



**Evaluación y rediseño de la línea de conducción Luz de América del cantón
Rumiñahui, provincia de Pichincha**

Jácome Rodríguez, Carlos Diego y Suntaxi Paucar, Kevin Joel

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Bolaños Guerrón, Darío Roberto, Ph.D.

22 de agosto del 2023



JACOME-SUNTAXI_TRABAJO_DE_TITUL...

Scan details

Scan time: August 22th, 2023 at 13:48 UTC Total Pages: 62 Total Words: 15461

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	2.4%	366
Minor Changes	0.8%	117
Paraphrased	2.1%	324
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage
● AI text
○ Human text



DARIO ROBERTO BOLANOS GUERRON

.....
Ing. Bolaños Guerrón Darío Roberto, Ph. D.

C. C.: 1715206593

Director



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **"Evaluación y rediseño de la línea de conducción Luz de América del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha"** fue realizado por los señores **Jácome Rodríguez, Carlos Diego y Suntaxi Paucar, Kevin Joel**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 29 de agosto de 2023



.....
Ing. Bolaños Guerrón Darío Roberto, Ph. D.

C. C.: 1715206593



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción
Carrera de Ingeniería Civil

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Jácome Rodríguez, Carlos Diego y Suntaxi Paucar, Kevin Joel**, con cédulas de ciudadanía N° **2100582523** y **1725260937**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: "**Evaluación y rediseño de la línea de conducción Luz de América del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha**" es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 29 de agosto de 2023


Jácome Rodríguez, Carlos Diego

C.C.:2100582523



Suntaxi Paucar, Kevin Joel

C.C.:1725260937



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Autorización de Publicación

Nosotros, **Jácome Rodríguez, Carlos Diego y Suntaxi Paucar, Kevin Joel**, con cédulas de ciudadanía N° 2100582523 y 1725260937, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **"Evaluación y rediseño de la línea de conducción Luz de América del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 29 de agosto de 2023


Jácome Rodríguez, Carlos Diego

C.C.:2100582523


Suntaxi Paucar, Kevin Joel

C.C.: 1725260937

Dedicatoria

El presente trabajo final, quiero dedicárselo a las personas más relevantes que forman parte de mi vida, aquellas personas que siempre me apoyaron en todo momento.

A mi amada madre Verónica, que siempre estuvo y está junto a mí en todo momento, dándome ánimos y aconsejándome para que cada día mejore como persona.

A mi querida hermanita Milagros Abigail, quien me ha inspirado cada día ha no rendirme y me ha mostrado que la vida es un regalo de Dios.

A mis queridos hermanos F. Xavier y Alan J., quienes han hecho que la vida sea mucho más bonita desde que llegaron a mi vida.

A mi amigo Nelson, quien se ha preocupado por mí y también me ha brindado su ayuda en todo momento.

A mi querido tío Evelio, quien siempre confió en mí y me brindó su ayuda en todo momento cuando más lo necesitaba y aunque hoy ya no se encuentra entre nosotros, eres parte de esto.

Kevin J. Suntaxi

Dedicatoria

Con profundo cariño y gratitud, dedico este trabajo a mis queridos padres, Raúl y Lidia. Su amor incondicional, sacrificio y ejemplo de tenacidad han sido la fuerza propulsora que me ha llevado a completar este objetivo. Su apoyo constante y creencia en mí han sido mi mayor motivación. Este logro es un reflejo del amor y la guía que siempre me han brindado.

A mis hermanos, George, Raúl Jr. y Vinicio, por su respaldo constante y alentador. Vuestras palabras de ánimo y entusiasmo me impulsaron incluso en los momentos más difíciles. Nuestro vínculo inquebrantable y el apoyo mutuo han sido un recordatorio constante de la importancia de la familia en mi viaje.

A mis queridos tíos Geovanny y Silvia, así como a mi amada mamita Piedad. Su apoyo incondicional, sabios consejos y presencia constante han sido el pilar fundamental en mi viaje hacia la realización de este trabajo. Su ejemplo de perseverancia y cariño ha dejado una huella imborrable en mi camino. Este logro es un tributo a su influencia y amor que me han guiado en cada paso.

