199.48 | C\$31,534.02 |
| 355 | 00 | SARTA DE BOMBEO | GLB | 1 | C\$205,075.51 | C\$231,325.51 |
| 335 | 00 | TANQUE DE ALMACENAMIENTO | M ³ | | | C\$215,634.07 |

| | | | | | | |
|---|----|--|----------------|----------|--------------|-----------------|
| 335 | 01 | MOVIMIENTO DE TIERRA PARA TANQUE DE ALMACENAMIENTO | M ³ | 3.24 | C\$1,651.93 | C\$5,352.24 |
| 335 | 11 | TANQUE DE ALMACENAMIENTO | M ³ | 15.86 | C\$9,043.83 | C\$143,435.14 |
| 340 | 08 | CERCAS PERIMETRALES Y PORTONES | M ² | | C\$30,079.25 | C\$66,846.69 |
| 10 | 00 | PRELIMINARES | M ² | 68.89 | C\$43.55 | C\$2,999.90 |
| 30 | 00 | FUNDACIONES | M ³ | 12.92 | C\$1,082.92 | C\$13,991.39 |
| 50 | 00 | BLOQUES DE CEMENTO | M ² | 17.68 | C\$375.21 | C\$6,633.77 |
| 40 | 00 | ESTRUCTURA DE CONCRETO | M ³ | 0.25 | C\$28,051.96 | C\$7,012.99 |
| 140 | 04 | OTRO TIPO DE OBRAS METÁLICAS | M ² | 68.89 | C\$295.11 | C\$20,329.80 |
| 140 | 09 | CERRAMIENTO CON MALLA CICLÓN | M ² | 68.89 | C\$230.50 | C\$15,878.84 |
| 330 | 00 | LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN | M | | | C\$585,692.65 |
| 330 | 01 | EXCAVACIÓN PARA TUBERÍA | M ³ | 1501.388 | C\$41.80 | C\$62,758.10 |
| 330 | 04 | RELLENO Y COMPACTACIÓN | M ³ | 1501.388 | C\$110.00 | C\$165,152.90 |
| 330 | 09 | TUBERÍA DE 1 1/2" DE DIÁMETRO | M | 532.456 | C\$153.47 | C\$81,714.13 |
| 330 | 10 | TUBERÍA DE 2" DE DIÁMETRO | M | 1742.375 | C\$89.49 | C\$155,919.53 |
| 330 | 25 | VÁLVULAS Y ACCESORIOS | C/U | 23 | C\$4,476.07 | C\$102,949.68 |
| 325 | 00 | CÁMARAS ROMPE PRESIÓN | C/U | 1 | C\$17,198.31 | C\$17,198.31 |
| 370 | 00 | LIMPIEZA FINAL Y ENTREGA | GLB | | | C\$20,643.60 |
| 370 | 01 | LIMPIEZA FINAL | GLB | 1 | C\$1,338.60 | C\$1,338.60 |
| | | LIMPIEZA DE POZO | GLB | 1 | C\$19,305.00 | C\$19,305.00 |
| COSTOS DIRECTOS | | | | | | C\$1,389,472.74 |
| COSTOS INDIRECTOS (10% COSTOS DIRECTOS) | | | | | | C\$138,947.27 |
| UTILIDADES (8%) | | | | | | C\$111,157.82 |
| SUPERVISIÓN (4%) | | | | | | C\$55,578.91 |
| IMPREVISTOS (3%) | | | | | | C\$41,684.18 |
| SUBTOTAL | | | | | | C\$1,736,840.93 |
| IVA (15%) | | | | | | C\$260,526.14 |
| IMPUESTO MUNICIPAL (1%) | | | | | | C\$17,368.41 |
| IR (1%) | | | | | | C\$17,368.41 |
| COSTO TOTAL DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE | | | | | | C\$2,032,103.88 |

Elaboración: Fuente propia

En la tabla 35, es posible observar que el costo total de todo el sistema de agua potable para la comunidad de Subtiaba, asciende a los C\$ 2,032,103.88 considerando utilidades del 8% equivalentes a C\$111,157.82.

Cabe mencionar, que se tomaron en cuenta un total de cuatro bombas, para los 20 años de funcionamiento del mini acueducto; dos de ellas servirán para abarcar este período de diseño, ya que la vida útil de este tipo de bombas es de 10 años según (Grundfos, 2018), y las otras dos servirán como bombas de emergencia por cualquier desperfecto en la bomba principal.

4.12.2. Letrinas de foso ventilado

Al igual que el sistema de agua potable, para el presupuesto de las letrinas, se utilizó como esquema el catálogo del FISE, y se consideró el costo de construcción de una sola letrina.

Tabla 36: Presupuesto de letrinas de foso ventilado

| ETAPA | | DESCRIPCIÓN | U/M | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | COSTO TOTAL |
|--|----|---|----------------|----------|---------------------|---------------------|
| | | SANEAMIENTO BÁSICO RURAL | | | C\$19,287.41 | C\$20,580.96 |
| 690 | 00 | LETRINAS | C/U | | C\$19,287.41 | C\$20,580.96 |
| 690 | 01 | Excavación (Brocal o foso) | C/U | 1 | C\$1,573.00 | C\$1,573.00 |
| 690 | 03 | Botar tierra sobrante de excavación | M ³ | 2.835 | C\$704.93 | C\$1,998.48 |
| 690 | 08 | Fosa para letrina revestido | C/U | 1 | C\$6,557.24 | C\$6,557.24 |
| 690 | 05 | Suministro e instalación de plancha y banco | C/U | 1 | C\$1,499.62 | C\$1,499.62 |
| 690 | 06 | Caseta de letrina | C/U | 1 | C\$8,952.62 | C\$8,952.62 |
| COSTOS DIRECTOS | | | | | | C\$20,580.96 |
| COSTOS INDIRECTOS (10% COSTOS DIRECTOS) | | | | | | C\$2,058.10 |
| UTILIDADES (8%) | | | | | | C\$1,646.48 |
| SUPERVISIÓN (4%) | | | | | | C\$823.24 |
| IMPREVISTOS (3%) | | | | | | C\$617.43 |
| SUBTOTAL | | | | | | C\$25,726.20 |
| IVA (15%) | | | | | | C\$3,858.93 |
| IMPUESTO MUNICIPAL (1%) | | | | | | C\$257.26 |
| IR (1%) | | | | | | C\$257.26 |
| COSTO TOTAL DE SANEAMIENTO | | | | | | C\$30,099.65 |

Fuente: Elaboración propia

Como es de apreciar en la tabla 36, El costo de una letrina asciende a los C\$30,099.65, teniendo como costos directos, es decir costos por materiales y mano de obra, de C\$20, 580.96 y considerando al igual que el sistema de agua potable, utilidades del 8% e imprevistos del 3%.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

5.1. Conclusiones

1. El estudio socioeconómico mostró que la comunidad de Subtiaba, se compone de 306 habitantes, distribuidos en 82 lotes de los 91 totales, así mismo el estudio reveló que la mayor parte de la población, en un 48.37% la conforman personas mayores de 36 años. En cuanto a los ingresos, el 49% de los habitantes de la comunidad genera más de C\$ 4,000 por mes; por otro lado, la encuesta mostró que el 100% de los habitantes de Subtiaba está de acuerdo con que se realice el proyecto de agua potable y saneamiento básico en su comunidad.

En base a la población actual de 306 habitantes (2021), se proyecta que para el 2041, habrá 501 habitantes generando una demanda de agua potable de 0.372 lps en promedio al día, desprendiéndose de esto un consumo máximo en el día de 0.633 lps y una demanda máxima horaria de 1.005 lps.

2. En el levantamiento topográfico se obtuvo que la elevación en promedio del terreno en la comunidad de Subtiaba es de 1108.4 msnm con una elevación máxima de 1214 msnm y una mínima de 1059.86 msnm. Así mismo se determinó que el pozo se encuentra a una altura de 1147 msnm con coordenadas en X 574 565, Y 1 441 053, zona 16 y el tanque en la ubicación propuesta se localiza a una altitud de 1214 msnm con coordenadas X 575 023, Y 1 441 299, zona 16.
3. Se obtuvo en el aforo del pozo, que fue supervisado por trabajadores de ENACAL, que la fuente de agua es capaz de otorgar 1.08 lps, siendo esta fuente aceptada, ya que es mayor al valor del caudal máximo diario (0.633 lps), cumpliendo así la condición establecida por la NTON 09-001-99.
4. De acuerdo con los resultados del análisis de agua efectuado para el pozo de la comunidad de Subtiaba, se obtuvo que el agua está dentro de la clasificación 1-a, es decir, fuentes de agua que desde el punto de vista

sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes. Se aplicará por tanto al agua del pozo de Subtiaba, una dosis de 2 mg/l de cloro, en forma de hipoclorito de calcio al 70%, por medio de un hipoclorador de carga constante localizado en la parte superior del tanque.

5. El análisis hidráulico resultante para la línea de conducción de 632.5 m de longitud, reveló que se debe utilizar tuberías de acero de 1 1/2" cédula 40 en el tramo pozo-sarta, y tuberías PVC de 1 1/2" SDR-26. Así mismo, se obtuvo en el análisis que la bomba sumergible a utilizar debe tener una potencia de 2.04 kW considerando un rendimiento de motor y bomba del 42.3%, según las especificaciones del fabricante, para vencer la carga dinámica total de 113.21 m.

En el análisis hidráulico para el tanque de almacenamiento, se tiene que constará de una base cuadrada de 2.30 m con una altura de 2.20 m, para que pueda almacenar una cantidad de agua igual o mayor a los 11.26 m³, para el abastecimiento de todos los usuarios del sistema de agua.

En cuanto al análisis para la red de distribución, que tiene una longitud total de 1715.203 m, se obtuvo que se deben emplear tuberías de PVC de 2" y 1 1/2" SDR-26, así mismo, se debe construir una caja rompe presión en el tramo TA, y colocar válvulas reductoras de presión en los tramos T5 y T11, para que la velocidad y la presión en el sistema de abastecimiento de agua potable estén de acuerdo a los valores establecidos por la norma respectivamente.

El resumen del análisis extendido (24 horas) de cloro residual en la red de distribución, arrojó datos satisfactorios de 0.24 mg/l en promedio; 0.35 mg/l Y 0.30 mg/l en los nodos más alejados de la red, en comparación con el rango permisible por la norma.