Diego. J

Agradecimiento

Para empezar, quiero dar gracias a Dios por todas las virtudes del mundo.

A mi mami Verónica, quien es la persona que más admiro en el mundo, que nunca se ha dado por vencida ante ninguna circunstancia, quiero decirle muchas gracias mamita por siempre estar pendiente de mi en todo momento, por aconsejarme y nunca haber dejado que desmaye en el camino, quiero agradecerle, por todas las alegrías, por todas las reprimendas, por ser mi inspiración y motivación cada día.

A mi hermanita Milagros Abigail y a mis hermanitos F. Xavier y Alan J, quienes me han acompañado en este recorrido, brindándome su alegría, sus ocurrencias y su apoyo en todo momento.

A mi amigo Nelson, quien es una persona que admiro y respeto mucho.

A mis amigos y amigas de la universidad que han estado junto a mí durante este proceso universitario, gracias por estar en los momentos buenos y los malos, en todo ámbito.

Al Dr. Darío Bolaños, quien es un excelente profesional, así como también una excelente persona, muchas gracias por las enseñanzas impartidas en la carrera, por las pláticas, las historias de vida y en especial le agradezco por todo el apoyo, paciencia y sabiduría brindada en este proceso de titulación.

Kevin J. Suntaxi

Agradecimiento

En el culmen de este emocionante recorrido, deseo expresar mi profundo agradecimiento a las personas que han sido la base sólida en la realización de esta meta. Sus inquebrantables apoyos y amor incondicional han sido mi motor para alcanzar este logro. A mis padres, Raúl y Lidia, les debo más de lo que las palabras pueden expresar. Su constante aliento, sacrificios y sabios consejos han sido mi faro en cada paso de este camino. Su amor y confianza inquebrantables me dieron la fuerza para superar desafíos y perseguir mis sueños. Vuestra dedicación ha sido mi mayor inspiración.

A mi hermano mayor Vinicio un agradecimiento muy especial de todo corazón, tus palabras alentadoras, apoyo constante y orientación han sido una fuente inagotable de inspiración a lo largo de este desafiante proceso. Tu experiencia y sabiduría han iluminado mi camino y me han impulsado a superar obstáculos con confianza. Tu ejemplo de determinación y dedicación ha sido luz que me ha guiado hacia la consecución de este logro. Tu apoyo inquebrantable y tu fe en mis capacidades han sido un recordatorio constante de la importancia de tener a alguien en quien confiar en momentos cruciales. Cada conversación y consejo que compartimos ha enriquecido mi perspectiva y me han ayudado a desarrollar nuevas ideas.

A mis amigos Jhonatan, Santy y muy especial a Katherine por su apoyo incondicional a lo largo de esta travesía. Sus palabras de aliento, discusiones enriquecedoras y amistad constante han sido un faro de motivación. Su presencia ha hecho posible este logro y es un honor contar con su amistad.

Al Dr. Darío Bolaños, cuya guía experta, apoyo constante y paciencia incansable fueron fundamentales para dar forma a este trabajo. Sus conocimientos y consejos han sido una fuente inagotable de inspiración.

Diego. J

Índice de contenidos

Resumen	18
Abstract.....	19
Capítulo I	20
Introducción.....	20
Antecedentes	21
Planteamiento del problema	22
Justificación e Importancia	23
Objetivos	24
Objetivo General.....	24
Objetivos Específicos.....	24
Capítulo II	26
Materiales y Métodos	26
Ubicación Geográfica	26
Relieve	27
Levantamiento Topográfico	27
Geología.....	28
Factores climáticos.....	30
Temperatura.....	30
Humedad	31
Factores Hídricos	32

	11
Acuíferos en Ecuador	32
Línea de Conducción Actual	34
Captación	34
Pozos de revisión antes del primer tanque rompe presiones	37
Captaciones secundarias.....	39
Primer tanque rompe presiones	41
Trayecto Actual	42
Segundo tanque rompe presiones	44
Tanque de Almacenamiento	45
Características Hidráulicas de la línea de conducción	46
Válvulas de aire	46
Presiones.....	46
Válvula de compuerta	48
Tipo de tubería	48
Relación de tuberías de asbesto – cemento y el agua	49
Población Actual.....	50
Métodos de cálculo para la población futura.....	50
Método Aritmético	51
Método Geométrico	51
Método Exponencial	52
Cálculo del caudal de diseño.....	52