6. Las instalaciones propuestas para el saneamiento básico rural, corresponden a letrinas de foso ventilado, que deberán estar ubicadas a 5m de cada casa y que tendrán, además, dimensiones de 4.5 m de profundidad de foso, hecho de mampostería reforzada con un ancho de 0.8 m, con una caseta del mismo ancho y 2 m de altura, fabricado de zinc liso y estructura metálica.

7. Los costos del sistema de abastecimiento de agua potable por bombeo eléctrico ascienden a los C\$ 1,819,046.88 y los costos totales para las letrinas de foso ventilado son de C\$ 30, 099.65, por cada letrina.

5.2. Recomendaciones

1. Realizar una capacitación previa a la realización del proyecto de agua potable, para los jefes de familia, referente al uso, cuidado del agua y mantenimiento del sistema, debido a que los grifos o llaves quedarán dentro de cada una de las casas. Además, es importante, formar comités de agua potable y saneamiento (CAPS) en la comunidad, para garantizar la correcta operación, desinfección y mantenimiento del sistema de agua potable.
2. Debido a que hay casas cercanas al pozo de Subtiaba, se recomienda que no se coloquen letrinas en un radio no menor a los 40 metros, a fin de evitar cualquier contaminación por heces fecales. De la misma manera, es recomendable no explotar el pozo más allá de su caudal, ya que podría ocasionar el secamiento del mismo y afectar por tanto la vida útil de 20 años del sistema de agua potable.
3. Se recomienda hacer un análisis bacteriológico y de cloro residual, luego de la puesta en funcionamiento del sistema, para verificar si la cantidad de cloro residual está dentro de los rangos permisibles y también para evaluar si se están eliminando todas las bacterias en especial los coliformes en toda la red de distribución.
4. Se recomienda hacer una limpieza regular (lavado y desinfección) del tanque de almacenamiento de agua de al menos dos veces al año.
5. Mantener despejada el entorno de las letrinas, especialmente en la época de lluvia para evitar cualquier acumulación de agua que ocasione una filtración de la misma en el foso de la letrina.
6. Para las obras del sistema de agua potable o para las letrinas de foso ventilado, que involucren mampostería reforzada o elementos estructurales de concreto

reforzado, es recomendable hacer un análisis estructural de revisión con el fin de garantizar la resistencia y estabilidad de los mismos.

7. Debido a las tasas anuales de inflación en Nicaragua, algunos de los precios de los productos estipulados en el presupuesto aumentarán, por lo que se recomienda tomar como verdadero el costo total del proyecto, hasta finales del año 2021.

5.3. Bibliografía

Arocha, S. (1980). *Abastecimientos de Agua: Teoría y Diseño*. Caracas: Vega.

Boyd, C. (16 de octubre de 2017). *Global Aquaculture Alliance*. Obtenido de <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/conductividad-electrica-del-agua-parte-1/#:~:text=La%20conductividad%20usual%20de%20algunos,a%20%3E%2050.000%20mmhos%2Fcm>.

CAPRE. (1994). *Normas de Calidad del Agua para Consumo Humano*. San José.

Casanova, L. (2002). *Topografía plana*. Mérida: Taller de Publicaciones de Ingeniería, ULA.

CENEPRED. (2016). *Guía metodológica para elaborar el estudio socioeconómico, cultural y ambiental para el reasentamiento poblacional en zonas de muy alto riesgo no mitigable*. Lima: CENEPRED.

CNA. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. México DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Corrales, D. (2005). *Estudio Hidrogeológico del Funcionamiento del Acuífero de Estelí*. Managua: IAEA.

CSA. (2010). *Análisis Socioeconómico y Estudio de Impacto Económico*. Arecibo: Energy Answers Arecibo.

ENACAL. (1999). *Procedimiento y construcción de letrinas*. Managua.

Etienne, Y. (2014). *Sistema de cloración por goteo*. Lima: CARE.

FISE. (2007). *Manual de Administración del Ciclo de Proyecto Municipal (MACPM)*. Managua.

FISE. (2008). *Cátalogo de etapas y subetapas*.

Grundfos. (2018). *Data booklet*. Bjerringbro.

- Grundfos. (2018). *Lenntech*. Obtenido de https://www.lenntech.com/uploads/grundfos/5001925/Grundfos_SP-5A-25.pdf
- GWP. (2016). *Situación de los recursos hídricos en Centroamérica*. Tegucigalpa: GWP Centroamérica.
- INAA. (1989). *Normas de Diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable*. Managua.
- INAA. (1999). *Diseño de Abastecimiento de Agua en el Medio Rural*. Managua: INAA.
- INAA. (1999). *Normas de Diseño de Sistemas de Abastecimiento y Potabilización del Agua*. Managua.
- INAA. (11 de Febrero de 2000). *Norma para clasificación de recursos hídricos*. Managua: La Gaceta.
- INE. (2021). *INE*. Obtenido de https://www.ine.gob.ni/DGE/tarifasdge/2021/02/baja_tension_bombeo_comunitario_febrero21.pdf
- INIDE. (2008). *Estelí en cifras*. Managua.
- IRC. (2002). *Small Community Water Supplies*. Delft.
- López Cualla, R. A. (1995). *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de Fluidos. Sexta edición*. México: PEARSON Educación.
- Nickisch, M. B. (2008). *Aforadores de agua de corrientes*. Santiago del estero: INTAA-EEA.
- OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable. Volumen 1. Tercera Edición*. Ginebra, Suiza.

- OPS, & CEPIS. (2005). *GUÍA PARA EL DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN EN SISTEMAS RURALES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA*. Lima.
- Rodríguez, E. (2016). La problemática del agua en Nicaragua. *Revista Electrónica de Investigación de Ciencias Económicas* , 279-280.
- Ruíz, P. R. (2001). *Abastecimiento de agua*.
- Sampieri, R. H., Fernández-Collado, C., & Lucio, P. B. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: McGrawHill.
- SIASAR. (2019). *Global SIASAR*. Obtenido de <http://data.globalsiasar.org/systems/list>
- Tercero, S. (1978). *Manual de Diseño de Sistema de Agua Potable*. Managua.
- UN. (2021). *Naciones Unidas*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- UNICEF, & WHO. (2019). *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017*. New York: UNICEF.
- Vargas, A., & Arellano, F. (2002). *COMPARACIÓN DE TRES MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE EFICIENCIAS DE POZOS*. San José.
- Villanueva, M., & Iglesias, A. (1984). *Pozos y acuíferos*. Madrid.
- Weiss, P., Aw, T. G., Urquhart, G. R., Galeano, M. R., & Rose, J. B. (2016). *Well water quality in rural Nicaragua using a low-cost bacterial test and microbial source tracking*. Londres: J Water Health.

Anexos

A. Estudio socioeconómico

Formato de Encuesta Socioeconómica

Departamento: _____ Municipio: _____

Comunidad: _____ Fecha: _____

Quién es Responsable del Hogar:

Padre: _____ Madre: _____ Otro: _____

Nombre de la Persona Encuestada: _____

Tipo de Proyecto: _____

Datos Personales (Iniciar con responsable del hogar)

| Nombres y Apellidos | Parentesco | Sexo | | Edad | | | | Nivel de Escolaridad | Ocupación |
|---------------------|------------|------|---|-------|--------|---------|---------|----------------------|-----------|
| | | M | F | 1 a 5 | 6 a 15 | 16 a 25 | 26 a 35 | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

I. CONDICIONES DE LA VIVIENDA (Preg. 2, 3, 4, marcar con X una o más respuestas)

1. La vivienda es: a) Propia _____ b) Prestada _____ c) Alquilada _____
2. Las paredes son: a) Bloque _____ b) Ladrillo _____ c) Madera _____ d) Otros _____
3. El piso es: a) Madera _____ b) Tierra _____ c) ladrillo _____ d) Otros _____
4. El techo es: a) Zinc _____ b) Teja _____ c) Madera _____ d) Palma _____ e) Otros _____
5. Cuantas divisiones tiene la vivienda: a) Tres _____ b) Dos _____ c) No tiene _____
6. Resumen del estado de la vivienda: a) Buena _____ b) Regular _____ c) Mala _____

II. SITUACIÓN ECÓNOMICA DE LA FAMILIA

7. ¿Cuántas personas del hogar trabajan?

a) 1 ___ b) 2 a 3 ___ c) 3 a más ___

8. ¿Cuál es el ingreso económico del mes en este hogar?

a) Menos de C\$ 1000 ___ b) C\$ 1000 – 1999 ___ c) C\$ 2000 – C\$4000 ___
d) Más de C\$ 4000 ___

9. ¿De cuánto fue el último pago de energía eléctrica realizado en el hogar?

a) Menos de C\$ 50 ___ b) C\$ 50 - 99 ___ c) C\$ 100 - 149 ___
d) C\$ Más de 150 ___

10. ¿En que trabajan las personas del hogar?

a) Ganadería ___ b) Agricultura ___ c) Jornalero ___ d) Otros ___

11. ¿Tienen ganado? Sí ___ No ___

12. ¿Tienen animales domésticos? Sí ___ No ___

14. Los animales domésticos están: a) Encerrados ___ b) Suetos ___

13. Los animales domésticos se abastecen de agua en:

a) El río ___ b) Quebrada ___ c) Pozo ___

III. RECURSOS Y SERVICIOS DE AGUA

14. ¿Cuentan con servicio de agua?

a) Si ___ b) No ___

c) ¿Cuánto pagan de agua al mes?

a) Menos de C\$ 20 ___ b) C\$ 20 – 49 ___ c) C\$ 50 – 99 ___ d) Más de C\$100 ___

15. ¿Quién busca o acarrea el agua?

a) La mujer ___ b) El hombre ___ c) Los niños ___ d) Otros ___

16. ¿Cuántos viajes realizan diario para buscar el agua que utilizan?

a) Sólo 1 viaje ___ b) 2 a 4 viajes ___ c) 5 a más viajes ___

17. La calidad del agua que consume en el hogar, la considera:

a) Buena ___ b) Regular ___ c) Mala ___

18. ¿Qué condiciones tiene el agua que consume? (Se puede marcar varias situaciones)

a) Tiene mal sabor ____ b) Tiene mal olor ____ c) Tiene mal color ____

IV. CAPACIDADES DE PAGO PARA EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

21. ¿Está de acuerdo con que se realice un proyecto de agua potable? Si_ No_

22. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por el servicio de agua potable?

(a) C\$ 20 a 35 ____ b) C\$ 36 a 50 ____ c) C\$ 51 a más ____
d) No estaría dispuesto a pagar ____

V. SITUACIÓN DE SALUD EN LA VIVIENDA

Enfermedades padecidas por los miembros del hogar durante el pasado año

| Enfermedades | Grupos de edad | | | | | Observaciones |
|----------------------|----------------|--------|---------|---------|----------|---------------|
| | 1-5 | 6 a 15 | 16 a 25 | 26 a 35 | 36 a más | |
| Diarrea | | | | | | |
| Resfriado | | | | | | |
| Parásitos | | | | | | |
| Infección renal | | | | | | |
| Infecciones dérmicas | | | | | | |
| Otras | | | | | | |

34. ¿Los miembros de su familia hacen buen uso del agua? a) Si ____ b) No ____

35. ¿La vivienda cuenta con letrinas? Si ____ b) No ____

36. Resumen del estado de la letrina a) Buena ____ b) Regular ____ c) Mala ____

Fuente: (FISE, 2007)

Ilustración 14: Aplicación de encuestas



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 15: Finalización de las encuestas



Fuente: Elaboración propia

B. Levantamiento topográfico

Tabla 37: Resultados del levantamiento topográfico para el camino principal

| PUNTOS | X (ESTE) | Y (NORTE) | Z (ELEVACIÓN) | ZONA |
|--------|------------|-------------|---------------|------|
| 1 | 574141.000 | 1440581.000 | 1060.000 msnm | 16N |
| 2 | 574140.000 | 1440583.000 | 1060.195 msnm | 16N |
| 3 | 574139.000 | 1440586.000 | 1060.273 msnm | 16N |
| 4 | 574146.000 | 1440583.000 | 1060.090 msnm | 16N |
| 5 | 574146.000 | 1440585.000 | 1060.210 msnm | 16N |
| 6 | 574146.000 | 1440587.000 | 1060.295 msnm | 16N |
| 7 | 574151.000 | 1440583.000 | 1060.140 msnm | 16N |
| 8 | 574151.000 | 1440585.000 | 1060.330 msnm | 16N |
| 9 | 574151.000 | 1440588.000 | 1060.265 msnm | 16N |
| 10 | 574156.000 | 1440584.000 | 1060.145 msnm | 16N |
| 11 | 574156.000 | 1440586.000 | 1060.355 msnm | 16N |
| 12 | 574156.000 | 1440588.000 | 1060.240 msnm | 16N |
| 13 | 574161.000 | 1440584.000 | 1060.140 msnm | 16N |
| 14 | 574160.000 | 1440587.000 | 1060.250 msnm | 16N |
| 15 | 574159.000 | 1440589.000 | 1060.175 msnm | 16N |
| 16 | 574165.000 | 1440585.000 | 1059.942 msnm | 16N |
| 17 | 574165.000 | 1440588.000 | 1060.080 msnm | 16N |
| 18 | 574165.000 | 1440591.000 | 1060.070 msnm | 16N |
| 19 | 574169.000 | 1440586.000 | 1059.857 msnm | 16N |
| 20 | 574169.000 | 1440588.000 | 1059.885 msnm | 16N |
| 21 | 574169.000 | 1440592.000 | 1060.000 msnm | 16N |
| 22 | 574175.000 | 1440590.000 | 1059.995 msnm | 16N |
| 23 | 574175.000 | 1440592.000 | 1060.245 msnm | 16N |
| 24 | 574175.000 | 1440594.000 | 1060.270 msnm | 16N |
| 25 | 574182.000 | 1440591.000 | 1060.220 msnm | 16N |
| 26 | 574181.000 | 1440593.000 | 1060.430 msnm | 16N |
| 27 | 574179.000 | 1440595.000 | 1060.740 msnm | 16N |
| 28 | 574185.000 | 1440593.000 | 1060.780 msnm | 16N |

| PUNTOS | X (ESTE) | Y (NORTE) | Z (ELEVACIÓN) | ZONA |
|--------|------------|-------------|---------------|------|
| 29 | 574184.000 | 1440595.000 | 1060.960 msnm | 16N |
| 30 | 574182.000 | 1440600.000 | 1060.900 msnm | 16N |
| 31 | 574189.000 | 1440595.000 | 1061.590 msnm | 16N |
| 32 | 574187.000 | 1440599.000 | 1061.672 msnm | 16N |
| 33 | 574186.000 | 1440602.000 | 1061.675 msnm | 16N |
| 34 | 574200.000 | 1440604.000 | 1061.686 msnm | 16N |
| 35 | 574199.000 | 1440606.000 | 1062.335 msnm | 16N |
| 36 | 574198.000 | 1440608.000 | 1062.285 msnm | 16N |
| 37 | 574211.000 | 1440609.000 | 1062.475 msnm | 16N |
| 38 | 574211.000 | 1440612.000 | 1062.645 msnm | 16N |
| 39 | 574210.000 | 1440615.000 | 1062.665 msnm | 16N |
| 40 | 574223.000 | 1440619.000 | 1062.605 msnm | 16N |
| 41 | 574222.000 | 1440621.000 | 1062.715 msnm | 16N |
| 42 | 574220.000 | 1440624.000 | 1062.695 msnm | 16N |
| 43 | 574232.000 | 1440626.000 | 1063.095 msnm | 16N |
| 44 | 574231.000 | 1440629.000 | 1063.215 msnm | 16N |
| 45 | 574230.000 | 1440632.000 | 1063.215 msnm | 16N |
| 46 | 574244.000 | 1440635.000 | 1064.875 msnm | 16N |
| 47 | 574243.000 | 1440638.000 | 1065.395 msnm | 16N |
| 48 | 574242.000 | 1440641.000 | 1065.445 msnm | 16N |
| 49 | 574250.000 | 1440641.000 | 1065.835 msnm | 16N |
| 50 | 574248.000 | 1440643.000 | 1066.015 msnm | 16N |
| 51 | 574246.000 | 1440646.000 | 1066.025 msnm | 16N |
| 52 | 574254.000 | 1440647.000 | 1066.027 msnm | 16N |
| 53 | 574252.000 | 1440649.000 | 1066.031 msnm | 16N |
| 54 | 574250.000 | 1440651.000 | 1066.037 msnm | 16N |
| 55 | 574264.000 | 1440657.000 | 1066.043 msnm | 16N |
| 56 | 574260.000 | 1440661.000 | 1066.048 msnm | 16N |
| 57 | 574257.000 | 1440663.000 | 1066.054 msnm | 16N |
| 58 | 574271.000 | 1440664.000 | 1066.068 msnm | 16N |
| 59 | 574269.000 | 1440667.000 | 1068.465 msnm | 16N |
| 60 | 574266.000 | 1440669.000 | 1068.635 msnm | 16N |

| PUNTOS | X (ESTE) | Y (NORTE) | Z (ELEVACIÓN) | ZONA |
|--------|------------|-------------|---------------|------|
| 61 | 574284.000 | 1440680.000 | 1068.875 msnm | 16N |
| 62 | 574282.000 | 1440683.000 | 1068.879 msnm | 16N |
| 63 | 574280.000 | 1440685.000 | 1068.883 msnm | 16N |
| 64 | 574297.000 | 1440697.000 | 1068.886 msnm | 16N |
| 65 | 574294.000 | 1440702.000 | 1068.889 msnm | 16N |
| 66 | 574291.000 | 1440705.000 | 1068.915 msnm | 16N |
| 67 | 574315.000 | 1440715.000 | 1068.935 msnm | 16N |
| 68 | 574313.000 | 1440716.000 | 1076.495 msnm | 16N |
| 69 | 574311.000 | 1440718.000 | 1076.715 msnm | 16N |
| 70 | 574324.000 | 1440722.000 | 1076.745 msnm | 16N |
| 71 | 574322.000 | 1440725.000 | 1077.315 msnm | 16N |
| 72 | 574320.000 | 1440729.000 | 1077.445 msnm | 16N |
| 73 | 574336.000 | 1440731.000 | 1077.405 msnm | 16N |
| 74 | 574334.000 | 1440734.000 | 1077.407 msnm | 16N |
| 75 | 574331.000 | 1440738.000 | 1077.423 msnm | 16N |
| 76 | 574356.000 | 1440748.000 | 1077.424 msnm | 16N |
| 77 | 574353.000 | 1440750.000 | 1077.426 msnm | 16N |
| 78 | 574350.000 | 1440753.000 | 1077.443 msnm | 16N |
| 79 | 574367.000 | 1440762.000 | 1082.150 msnm | 16N |
| 80 | 574365.000 | 1440764.000 | 1082.270 msnm | 16N |
| 81 | 574363.000 | 1440767.000 | 1082.350 msnm | 16N |
| 82 | 574369.000 | 1440768.000 | 1082.780 msnm | 16N |
| 83 | 574367.000 | 1440770.000 | 1082.760 msnm | 16N |
| 84 | 574364.000 | 1440771.000 | 1082.600 msnm | 16N |
| 85 | 574386.000 | 1440788.000 | 1082.770 msnm | 16N |
| 86 | 574384.000 | 1440790.000 | 1082.800 msnm | 16N |
| 87 | 574382.000 | 1440792.000 | 1082.730 msnm | 16N |
| 88 | 574403.000 | 1440806.000 | 1088.770 msnm | 16N |
| 89 | 574400.000 | 1440808.000 | 1088.780 msnm | 16N |
| 90 | 574398.000 | 1440810.000 | 1088.710 msnm | 16N |
| 91 | 574422.000 | 1440825.000 | 1091.270 msnm | 16N |
| 92 | 574420.000 | 1440827.000 | 1091.390 msnm | 16N |
| 93 | 574419.000 | 1440828.000 | 1091.360 msnm | 16N |