	12
Periodo de Diseño	52
Dotación	53
Caudal medio.....	54
Caudal máximo diario	54
Caudal máximo horario	54
Cálculo de velocidades y presiones.....	55
Calidad del Agua	56
Toma de muestras de agua.....	57
Capítulo III	59
Resultados y Discusión.....	59
Análisis de la actual Línea de Conducción, Luz de América	59
Cota de los nodos	59
Análisis poblacional	60
Cálculo de caudales, velocidades y presiones para la Evaluación.....	60
Evaluación de la Línea de Conducción Actual	67
Evaluación de Velocidades	67
Evaluación de Presiones.....	67
Evaluación de Infraestructura	67
Análisis físico-químico del agua.....	68
Resultados del análisis de las muestras	69
Rediseño de la Línea de conducción “Luz de América”	72

Diseño de la línea de conducción	72
Caudal de Diseño para el Rediseño de la Línea de Conducción.....	72
Análisis de la línea de conducción en periodo estático	74
Tipos de material en las tuberías	81
Válvulas en la línea de conducción.....	81
Válvulas de purga	82
Válvulas reductoras de presión.....	82
Válvulas de aire	83
Válvula tipo compuerta	83
Pasos elevados en la línea de conducción	84
Primer paso elevado	85
Segundo paso elevado	86
Tercer paso elevado.....	87
Presupuesto	89
Análisis de precios unitarios.....	89
Presupuesto referencial del proyecto.....	89
Especificaciones técnicas	91
Capítulo IV	92
Conclusiones y Recomendaciones	92
Conclusiones.....	92
Recomendaciones.....	94

Referencias.....95

Apéndices96

Índice de Tablas

Tabla 1	Denominación geológica de los suelos del Cantón Rumiñahui.....	29
Tabla 2	Humedad Relativa en la estación meteorológica de Izobamba.	31
Tabla 3	Ubicación de la Captación.....	34
Tabla 4	Pozos de revisión.....	38
Tabla 5	Captaciones Secundarias	40
Tabla 6	Ubicación de los Puentes Canales.....	43
Tabla 7	Ubicación de los tanques rompe presiones.....	44
Tabla 8	Ubicación de las válvulas de aire.....	46
Tabla 9	Presiones en la actual línea de conducción.....	47
Tabla 10	Vida útil sugerida.....	53
Tabla 11	Dotaciones recomendadas.....	53
Tabla 12	Tabla de cálculo.....	61
Tabla 13	Cotas piezométricas.....	62
Tabla 14	Resultados del análisis físico químico y calidad del agua.....	69
Tabla 15	Caudales de diseño.....	74
Tabla 16	Cotas Piezométricas	76
Tabla 17	Diámetros de tubería y velocidades	79
Tabla 18	Ubicación de las válvulas de purga	82
Tabla 19	Ubicación de las válvulas reductoras de presión	82
Tabla 20	Ubicación de las válvulas de aire	83
Tabla 21	Válvula tipo compuerta.....	83
Tabla 22	Datos del primer paso elevado	85
Tabla 23	Resultados del primer paso elevado	85
Tabla 24	Datos del segundo paso elevado	86

Tabla 25	Resultados del segundo paso elevado	87
Tabla 26	Datos del tercer paso elevado	87
Tabla 27	Resultados del tercer paso elevado	88
Tabla 28	Ubicación de los pasos elevados	88
Tabla 29	Presupuesto referencial del proyecto	90