| PUNTOS | X (ESTE) | Y (NORTE) | Z (ELEVACIÓN) | ZONA |
|--------|------------|-------------|---------------|------|
| 94 | 574426.000 | 1440829.000 | 1091.630 msnm | 16N |
| 95 | 574423.000 | 1440831.000 | 1091.810 msnm | 16N |
| 96 | 574423.000 | 1440831.000 | 1091.710 msnm | 16N |
| 97 | 574438.000 | 1440840.000 | 1096.290 msnm | 16N |
| 98 | 574436.000 | 1440842.000 | 1096.350 msnm | 16N |
| 99 | 574434.000 | 1440844.000 | 1096.240 msnm | 16N |
| 100 | 574444.000 | 1440850.000 | 1096.990 msnm | 16N |
| 101 | 574443.000 | 1440851.000 | 1097.260 msnm | 16N |
| 102 | 574442.000 | 1440853.000 | 1097.040 msnm | 16N |
| 103 | 574449.000 | 1440854.000 | 1097.460 msnm | 16N |
| 104 | 574447.000 | 1440855.000 | 1097.550 msnm | 16N |
| 105 | 574446.000 | 1440856.000 | 1097.380 msnm | 16N |
| 106 | 574470.000 | 1440870.000 | 1105.244 msnm | 16N |
| 107 | 574469.000 | 1440871.000 | 1105.229 msnm | 16N |
| 108 | 574467.000 | 1440874.000 | 1105.369 msnm | 16N |
| 109 | 574496.000 | 1440879.000 | 1113.369 msnm | 16N |
| 110 | 574494.000 | 1440882.000 | 1113.429 msnm | 16N |
| 111 | 574492.000 | 1440887.000 | 1113.389 msnm | 16N |
| 112 | 574511.000 | 1440893.000 | 1116.414 msnm | 16N |
| 113 | 574509.000 | 1440896.000 | 1116.409 msnm | 16N |
| 114 | 574507.000 | 1440898.000 | 1116.249 msnm | 16N |
| 115 | 574515.000 | 1440898.000 | 1116.989 msnm | 16N |
| 116 | 574513.000 | 1440901.000 | 1116.829 msnm | 16N |
| 117 | 574511.000 | 1440904.000 | 1116.689 msnm | 16N |
| 118 | 574523.000 | 1440915.000 | 1116.719 msnm | 16N |
| 119 | 574520.000 | 1440917.000 | 1116.749 msnm | 16N |
| 120 | 574518.000 | 1440919.000 | 1116.754 msnm | 16N |
| 121 | 574535.000 | 1440935.000 | 1116.768 msnm | 16N |
| 122 | 574532.000 | 1440936.000 | 1116.777 msnm | 16N |
| 123 | 574529.000 | 1440938.000 | 1116.809 msnm | 16N |
| 124 | 574546.000 | 1440953.000 | 1121.984 msnm | 16N |
| 125 | 574543.000 | 1440954.000 | 1121.884 msnm | 16N |
| 126 | 574539.000 | 1440957.000 | 1122.004 msnm | 16N |

| PUNTOS | X (ESTE) | Y (NORTE) | Z (ELEVACIÓN) | ZONA |
|--------|------------|-------------|---------------|------|
| 127 | 574556.000 | 1440975.000 | 1125.354 msnm | 16N |
| 128 | 574553.000 | 1440976.000 | 1125.134 msnm | 16N |
| 129 | 574550.000 | 1440978.000 | 1125.334 msnm | 16N |
| 130 | 574562.000 | 1440980.000 | 1128.159 msnm | 16N |
| 131 | 574560.000 | 1440982.000 | 1128.019 msnm | 16N |
| 132 | 574556.000 | 1440985.000 | 1127.979 msnm | 16N |
| 133 | 574573.000 | 1440997.000 | 1133.199 msnm | 16N |
| 134 | 574570.000 | 1441000.000 | 1132.899 msnm | 16N |
| 135 | 574565.000 | 1441003.000 | 1133.149 msnm | 16N |
| 136 | 574577.000 | 1441003.000 | 1133.519 msnm | 16N |
| 137 | 574574.000 | 1441005.000 | 1133.239 msnm | 16N |
| 138 | 574572.000 | 1441007.000 | 1133.469 msnm | 16N |
| 139 | 574580.000 | 1441009.000 | 1136.524 msnm | 16N |
| 140 | 574577.000 | 1441010.000 | 1136.524 msnm | 16N |
| 141 | 574573.000 | 1441011.000 | 1136.524 msnm | 16N |
| 142 | 574585.000 | 1441022.000 | 1138.689 msnm | 16N |
| 143 | 574582.000 | 1441023.000 | 1138.679 msnm | 16N |
| 144 | 574579.000 | 1441024.000 | 1138.749 msnm | 16N |
| 145 | 574585.000 | 1441030.000 | 1139.059 msnm | 16N |
| 146 | 574582.000 | 1441031.000 | 1139.049 msnm | 16N |
| 147 | 574580.000 | 1441031.000 | 1139.019 msnm | 16N |
| 148 | 574584.000 | 1441039.000 | 1141.829 msnm | 16N |
| 149 | 574582.000 | 1441040.000 | 1141.739 msnm | 16N |
| 150 | 574579.000 | 1441041.000 | 1141.939 msnm | 16N |
| 151 | 574585.000 | 1441053.000 | 1143.289 msnm | 16N |
| 152 | 574582.000 | 1441053.000 | 1143.689 msnm | 16N |
| 153 | 574578.000 | 1441055.000 | 1143.989 msnm | 16N |
| 154 | 574586.000 | 1441066.000 | 1144.597 msnm | 16N |
| 155 | 574582.000 | 1441066.000 | 1144.479 msnm | 16N |
| 156 | 574579.000 | 1441067.000 | 1144.709 msnm | 16N |
| 157 | 574589.000 | 1441080.000 | 1149.909 msnm | 16N |
| 158 | 574586.000 | 1441082.000 | 1149.869 msnm | 16N |
| 159 | 574584.000 | 1441082.000 | 1149.809 msnm | 16N |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del levantamiento topográfico

Tabla 38: Resultados del levantamiento topográfico para las ramificaciones

| PUNTOS | X (ESTE) | Y (NORTE) | Z (ELEVACIÓN) | ZONA |
|--------|------------|-------------|---------------|------|
| 1001 | 574186.000 | 1440602.000 | 1061.675 msnm | 16N |
| 1002 | 574184.700 | 1440601.740 | 1061.675 msnm | 16N |
| 1003 | 574182.450 | 1440600.180 | 1061.675 msnm | 16N |
| 1004 | 574178.950 | 1440618.630 | 1062.000 msnm | 16N |
| 1005 | 574175.510 | 1440618.030 | 1062.000 msnm | 16N |
| 1006 | 574173.000 | 1440617.450 | 1062.000 msnm | 16N |
| 1007 | 574170.610 | 1440637.010 | 1062.000 msnm | 16N |
| 1008 | 574167.590 | 1440636.050 | 1062.000 msnm | 16N |
| 1009 | 574164.440 | 1440636.500 | 1062.000 msnm | 16N |
| 1010 | 574159.800 | 1440664.410 | 1062.000 msnm | 16N |
| 1011 | 574156.980 | 1440663.480 | 1062.000 msnm | 16N |
| 1012 | 574152.810 | 1440663.270 | 1062.000 msnm | 16N |
| 1013 | 574140.000 | 1440701.000 | 1062.000 msnm | 16N |
| 1014 | 574136.000 | 1440699.000 | 1062.000 msnm | 16N |
| 1015 | 574131.000 | 1440698.000 | 1062.000 msnm | 16N |
| 1016 | 574117.000 | 1440752.000 | 1062.000 msnm | 16N |
| 1017 | 574113.000 | 1440752.000 | 1062.000 msnm | 16N |
| 1018 | 574109.000 | 1440750.000 | 1062.000 msnm | 16N |
| 1019 | 574088.000 | 1440814.000 | 1062.000 msnm | 16N |
| 1020 | 574084.000 | 1440812.000 | 1062.000 msnm | 16N |
| 1021 | 574078.000 | 1440811.000 | 1062.000 msnm | 16N |
| 1022 | 574250.000 | 1440641.000 | 1065.835 msnm | 16N |
| 1023 | 574252.000 | 1440644.000 | 1065.835 msnm | 16N |
| 1024 | 574254.000 | 1440647.000 | 1065.835 msnm | 16N |
| 1025 | 574262.000 | 1440628.000 | 1065.000 msnm | 16N |
| 1026 | 574264.000 | 1440630.000 | 1065.000 msnm | 16N |
| 1027 | 574266.000 | 1440632.000 | 1065.000 msnm | 16N |
| 1028 | 574275.000 | 1440605.000 | 1065.000 msnm | 16N |
| 1029 | 574278.000 | 1440608.000 | 1065.000 msnm | 16N |
| 1030 | 574281.000 | 1440612.000 | 1065.000 msnm | 16N |

| PUNTOS | X (ESTE) | Y (NORTE) | Z (ELEVACIÓN) | ZONA |
|--------|------------|-------------|---------------|------|
| 1031 | 574272.000 | 1440583.000 | 1064.000 msnm | 16N |
| 1032 | 574280.000 | 1440584.000 | 1064.000 msnm | 16N |
| 1033 | 574285.000 | 1440584.000 | 1064.000 msnm | 16N |
| 1034 | 574298.000 | 1440596.000 | 1067.000 msnm | 16N |
| 1035 | 574304.000 | 1440599.000 | 1067.000 msnm | 16N |
| 1036 | 574311.000 | 1440601.000 | 1067.000 msnm | 16N |
| 1037 | 574365.000 | 1440760.000 | 1082.150 msnm | 16N |
| 1038 | 574367.000 | 1440764.000 | 1082.150 msnm | 16N |
| 1039 | 574369.000 | 1440768.000 | 1082.150 msnm | 16N |
| 1040 | 574413.000 | 1440762.000 | 1081.150 msnm | 16N |
| 1041 | 574415.000 | 1440765.000 | 1081.150 msnm | 16N |
| 1042 | 574417.000 | 1440769.000 | 1081.150 msnm | 16N |
| 1043 | 574419.000 | 1440721.000 | 1077.150 msnm | 16N |
| 1044 | 574422.000 | 1440720.000 | 1077.150 msnm | 16N |
| 1045 | 574427.000 | 1440719.000 | 1077.150 msnm | 16N |
| 1046 | 574434.000 | 1440680.000 | 1072.150 msnm | 16N |
| 1047 | 574434.000 | 1440680.000 | 1072.150 msnm | 16N |
| 1048 | 574437.000 | 1440679.000 | 1072.150 msnm | 16N |
| 1049 | 574436.000 | 1440647.000 | 1067.150 msnm | 16N |
| 1050 | 574438.000 | 1440647.000 | 1067.150 msnm | 16N |
| 1051 | 574440.000 | 1440648.000 | 1067.150 msnm | 16N |
| 1052 | 574426.000 | 1440653.000 | 1068.150 msnm | 16N |
| 1053 | 574427.000 | 1440651.000 | 1068.150 msnm | 16N |
| 1054 | 574428.000 | 1440648.000 | 1068.150 msnm | 16N |
| 1055 | 574404.000 | 1440640.000 | 1066.150 msnm | 16N |
| 1056 | 574407.000 | 1440632.000 | 1066.150 msnm | 16N |
| 1057 | 574405.000 | 1440637.000 | 1066.150 msnm | 16N |
| 1058 | 574419.000 | 1440828.000 | 1091.360 msnm | 16N |
| 1059 | 574420.000 | 1440829.000 | 1091.360 msnm | 16N |
| 1060 | 574423.000 | 1440831.000 | 1091.360 msnm | 16N |

| PUNTOS | X (ESTE) | Y (NORTE) | Z (ELEVACIÓN) | ZONA |
|--------|------------|-------------|---------------|------|
| 1061 | 574403.000 | 1440849.000 | 1092.000 msnm | 16N |
| 1062 | 574404.000 | 1440850.000 | 1092.000 msnm | 16N |
| 1063 | 574406.000 | 1440851.000 | 1092.000 msnm | 16N |
| 1064 | 574381.000 | 1440879.000 | 1093.000 msnm | 16N |
| 1065 | 574385.000 | 1440880.000 | 1093.000 msnm | 16N |
| 1066 | 574392.000 | 1440882.000 | 1093.000 msnm | 16N |
| 1067 | 574444.000 | 1440850.000 | 1096.990 msnm | 16N |
| 1068 | 574446.000 | 1440852.000 | 1096.990 msnm | 16N |
| 1069 | 574449.000 | 1440854.000 | 1096.990 msnm | 16N |
| 1070 | 574470.000 | 1440841.000 | 1097.000 msnm | 16N |
| 1071 | 574471.000 | 1440843.000 | 1097.000 msnm | 16N |
| 1072 | 574472.000 | 1440844.000 | 1097.000 msnm | 16N |
| 1073 | 574496.000 | 1440824.000 | 1098.000 msnm | 16N |
| 1074 | 574497.000 | 1440825.000 | 1098.000 msnm | 16N |
| 1075 | 574499.000 | 1440826.000 | 1098.000 msnm | 16N |
| 1076 | 574528.000 | 1440799.000 | 1098.000 msnm | 16N |
| 1077 | 574529.000 | 1440800.000 | 1098.000 msnm | 16N |
| 1078 | 574531.000 | 1440802.000 | 1098.000 msnm | 16N |
| 1079 | 574533.000 | 1440778.000 | 1096.000 msnm | 16N |
| 1080 | 574536.000 | 1440778.000 | 1096.000 msnm | 16N |
| 1081 | 574538.000 | 1440778.000 | 1096.000 msnm | 16N |
| 1082 | 574538.000 | 1440753.000 | 1097.000 msnm | 16N |
| 1083 | 574540.000 | 1440754.000 | 1097.000 msnm | 16N |
| 1084 | 574542.000 | 1440754.000 | 1097.000 msnm | 16N |
| 1085 | 574511.000 | 1440893.000 | 1116.420 msnm | 16N |
| 1086 | 574512.000 | 1440896.000 | 1116.420 msnm | 16N |
| 1087 | 574515.000 | 1440898.000 | 1116.420 msnm | 16N |
| 1088 | 574535.000 | 1440890.000 | 1118.000 msnm | 16N |
| 1089 | 574535.000 | 1440892.000 | 1118.000 msnm | 16N |
| 1090 | 574534.000 | 1440894.000 | 1118.000 msnm | 16N |

| PUNTOS | X (ESTE) | Y (NORTE) | Z (ELEVACIÓN) | ZONA |
|--------|------------|-------------|---------------|------|
| 1091 | 574543.000 | 1440887.000 | 1119.000 msnm | 16N |
| 1092 | 574544.000 | 1440889.000 | 1119.000 msnm | 16N |
| 1093 | 574545.000 | 1440892.000 | 1119.000 msnm | 16N |
| 1094 | 574549.000 | 1440911.000 | 1124.000 msnm | 16N |
| 1095 | 574551.000 | 1440907.000 | 1124.000 msnm | 16N |
| 1096 | 574555.000 | 1440904.000 | 1124.000 msnm | 16N |
| 1097 | 574556.000 | 1440975.000 | 1125.354 msnm | 16N |
| 1098 | 574558.000 | 1440978.000 | 1125.354 msnm | 16N |
| 1099 | 574562.000 | 1440980.000 | 1125.354 msnm | 16N |
| 1100 | 574567.000 | 1440960.000 | 1128.000 msnm | 16N |
| 1101 | 574569.000 | 1440962.000 | 1128.000 msnm | 16N |
| 1102 | 574572.000 | 1440965.000 | 1128.000 msnm | 16N |
| 1103 | 574581.000 | 1440937.000 | 1128.000 msnm | 16N |
| 1104 | 574583.000 | 1440939.000 | 1128.000 msnm | 16N |
| 1105 | 574589.000 | 1440940.000 | 1128.000 msnm | 16N |
| 1106 | 574601.000 | 1440909.000 | 1127.000 msnm | 16N |
| 1107 | 574605.000 | 1440909.000 | 1127.000 msnm | 16N |
| 1108 | 574609.000 | 1440910.000 | 1127.000 msnm | 16N |
| 1109 | 574577.000 | 1441003.000 | 1133.190 msnm | 16N |
| 1110 | 574578.000 | 1441006.000 | 1133.190 msnm | 16N |
| 1111 | 574580.000 | 1441009.000 | 1133.190 msnm | 16N |
| 1112 | 574599.000 | 1440999.000 | 1137.000 msnm | 16N |
| 1113 | 574598.000 | 1441005.000 | 1137.000 msnm | 16N |
| 1114 | 574578.000 | 1440986.000 | 1137.000 msnm | 16N |
| 1115 | 574581.000 | 1440986.000 | 1137.000 msnm | 16N |
| 1116 | 574585.000 | 1440987.000 | 1137.000 msnm | 16N |
| 1117 | 574578.000 | 1440992.000 | 1136.000 msnm | 16N |
| 1118 | 574581.000 | 1440993.000 | 1136.000 msnm | 16N |
| 1119 | 574584.000 | 1440993.000 | 1136.000 msnm | 16N |
| 1120 | 574618.000 | 1440992.000 | 1140.000 msnm | 16N |

| PUNTOS | X (ESTE) | Y (NORTE) | Z (ELEVACIÓN) | ZONA |
|--------|------------|-------------|---------------|------|
| 1121 | 574619.000 | 1440994.000 | 1140.000 msnm | 16N |
| 1122 | 574622.000 | 1440996.000 | 1140.000 msnm | 16N |
| 1123 | 574635.000 | 1440966.000 | 1140.000 msnm | 16N |
| 1124 | 574637.000 | 1440967.000 | 1140.000 msnm | 16N |
| 1125 | 574640.000 | 1440968.000 | 1140.000 msnm | 16N |
| 1126 | 574644.000 | 1440943.000 | 1139.000 msnm | 16N |
| 1127 | 574646.000 | 1440944.000 | 1139.000 msnm | 16N |
| 1128 | 574650.000 | 1440944.000 | 1139.000 msnm | 16N |
| 1129 | 574585.000 | 1441030.000 | 1139.059 msnm | 16N |
| 1130 | 574584.000 | 1441032.000 | 1139.059 msnm | 16N |
| 1131 | 574584.000 | 1441039.000 | 1139.059 msnm | 16N |
| 1132 | 574601.000 | 1441045.000 | 1143.000 msnm | 16N |
| 1133 | 574598.000 | 1441048.000 | 1143.000 msnm | 16N |
| 1134 | 574595.000 | 1441050.000 | 1143.000 msnm | 16N |
| 1135 | 574615.000 | 1441064.000 | 1145.000 msnm | 16N |
| 1136 | 574613.000 | 1441066.000 | 1145.000 msnm | 16N |
| 1137 | 574610.000 | 1441067.000 | 1145.000 msnm | 16N |
| 1138 | 574640.000 | 1441093.000 | 1149.000 msnm | 16N |
| 1139 | 574638.000 | 1441095.000 | 1149.000 msnm | 16N |
| 1140 | 574636.000 | 1441098.000 | 1149.000 msnm | 16N |
| 1141 | 574661.000 | 1441121.000 | 1153.000 msnm | 16N |
| 1142 | 574658.000 | 1441122.000 | 1153.000 msnm | 16N |
| 1143 | 574654.000 | 1441122.000 | 1153.000 msnm | 16N |
| 1144 | 574679.000 | 1441137.000 | 1156.000 msnm | 16N |
| 1145 | 574677.000 | 1441139.000 | 1156.000 msnm | 16N |
| 1146 | 574675.000 | 1441142.000 | 1156.000 msnm | 16N |
| 1147 | 574701.000 | 1441153.000 | 1159.000 msnm | 16N |
| 1148 | 574699.000 | 1441156.000 | 1159.000 msnm | 16N |
| 1149 | 574698.000 | 1441160.000 | 1159.000 msnm | 16N |
| 1150 | 574726.000 | 1441165.000 | 1161.000 msnm | 16N |