Índice de Figuras

Figura 1	Mapa de Ubicación de la Línea de Conducción Luz de América.	26
Figura 2	Salida a campo.....	28
Figura 3	Litología del Cantón Rumiñahui.....	29
Figura 4	Temperatura del Cantón Rumiñahui	30
Figura 5	Mapa Hidrogeológico del Ecuador.	33
Figura 6	Galería de captación	35
Figura 7	Interior de la galería de captación.....	36
Figura 8	Estructura de pozo	37
Figura 9	Parte interna del pozo de revisión	38
Figura 10	Captación secundaria.....	39
Figura 11	Pozo de revisión rectangular	40
Figura 12	Primer tanque rompe presión	41
Figura 13	Primer puente canal	42
Figura 14	Segundo Puente Canal	43
Figura 15	Segundo tanque rompe presión.....	44
Figura 16	Esquema del tanque de almacenamiento.....	45
Figura 17	Medición de presión	47
Figura 18	Tramo de tubería expuesta a la intemperie.....	48
Figura 19	Tubería de asbesto-cemento	49
Figura 20	Tanque circular Cashapamba	57
Figura 21	Muestras de Agua	58
Figura 22	Presiones presentes en el rediseño.....	75
Figura 23	Esquema del paso elevado	84

Resumen

El presente proyecto de investigación tiene por objeto la evaluación y rediseño de la línea de conducción Luz de América ubicada en el cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha. Este cantón contiene varios sistemas y subsistemas de agua potable, así como distintas líneas de conducción que los alimentan mediante la captación de agua, cuyo recurso hídrico proviene de vertientes o pozos profundos. En el recorrido de la línea de conducción se logró identificar problemas como deslizamientos de tierra, obras de infraestructura que han cumplido con su vida útil, invasión de predios privados, tramos de tuberías que contienen material de asbesto cemento y PVC, roturas de tuberías que derivan en fugas que afectan la funcionalidad de la línea de conducción, puesto que esto representaría una ineficiente dotación de agua hacia los usuarios, adicionalmente a esto se realizó la caracterización del agua tomando muestras en el tanque de almacenamiento ubicado en barrio Cashapamba, mismas que fueron analizadas en la facultad de ciencias químicas de la universidad central del Ecuador. En virtud de lo manifestado, se procede a plantear alternativas de diseño y soluciones de carácter ingenieril que conlleven a exponer un rediseño que cumpla con parámetros hidráulicos que buscan garantizar una propuesta funcional, óptima y eficiente que reemplace a la construcción existente considerando el deterioro que esta presenta. Finalmente, se presenta el presupuesto referencial de la construcción de la nueva línea de conducción a través de los análisis de precios unitarios de los rubros pertinentes que intervienen en este tipo de proyectos.

Palabras clave: línea de conducción, Luz de América, vertientes, captación, obras de infraestructura.

Abstract

The purpose of this research project is the evaluation and redesign of the Luz de América conduction line located in the Rumiñahui canton, province of Pichincha. This canton contains several drinking water systems and subsystems, as well as different conduction lines that feed them by collecting water, whose water resource comes from deep springs or wells. During the route of the pipeline, it was possible to identify problems such as landslides, infrastructure works that have reached their useful life, invasion of private properties, sections of pipes containing asbestos cement and PVC material, pipe breaks that lead to leaks that affect the functionality of the pipeline, since this would represent an inefficient provision of water to users, in addition to this, the characterization of water was carried out by taking samples in the storage tank located in Barrio Cashapamba, the same ones that were analyzed at the Faculty of chemical sciences of the Central University of Ecuador. By virtue of what has been stated, we proceed to propose design alternatives and engineering solutions that lead to exposing a redesign that meets hydraulic parameters that seek to guarantee a functional, optimal and efficient proposal that replaces the existing construction considering the deterioration that it presents. Finally, the reference budget for the construction of the new pipeline is presented through the analysis of unit prices of the relevant items involved in this type of projects.

Keywords: conduction line, Luz de América, slopes, catchment, infrastructure works.

Capítulo I

Introducción

Desde los principios de la historia de la humanidad, el agua es considerada un líquido vital, cuya presencia es un factor determinante para el desarrollo de la vida de las diferentes civilizaciones que existen, razón por la cual, obtener el agua apta para el consumo humano es indispensable.