| PUNTOS | X (ESTE) | Y (NORTE) | Z (ELEVACIÓN) | ZONA |
|--------|------------|-------------|---------------|------|
| 1151 | 574725.000 | 1441169.000 | 1161.000 msnm | 16N |
| 1152 | 574723.000 | 1441173.000 | 1161.000 msnm | 16N |
| 1153 | 574758.000 | 1441177.000 | 1165.000 msnm | 16N |
| 1154 | 574756.000 | 1441181.000 | 1165.000 msnm | 16N |
| 1155 | 574755.000 | 1441186.000 | 1165.000 msnm | 16N |
| 1156 | 574792.000 | 1441202.000 | 1170.000 msnm | 16N |
| 1157 | 574790.000 | 1441205.000 | 1170.000 msnm | 16N |
| 1158 | 574788.000 | 1441209.000 | 1170.000 msnm | 16N |
| 1159 | 574813.000 | 1441222.000 | 1172.000 msnm | 16N |
| 1160 | 574812.000 | 1441224.000 | 1172.000 msnm | 16N |
| 1161 | 574810.000 | 1441227.000 | 1172.000 msnm | 16N |
| 1162 | 574835.000 | 1441233.000 | 1177.000 msnm | 16N |
| 1163 | 574834.000 | 1441234.000 | 1177.000 msnm | 16N |
| 1164 | 574833.000 | 1441236.000 | 1177.000 msnm | 16N |
| 1165 | 574865.000 | 1441255.000 | 1183.000 msnm | 16N |
| 1166 | 574862.000 | 1441257.000 | 1183.000 msnm | 16N |
| 1167 | 574860.000 | 1441263.000 | 1183.000 msnm | 16N |
| 1168 | 574878.000 | 1441268.000 | 1186.000 msnm | 16N |
| 1169 | 574877.000 | 1441268.000 | 1186.000 msnm | 16N |
| 1170 | 574598.000 | 1441002.000 | 1137.000 msnm | 16N |
| 1171 | 574876.000 | 1441270.000 | 1189.000 msnm | 16N |
| 1172 | 574893.000 | 1441278.000 | 1189.000 msnm | 16N |
| 1173 | 574891.000 | 1441279.000 | 1189.000 msnm | 16N |
| 1174 | 574889.000 | 1441281.000 | 1191.000 msnm | 16N |
| 1175 | 574902.000 | 1441286.000 | 1191.000 msnm | 16N |
| 1176 | 574900.000 | 1441287.000 | 1191.000 msnm | 16N |
| 1177 | 574898.000 | 1441289.000 | 1193.000 msnm | 16N |
| 1178 | 574910.000 | 1441297.000 | 1193.000 msnm | 16N |
| 1179 | 574908.000 | 1441298.000 | 1193.000 msnm | 16N |
| 1180 | 574907.000 | 1441299.000 | 1196.000 msnm | 16N |

| PUNTOS | X (ESTE) | Y (NORTE) | Z (ELEVACIÓN) | ZONA |
|--------|------------|-------------|---------------|------|
| 1181 | 574928.000 | 1441308.000 | 1196.000 msnm | 16N |
| 1182 | 574927.000 | 1441309.000 | 1196.000 msnm | 16N |
| 1183 | 574926.000 | 1441312.000 | 1199.000 msnm | 16N |
| 1184 | 574958.000 | 1441315.000 | 1199.000 msnm | 16N |
| 1185 | 574957.000 | 1441316.000 | 1199.000 msnm | 16N |
| 1186 | 574957.000 | 1441318.000 | 1201.000 msnm | 16N |
| 1187 | 574978.000 | 1441315.000 | 1201.000 msnm | 16N |
| 1188 | 574978.000 | 1441316.000 | 1201.000 msnm | 16N |
| 1189 | 574978.000 | 1441318.000 | 1203.000 msnm | 16N |
| 1190 | 574995.000 | 1441313.000 | 1203.000 msnm | 16N |
| 1191 | 574995.000 | 1441314.000 | 1203.000 msnm | 16N |
| 1192 | 574995.000 | 1441317.000 | 1204.000 msnm | 16N |
| 1193 | 575028.000 | 1441307.000 | 1204.000 msnm | 16N |
| 1194 | 575028.000 | 1441309.000 | 1204.000 msnm | 16N |
| 1195 | 575029.000 | 1441311.000 | 1204.000 msnm | 16N |
| TANQUE | 575023.000 | 1441299.000 | 1214.000 msnm | 16N |
| POZO | 574565.000 | 1441053.000 | 1147.000 msnm | 16N |

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del levantamiento topográfico

Ilustración 16: Ejecución del levantamiento topográfico



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 17: Finalización del levantamiento topográfico



Fuente: Elaboración propia

C. Aforo de la fuente de agua

Ilustración 18: Aforo del pozo por el método volumétrico



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 19: Toma de datos de los niveles del pozo con sonda electrónica



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 20: Medición de niveles de la fuente con sonda electrónica



Fuente: Elaboración propia


D. Análisis de la calidad de agua de la fuente

Tabla 39: Parámetros de clasificación para fuentes de agua tipo 1-A


| Parámetro | Límite o rango |
|---|-------------------------------|
| | Categoría 1 A |
| Oxígeno disuelto (OD) | > 4.0 mg/l |
| Demanda bioquímica de oxígeno DBO5, 20) | 2.0 mg/l |
| pH | mín 6 y máx 8.5 |
| Color real | < 15 U Pt-Co |
| Turbiedad | < 5 UNT |
| Fluoruros | 0.7 - 1.5 |
| Hierro Total | 0.3 mg/l |
| Mercurio Total | 0.001 mg/l |
| Plomo Total | 0.01 mg/l |
| Sólidos Totales disueltos | 1000 mg/l |
| Sulfatos | 250 mg/l |
| Zinc | 3 mg/l |
| Cloruros | 250 mg/l |
| Coliformes totales | Prom. Mensual 2000 NMP/100 ml |

Fuente: (INAA, 2000, pág. 2)

Tabla 40: Certificado de prueba físico-química del agua



Universidad Nacional de Ingeniería
 Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
 Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
 Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS


FQAN-2102-0028
FTP-7.2.2.1

| | | | | |
|------------------------------------|---------------------------|--|--------------------------|--|
| CLIENTE | | DIRECCION | | TELEFONO |
| Donald Illescas | | Costado Norte Gasolinera Esquipulas 5c al este 1/2c al sur | | NR |
| ATENCIÓN | | CARGO | EMAIL | CELULAR |
| Donald Illescas | | Tesista | jesusdonald263@gmail.com | 8600-0580 |
| DATOS DE LA MUESTRA | | | | |
| Fecha y Hora de recolección | | 22/02/2021; 6:40 p.m. | | Rango o valor máximo permisible o recomendado |
| Fuente | | Pozo Subtiaba | | |
| Tipo de muestra | | Agua Subterránea | | |
| Ubicación de la fuente | | Comunidad Subtiaba - Estelí | | |
| Coordenadas | | NR | | |
| Recolectada por | | Alberth Lanuza | | |
| Supervisor en campo | | Ing. Jimmy Sierra | | |
| | | No. Cadena de custodia | 4477 | |
| | | Código de muestra | LA-2102-0199 | |
| | | Muestra No. | Uno (01) | |
| METODO SM // EPA// HACH | ENSAYO REALIZADO | UNIDAD | RESULTADOS | Norma CAPRE* |
| Visual | Aspecto | NE | Clara | NE |
| 4500-B | Potencial de Hidrógeno | pH | 7.34 | 6.5 - 8.5** |
| 2550-B | Temperatura | °C | 21.30 | 18 a 30 |
| 2510-B | Conductividad Eléctrica | µS/cm | 624.00 | 400** |
| 4500-D | Cloruros | mg/L | 11.40 | 250 |
| 4500-D | Sulfatos | mg/L | 45.08 | 250 |
| 2340-C | Dureza Total | mg/L CaCO ₃ | 274.56 | 400** |
| 3500-B | Calcio | mg/L | 86.73 | 100** |
| 3500-B | Magnesio | mg/L | 14.13 | 50 |
| 3500-X | Sodio | mg/L | 17.25 | 200 |
| 2540-C | Sólidos Disueltos Totales | mg/L | 390.00 | 1,000 |
| 3500-C | Potasio | mg/L | 1.36 | 10 |
| 4500-G | Cloro Residual | mg/L | 0.01 | 0.5 a 1.0 |

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. Abreviaturas y símbolos: S menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro, NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017, HACH: Metodología HACH EPA = Environmental Protection Agency, * Normas de Calidad del Agua Para Consumo Humano. Norma Regional CAPRE **Valor Recomendado

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente




Ing. Mafra Lidia Gómez
 Coordinadora de Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI


Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Fuente: Resultados de prueba del laboratorio PIENSA-UNI

Tabla 41: Certificado de prueba de metales pesados en el agua



Universidad Nacional de Ingeniería
 Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
 Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
 Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS


MP-2102-0021
FTP-7.8.2.1

| | | | | | | |
|-----------------------------|----------------------------|---|--------------------------------|--------------------------|---|---------------------|
| CLIENTE | | DIRECCION | | TELEFONO | | |
| Donald Illescas | | Costado Norte Gasolinera Esquipulas 5c al Este 1/2 c al sur | | NR | | |
| ATENCIÓN | | CARGO | | EMAIL | | |
| Donald Illescas | | Tesisista | | jesusdonald263@gmail.com | | |
| | | | | CELULAR | | |
| | | | | 8600-0580 | | |
| DATOS DE LA MUESTRA | | | CONTROL DEL LABORATORIO | | | |
| Fecha y Hora de recolección | 22/02/2021; 6:40 pm | | Fecha de | Ingreso de muestra | 24/02/2021 | |
| Fuente | Pozo Subtiaba | | | Inicio de análisis | 01/03/2021 | |
| Tipo de muestra | Agua Subterránea | | | Finalización de análisis | 04/03/2021 | |
| Ubicación de la fuente | Comunidad Subtiaba- Esteli | | | Emisión del certificado | 05/03/2021 | |
| Coordenadas | NR | | | No. Cadena de custodia | 4477 | |
| Recolectada por | Alberth Lanuza | | Código de muestra | LA-2102-0199 | Rango o valor máximo permisible recomendado | |
| Supervisor en campo | Ing. Jimmy Sierra | | Muestra No. | Uno (01) | | |
| METODO SM // EPA | ENSAYO REALIZADO | UNIDAD | RESULTADOS | | | Norma CAPRE* |
| G.H | Arsénico | mg/L | <0.002 | | | 0.01 |
| 3500-B | Aluminio | mg/L | <0.006 | | 0.2 | |
| 3500-B | Cobre | mg/L | 0.026 | | 2.0 | |
| 3500-B | Zinc | mg/L | <0.02 | | 3.0 | |

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
 Abreviaturas y símbolos: <= menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro, NR= No Reporta
 Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017
 EPA = Environmental Protection Agency, * Normas de Calidad del Agua Para Consumo Humano: Norma Regional CAPRE
 G.H. Generador de Hidruros, Utilizando ARSENIATOR

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente




Ing. María Lidia Gómez
 Coordinadora de Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI


Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Fuente: Resultados de prueba del laboratorio PIENSA-UNI

Tabla 42: Certificado de prueba bacteriológica



Universidad Nacional de Ingeniería
 Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
 Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
 Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES


CERTIFICADO DE ENSAYOS

| | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|--|--------------------------------|--------------------------|---|
| CLIENTE | | DIRECCION | | MB-2102-0030 | |
| Donald Illiascas | | Costado Norie Gasolinera Esquipulas 5c. al Este 1/2c. al sur | | TELEFONO | |
| ATENCION | | CARGO | | EMAIL | |
| Donald Illiascas | | Tesiista | | jesusdonald283@gmail.com | |
| CELULAR | | MB-2102-0030 | | FTP-7.8.8.1 | |
| 8800-0580 | | | | | |
| DATOS DE LA MUESTRA | | | CONTROL DEL LABORATORIO | | |
| Fecha y Hora de recolección | 22/02/2021 ; 06:40 pm | | Fecha de | Ingreso de muestra | 23/02/2021 |
| Fuente | Pozo Subtiaba | | | Inicio de análisis | 23/02/2021 |
| Tipo de muestra | Agua Subterránea | | | Finalización de análisis | 20/02/2021 |
| Ubicación de la fuente | Comunidad Subtiaba - Estell | | | Emisión del certificado | 04/03/2021 |
| Coordenadas | NR | | | No. Cadena de custodia | 4477 |
| Recolectada por | Alberth Lanuza | | Código de muestra | LA-2102-0199 | Rango e valor máximo permisible o recomendado |
| Supervisor en campo | Ing. Jimmy Sierra | | Muestra No. | Una (01) | |
| METODO | ENSAYO REALIZADO | UNIDAD | RESULTADOS | | |
| 9221-B | Coliforme Total | NMP/100mL | 23.0 | | |
| 9221-E | Coliforme Fecal | NMP/100mL | 12.0 | | |
| | | | Norma CAPRE* | | |
| | | | Negativo | | |
| | | | Negativo | | |

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
 Abreviaturas y símbolos: <= menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro, NR= No Reporta
 Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017
 EPA = Environmental Protection Agency, * Normas de Calidad del Agua Potable U.S.S.M.U.T.O Humano: Norma Regional CAPRE

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente



Ing. María Luján Gómez
 Coordinadora de Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confiabilidad e imparcialidad del informe.

Fuente: Resultados de prueba del laboratorio PIENSA-UNI

Ilustración 21: Toma de muestra del agua del pozo



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 22: Desinfección del grifo



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 23: Toma de muestra para prueba bacteriológica



Fuente: Elaboración propia

E. Complementos para análisis hidráulico del sistema de agua potable

Tabla 43: Factor K según material de la tubería

| Material de la tubería | K |
|------------------------|-----|
| Acero | 0.5 |
| Hierro fundido | 1 |
| Concreto | 5 |
| Asbesto-cemento | 4.4 |
| Plástico | 18 |

Fuente: (López Cualla, 1995)

Tabla 44: Catálogo de tuberías HG cédula 40

| Tubería H.G - Cédula 40 | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-------------------------|--------|-------------------------|-------|-------------------------|--------|--------|--------------------|---------------------|-------------------|------------------|----------------|
| Tamaño nominal de tubería | Diámetro medio exterior | | Espesor mínimo de pared | | Diámetro medio interior | | | Presión de ruptura | | Peso apróx P/tubo | Flujo de área | |
| plg | plg | mm | plg | mm | plg | pie | mm | Kg/cm ² | lb/plg ² | Kg/mt | pie ² | m ² |
| 1/8 | 0.405 | 10.30 | 0.068 | 1.73 | 0.269 | 0.0224 | 6.80 | | | | 0.000394 | 3.660E-05 |
| 1/4 | 0.540 | 13.70 | 0.088 | 2.24 | 0.364 | 0.0303 | 9.20 | | | | 0.000723 | 6.717E-05 |
| 3/8 | 0.675 | 17.10 | 0.091 | 2.31 | 0.493 | 0.0411 | 12.50 | | | | 0.001330 | 1.236E-04 |
| 1/2 | 0.840 | 21.30 | 0.109 | 2.77 | 0.622 | 0.0518 | 15.80 | 49 | 700 | 1.27 | 0.002110 | 1.960E-04 |
| 3/4 | 1.050 | 26.70 | 0.113 | 2.87 | 0.824 | 0.0687 | 20.90 | 49 | 700 | 1.66 | 0.003700 | 3.437E-04 |
| 1 | 1.315 | 33.40 | 0.133 | 3.38 | 1.049 | 0.0874 | 26.60 | 49 | 700 | 2.50 | 0.006000 | 5.574E-04 |
| 1 1/4 | 1.660 | 42.20 | 0.140 | 3.56 | 1.380 | 0.1150 | 35.10 | 91 | 1300 | 3.38 | 0.010390 | 9.653E-04 |
| 1 1/2 | 1.900 | 48.30 | 0.145 | 3.68 | 1.610 | 0.1342 | 40.90 | 91 | 1300 | 4.05 | 0.014140 | 1.314E-03 |
| 2 | 2.375 | 60.30 | 0.154 | 3.91 | 2.067 | 0.1723 | 52.50 | 176 | 2500 | 5.44 | 0.023330 | 2.168E-03 |
| 2 1/2 | 2.875 | 73.00 | 0.203 | 5.16 | 2.469 | 0.2058 | 62.70 | 176 | 2500 | 8.62 | 0.033260 | 3.090E-03 |
| 3 | 3.500 | 88.90 | 0.216 | 5.49 | 3.068 | 0.2557 | 77.90 | 176 | 2500 | 11.29 | 0.051320 | 4.768E-03 |
| 3 1/2 | 4.000 | 101.60 | 0.226 | 5.74 | 3.548 | 0.2957 | 90.10 | | | | 0.068680 | 6.381E-03 |
| 4 | 4.500 | 114.30 | 0.237 | 6.02 | 4.026 | 0.3355 | 102.30 | 155 | 2210 | 16.07 | 0.088400 | 8.213E-03 |
| 5 | 5.563 | 141.30 | 0.258 | 6.55 | 5.047 | 0.4206 | 128.20 | 137 | 1950 | 21.78 | 0.1390 | 1.291E-02 |
| 6 | 6.625 | 168.30 | 0.280 | 7.11 | 6.065 | 0.5054 | 154.10 | 125 | 1780 | 28.26 | 0.20060 | 1.864E-02 |
| 8 | 8.625 | 219.10 | 0.322 | 8.18 | 7.981 | 0.6651 | 202.70 | 110 | 1570 | 42.53 | 0.34720 | 3.226E-02 |
| 10 | 10.750 | 273.10 | 0.365 | 9.27 | 10.020 | 0.8350 | 254.50 | 101 | 1430 | 60.29 | 0.54790 | 5.090E-02 |
| 12 | 12.750 | 323.90 | 0.406 | 10.31 | 11.938 | 0.9948 | 303.20 | 94 | 1340 | 79.65 | 0.77710 | 7.219E-02 |
| 14 | 14.000 | 355.60 | 0.437 | 11.10 | 13.126 | 1.0940 | 333.40 | 92 | 1310 | 94.55 | 0.93960 | 8.729E-02 |
| 16 | 16.000 | 406.40 | 0.500 | 12.70 | 15.000 | 1.2500 | 381.00 | | | | 1.2270 | 1.140E-01 |
| 18 | 18.000 | 457.20 | 0.562 | 14.27 | 16.876 | 1.4060 | 428.70 | | | | 1.5530 | 1.443E-01 |
| 20 | 20.000 | 508.00 | 0.593 | 15.06 | 18.814 | 1.5680 | 477.90 | | | | 1.9310 | 1.794E-01 |
| 24 | 24.000 | 609.60 | 0.687 | 17.45 | 22.626 | 1.8860 | 574.70 | | | | 2.7920 | 2.594E-01 |

Fuente: (Mott, 2006, pág. 601).

Tabla 45: Catálogo de tuberías PVC SDR-26

| Tubería PVC SDR-26 | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|-----|----------------------|--------------------|-------|-------------------------|--------|-------------------------|-------|-------------------------|--------|----------------------|--------------------|--------------------|
| Diámetro Nominal | | SDR | Presión de trabajo | | Largo | Diámetro medio exterior | | Espesor mínimo de pared | | Diámetro medio interior | | Presión de ruptura | | Peso apróx. P/tubo |
| mm | plg | | lbs/plg ² | Kg/cm ² | m | mm | plg | mm | plg | mm | plg | lbs/plg ² | Kg/cm ² | Kg |
| 25 | 1 | 26 | 160 | 11.20 | 6.0 | 33.40 | 1.315 | 1.52 | 0.060 | 30.36 | 1.195 | 500 | 35.20 | 1.370 |
| 31 | 1 1/4 | 26 | 160 | 11.20 | 6.0 | 42.16 | 1.660 | 1.62 | 0.064 | 38.92 | 1.532 | 500 | 35.20 | 1.872 |
| 38 | 1 1/2 | 26 | 160 | 11.20 | 6.0 | 48.26 | 1.900 | 1.85 | 0.073 | 44.56 | 1.754 | 500 | 35.20 | 2.429 |
| 50 | 2 | 26 | 160 | 11.20 | 6.0 | 60.33 | 2.375 | 2.31 | 0.091 | 55.71 | 2.193 | 500 | 35.20 | 3.796 |
| 62 | 2 1/2 | 26 | 160 | 11.20 | 6.0 | 73.03 | 2.875 | 2.79 | 0.110 | 67.45 | 2.655 | 500 | 35.20 | 5.552 |
| 75 | 3 | 26 | 160 | 11.20 | 6.0 | 88.90 | 3.500 | 3.43 | 0.135 | 82.04 | 3.230 | 500 | 35.20 | 8.307 |
| 100 | 4 | 26 | 160 | 11.20 | 6.0 | 114.30 | 4.500 | 4.39 | 0.173 | 105.52 | 4.154 | 500 | 35.20 | 13.647 |
| 150 | 6 | 26 | 160 | 11.20 | 6.0 | 168.28 | 6.625 | 6.48 | 0.255 | 155.32 | 6.115 | 500 | 35.20 | 29.681 |
| 200 | 8 | 26 | 160 | 11.20 | 6.0 | 219.08 | 8.625 | 8.43 | 0.332 | 202.22 | 7.961 | 500 | 35.20 | 50.285 |
| 250 | 10 | 26 | 160 | 11.20 | 6.0 | 273.05 | 10.750 | 10.49 | 0.413 | 252.07 | 9.924 | 500 | 35.20 | 77.962 |
| 300 | 12 | 26 | 160 | 11.20 | 6.0 | 323.85 | 12.750 | 12.45 | 0.490 | 298.95 | 11.770 | 500 | 35.20 | 109.758 |
| 385 | 15 | 26 | 160 | 11.20 | 6.0 | 388.62 | 15.300 | 14.95 | 0.588 | 358.75 | 14.124 | 500 | 35.20 | 157.960 |