En este sentido se comprende que el recurso de carácter hídrico, es un elemento primordial que permite el progreso de actividades socioeconómicas que se llevan a cabo en el país o asentamientos humanos, es por ello, que las líneas de conducción desempeñan un papel esencial en el traslado del agua desde una fuente superficial o subterránea, hacia tanques de almacenamiento (CONAGUA, 2019).

El cantón Rumiñahui en la actualidad cuenta con 9 sistemas de agua potable que son alimentados por las distintas líneas de conducción que existen, entre ellos se encuentra el sistema Cashapamba 1, el cual en parte es nutrido por la línea de conducción Luz de América, por otro lado, los encargados de administrar los sistemas de agua potable son principalmente el GAD Municipal, las Urbanizaciones Molinos de Viento y Alcántara, y de manera autónoma la Junta de Agua Potable de Jatumpungo (GAD Municipal de Rumiñahui, 2020).

Luz de América es una línea de conducción antigua, que se encuentra construida a canal cerrado, con una longitud aproximada de 5 kilómetros, y que en su recorrido se denota la existencia de pérdidas de carga por la topografía del lugar, así como por el cambio de material apreciado en sitios puntuales de la línea. Sin embargo, el principal problema que enfrenta la comunidad al día de hoy es que la línea de conducción construida, ha cumplido su vida útil, motivo por lo cual se pone en riesgo el abastecimiento de agua.

En relación a la problemática expuesta, el presente proyecto se ha planteado tomar en consideración el cumplimiento de la vida útil del material con el que está construido la línea de conducción actual para proceder a determinar un rediseño de la línea de conducción “Luz de América”.

Antecedentes

Las aguas subterráneas representan aproximadamente el 99% del agua dulce en estado líquido existente en el planeta Tierra, estas aguas constituyen alrededor de la mitad del volumen del recurso hídrico extraído, el cual es designado para el uso doméstico de la población, esto ofrece a las poblaciones, grandes oportunidades de obtener mejoras socioeconómicas y medioambientales (UNESCO, 2022).

Dentro de este marco, en América Latina y el Caribe se denota que aproximadamente el 30% de agua dulce extraída proviene de fuentes subterráneas o vertientes, no obstante, también existen otros tipos de sectores como el industrial que cubre hasta un 50% de su demanda del recurso hídrico con aguas subterráneas (Solís, 2023).

En este sentido según el PDYOT actualizado de 2020 a 2025 del GADMUR, manifiesta que el cantón se encuentra en una zona donde el abastecimiento de agua para el consumo humano es obtenido mediante la captación de vertientes o pozos profundos. De esta manera en el cantón Rumiñahui, “se comprende que los afloramientos de agua subterránea provienen de las vertientes y de los ríos principales: Pita, Sambache, Santa Clara, Tinajillas, San Pedro y Capelo” (GAD Municipal de Rumiñahui, 2020).

El Plan Maestro de Agua Potable y Alcantarillado de 2014, expone que las tuberías de asbesto cemento existentes en los sistemas y en las líneas de conducción que ya han cumplido su periodo de vida útil de más de 30 años, deben ser cambiadas porque estas pueden presentar fugas y la posible contaminación del agua (GAD Municipal de Rumiñahui, 2020).

Actualmente el PDYOT del GADMUR, menciona que 25 conducciones de asbesto cemento han cumplido con su vida útil, por ende, los encargados de administrar los sistemas de agua potable deberán considerar el cambio de cerca de 32,35 km de tubería, correspondientes a la mayoría de conducciones existentes en el cantón.

Planteamiento del problema

En cuanto a los recursos hídricos y su situación actual, en nuestro país amerita tomar acciones para su conservación e incentivar el buen uso de este recurso, ya que, debido al crecimiento poblacional y urbano, el agua es de vital importancia para dinamizar una buena calidad de vida en los asentamientos humanos de las ciudades.

Por consiguiente, se debe dotar del recurso hídrico a estas poblaciones, mediante un proceso que va desde la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución de agua potable, no obstante, además de ofrecer agua que cumpla con estándares de calidad, esta también debe ser proporcionada en la cantidad suficiente para garantizar el acceso continuo y prolongado de este recurso hídrico cuya presencia en el medio es esencial para el avance de estas poblaciones.

La línea de conducción Luz de América, lleva agua desde el barrio cuyo nombre es el mismo que el de la línea, hasta el tanque circular Cashapamba, esta a su vez atraviesa predios privados en donde el acceso a los mismos resulta difícil debido a la respuesta negativa por parte de los propietarios, esto dificulta que el personal municipal no pueda realizar tareas de mantenimiento preventivo en la conducción, adicional a ello, esta obra hidráulica está cumpliendo su vida útil, puesto que en la mayoría del trayecto el material de la conducción es de asbesto cemento y en pequeños tramos donde ha sufrido daños, el personal municipal manifestó que se han realizado cambios de la tubería antigua por tubería PVC, por tal motivo

estas variaciones de material provoca que se presenten fugas en la conducción debido a que no hay un empate hermético entre estos materiales.

Dentro de este marco, la evaluación de la situación actual de la línea de conducción permitirá obtener un criterio claro para realizar el rediseño y así efectuar el trazado, este deberá estar en lo posible en la vía pública, tratando de no invadir los predios privados con el esquema de la conducción, esto permitirá que los funcionarios del GAD de Rumiñahui encargados, tengan un fácil acceso para realizar tareas mantenimiento. Además de que se busca que el material de la nueva tubería a utilizarse sea mucho más amigable con la salud y bienestar de las personas.

De esta manera, el material considerado para la nueva línea de conducción será en lo posible PVC, puesto que, al tener un solo tipo de material en todo su trayecto, será menos probable que se presenten fugas y pérdidas de carga, y con ello se podrá garantizar calidad y cantidad del recurso hídrico.

Justificación e Importancia

La línea de conducción Luz de América posee un caudal de 10 L/s aproximadamente, por otro lado, la captación de agua se la hace por medio de vertientes, estas están ubicadas en la parte baja de la montaña, y el recurso hídrico obtenido será llevado hacia el tanque circular de almacenamiento Cashapamba por medio de tuberías de 200 mm de diámetro. De esta manera, todo el proceso de abastecimiento tiene que darse permanentemente sin que se presenten intermitencias o paralizaciones en la línea de conducción.

En función de lo planteado con este antecedente y las observaciones realizadas en campo, se puede denotar que específicamente en la captación se presenta un latente riesgo de deslizamientos de tierra lo cual puede derivar en la pérdida total de la obra hidráulica, ya que in situ se pudo observar indicios de antiguos deslizamientos en el talud de la montaña.

Con la propuesta del proyecto “Evaluación y Rediseño de la Línea de Conducción Luz de América del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha” se podrá garantizar la dotación adecuada del recurso hídrico, ya que, con el crecimiento poblacional y al aumento de urbanizaciones en estos sectores del cantón, la demanda de agua irá en aumento, por ende, los parámetros de Rediseño deben cumplir con todas las normas necesarias que garanticen la correcta funcionabilidad de esta obra hidráulica y que permita al GAD de Rumiñahui mejorar su gestión en pro de mejorar la calidad de vida de la población.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar las condiciones estructurales e hidráulicas en las que actualmente funciona la línea de conducción Luz de América del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha mediante la caracterización de la zona de estudio para establecer un rediseño óptimo de una línea de conducción, evitando en lo posible que ésta no atraviese por predios privados.

Objetivos Específicos

Realizar el reconocimiento del trayecto de la línea de conducción actual a través de la información existente, así como evaluar el estado de la infraestructura de la conducción para denotar el cumplimiento de la vida útil de los materiales utilizados en su construcción.

Efectuar un levantamiento de información topográfica de la línea de conducción y uso del suelo en la zona de estudio.

Rediseñar la línea de conducción cumpliendo los parámetros hidráulicos que se encuentran en la normativa técnica ecuatoriana mediante la utilización de software especializado.

Caracterizar el agua cruda que es transportada por la línea de conducción con el fin de identificar la calidad del agua que llega al tanque circular Cashapamba.

Elaborar planos y presupuesto de la línea de conducción con todos los entregables necesarios de acuerdo con la normativa ecuatoriana vigente para aprobación de estudios y diseños de línea de conducción.