Fuente: ASTM D-2241

Tabla 46: Longitud equivalente de diversos accesorios

| Longitud equivalente en diámetros de tubería | |
|---|-------|
| Elemento | Le/D |
| Válvula de globo - abierta por completo | 340.0 |
| Válvula de ángulo - abierta por completo | 150.0 |
| Válvula de compuerta - abierta por completo | 8.0 |
| Válvula de compuerta - 3/4 abierta | 35.0 |
| Válvula de compuerta - 1/2 abierta | 160.0 |
| Válvula de compuerta - 1/4 abierta | 900.0 |
| Válvula de verificación - tipo giratorio | 100.0 |
| Válvula de verificación - tipo bola | 150.0 |
| Válvula de mariposa - abierta por completa, 2 a 8 plg | 45.0 |
| Válvula de mariposa - abierta por completa, 10 a 14 plg | 35.0 |
| Válvula de mariposa - abierta por completa, 16 a 24 plg | 25.0 |
| Válvula de pie - tipo disco de vástago | 420.0 |
| Válvula de pie - tipo bisagra | 75.0 |
| Codo estándar a 90° | 30.0 |
| Codo a 90° de radio largo | 20.0 |
| Codo roscado a 90° | 50.0 |
| Codo estándar a 45° | 16.0 |
| Codo roscado a 45° | 26.0 |
| Vuelta cerrada en retorno | 50.0 |
| Tee estándar - con flujo directo | 20.0 |
| Tee estándar - con flujo en el ramal | 60.0 |

Fuente: (Mott, 2006, pág. 297)

Tabla 47: Pérdidas de energía de accesorios de tubería

| Pérdidas localizadas en longitudes equivalentes (En metros de tubería recta) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Elemento | mm | 13 | 19 | 25 | 32 | 38 | 50 | 63 | 75 | 100 | 125 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 |
| | plg | 1/2 | 3/4 | 1 | 1 1/4 | 1 1/2 | 2 | 2 1/2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 |
| Codo 90° | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Radio Largo | | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.70 | 0.90 | 1.10 | 1.30 | 1.60 | 2.10 | 2.70 | 3.40 | 4.30 | 5.50 | 6.10 | 7.30 |
| Radio medio | | 0.40 | 0.60 | 0.70 | 0.90 | 1.10 | 1.40 | 1.70 | 2.10 | 2.80 | 3.70 | 4.30 | 5.50 | 6.70 | 7.90 | 9.50 |
| Radio corto | | 0.50 | 0.70 | 0.80 | 1.10 | 1.30 | 1.70 | 2.00 | 2.50 | 3.40 | 4.50 | 4.90 | 6.40 | 7.90 | 9.50 | 10.50 |
| Codo 45° | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Curva 90° | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R/D : 1 1/2 | | 0.20 | 0.30 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.80 | 1.00 | 1.30 | 1.60 | 1.90 | 2.40 | 3.00 | 3.60 | 4.40 |
| R/D : 1 | | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.70 | 0.90 | 1.00 | 1.30 | 1.60 | 2.10 | 2.50 | 3.30 | 4.10 | 4.80 | 5.40 |
| Curva 45° | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Entrada | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Normal | | 0.20 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.70 | 0.90 | 1.10 | 1.60 | 2.00 | 2.50 | 3.50 | 4.50 | 5.50 | 6.20 |
| De borda | | 0.40 | 0.50 | 0.70 | 0.90 | 1.00 | 1.50 | 1.90 | 2.20 | 3.20 | 4.00 | 5.00 | 6.00 | 7.50 | 9.00 | 11.00 |
| Válvula | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Compuerta | | 0.10 | 0.10 | 0.20 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.40 | 0.50 | 0.70 | 0.90 | 1.10 | 1.40 | 1.70 | 2.10 | 2.40 |
| Globo | | 4.90 | 6.70 | 8.20 | 11.30 | 13.40 | 17.40 | 21.00 | 26.00 | 34.00 | 45.30 | 51.00 | 6.70 | 85.00 | 102.00 | 120.00 |
| Ángulo | | 2.60 | 3.60 | 4.60 | 5.60 | 6.70 | 8.50 | 10.00 | 13.00 | 17.00 | 21.00 | 26.00 | 34.00 | 43.00 | 51.00 | 60.00 |
| de pie | | 3.60 | 5.60 | 7.30 | 10.00 | 11.60 | 14.00 | 17.00 | 20.00 | 23.00 | 31.00 | 39.00 | 52.00 | 65.00 | 78.00 | 90.00 |
| Retención | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T. Liviano | | 1.10 | 1.60 | 2.10 | 2.70 | 3.20 | 4.20 | 5.20 | 6.30 | 6.40 | 10.40 | 12.50 | 16.00 | 20.00 | 24.00 | 38.00 |
| T. Pesado | | 1.60 | 2.40 | 3.20 | 4.00 | 4.80 | 6.40 | 8.10 | 9.70 | 12.90 | 16.10 | 19.30 | 25.00 | 32.00 | 38.00 | 45.00 |
| Tee de paso | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Directo | | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.7 | 0.90 | 1.10 | 1.30 | 1.60 | 2.10 | 2.70 | 3.40 | 4.30 | 5.50 | 6.10 | 7.30 |
| Lateral | | 1.00 | 1.40 | 1.70 | 2.30 | 2.80 | 3.50 | 4.30 | 5.20 | 6.70 | 8.40 | 10.00 | 13.00 | 16.00 | 19.00 | 22.00 |
| Tee salida | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bilateral | | 1.00 | 1.40 | 1.70 | 2.30 | 2.80 | 3.50 | 4.30 | 5.20 | 6.70 | 8.40 | 10.00 | 13.00 | 16.00 | 19.00 | 22.00 |
| Salida de tubería | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tubería | | 0.40 | 0.50 | 0.70 | 0.90 | 1.00 | 1.50 | 1.90 | 2.20 | 3.20 | 4.00 | 5.00 | 6.00 | 7.50 | 9.00 | 11.00 |

Fuente: (López Cualla, 1995)

Tabla 48: Tarifas de energía eléctrica



**INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ENERGÍA
ENTE REGULADOR**
TARIFAS ACTUALIZADAS A ENTRAR EN VIGENCIA EL 1 DE FEBRERO 2021
AUTORIZADAS PARA LAS DISTRIBUIDORAS DISNORTE Y DISSUR

| BAJA TENSION (120,240 y 480 V) | | | | | | |
|--------------------------------|---|--------|---|-------------------|-----------------------|--|
| TIPO DE TARIFA | APLICACIÓN | TARIFA | | CARGO POR | | |
| | | CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | ENERGÍA (C\$/kWh) | POTENCIA (C\$/kW-mes) | |
| BOMBEO COMUNITARIO | Para extracción y bombeo de agua potable para suministro público. | TB-6 | TARIFA MONOMIA Todos los kWh | 6.2429 | | |
| | | TB-6A | TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL Todos los kWh kW de Demanda Máxima | 4.5832 | 532.4604 | |
| | | TB-6B | TARIFA BINOMIA CON MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL | | | |
| | | | Verano Punta | 5.9941 | | |
| | | | Invierno Punta | 5.7993 | | |
| | | | Verano Fuera de Punta | 4.4355 | | |
| | | | Invierno Fuera de Punta | 4.3679 | | |
| | | | Verano Punta | | 1,007.9269 | |
| | | | Invierno Punta | | 629.5398 | |
| | | | Verano Fuera de Punta | | 0.0000 | |
| Invierno Fuera de Punta | | 0.0000 | | | | |

Fuente: (INE, 2021)

Tabla 49: Agentes patógenos transmitidos por el agua y su importancia en los sistemas de abastecimientos

| Agente patógeno | Importancia para la salud | Persistencia en los sistemas de abastecimiento de agua ^a | Resistencia al cloro ^b | Infectividad relativa ^c | Fuente animal importante |
|---|---------------------------|---|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| Bacterias | | | | | |
| <i>Burkholderia pseudomallei</i> | Baja | Puede proliferar | Baja | Baja | No |
| <i>Campylobacter jejuni</i> , <i>C. coli</i> | Alta | Moderada | Baja | Moderada | Sí |
| <i>Escherichia coli</i> patógena ^d | Alta | Moderada | Baja | Baja | Sí |
| <i>E. coli</i> enterohemorrágica | Alta | Moderada | Baja | Alta | Sí |
| <i>Legionella</i> spp. | Alta | Moderada | Baja | Moderada | No |
| Micobacterias no tuberculosas | Baja | Prolifera | Alta | Baja | No |
| <i>Pseudomonas aeruginosae</i> | Moderada | Prolifera | Moderada | Baja | No |
| <i>Salmonella typhi</i> | Alta | Puede proliferar | Baja | Baja | No |
| Otras salmonelas | Alta | Moderada | Baja | Baja | Sí |
| <i>Shigella</i> spp. | Alta | Puede proliferar | Baja | Moderada | No |
| <i>Vibrio cholerae</i> | Alta | Puede proliferar | Baja | Baja | No |
| <i>Yersinia enterocolitica</i> | Alta | Corta | Baja | Baja | Sí |
| | | Corta | | | |

Fuente: (OMS, 2006, pág. 105)

JUEGO DE PLANOS