Capítulo II

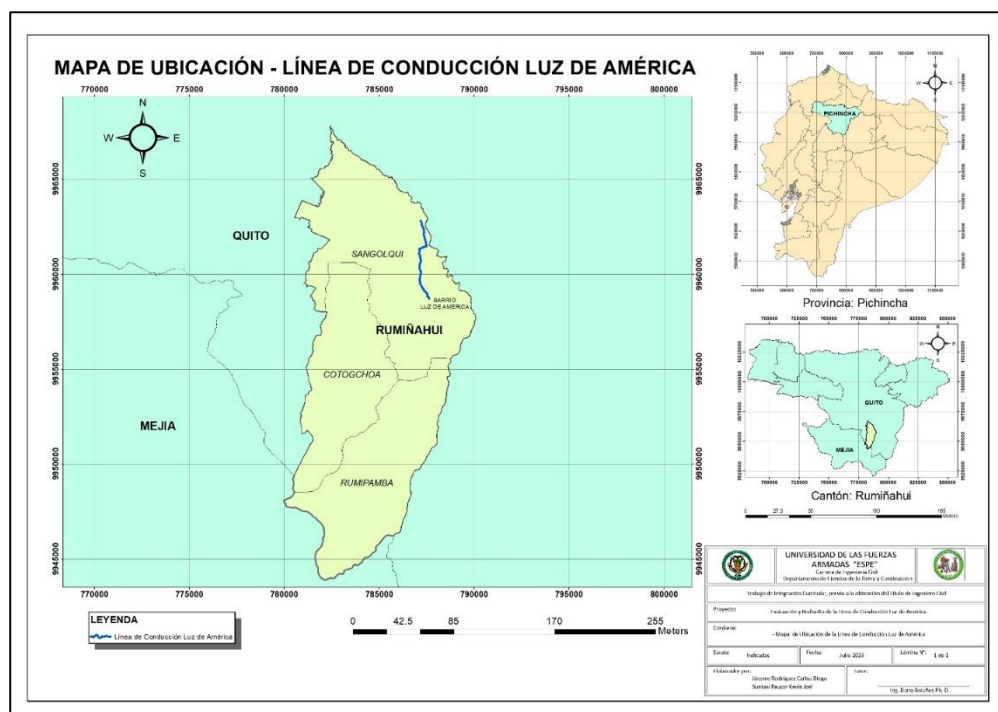
Materiales y Métodos

Ubicación Geográfica

El Cantón Rumiñahui se ubica en la provincia de Pichincha, es el corazón del Valle de los Chillos. Según la CONALI 2019, el cantón posee una extensión de 135,45 km² (13.545,16 ha). Se halla a una altitud de 2800 msnm y sus límites se encuentran al norte, con el Distrito Metropolitano del Cantón Quito, al sur, con el cantón Mejía, al este, con las parroquias rurales Alangasí y Pintag pertenecientes al DMQ y al oeste, colinda con las parroquias rurales del DMQ Amaguaña y Conocoto (GAD Municipal de Rumiñahui, 2020).

Figura 1

Mapa de Ubicación de la Línea de Conducción Luz de América.



Nota. La figura representa la ubicación geográfica de la Línea de Conducción Luz de América, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.

Relieve

En el ámbito morfológico el cantón Rumiñahui es muy variado, puesto que, en varias partes de su territorio se presentan relieves con pendientes pronunciadas, sin embargo, en la parte baja estas constituyen niveles casi planos a ondulados. Siendo así se denota que las laderas con más del 50% de pendiente están destinadas a la vocación forestal, en este contexto se entiende la importancia de este dato ya que este aspecto se lo considera cuando se realiza la zonificación del cantón y se plantean temas de realización de proyectos urbanísticos o productivos (GAD Municipal de Rumiñahui, 2020).

Levantamiento Topográfico

El levantamiento topográfico realizado en la línea de conducción Luz de América ubicada en el cantón Rumiñahui, se lo efectuó en base a la información proporcionada por parte de la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado (DAPA), en tal virtud, se pudo obtener las curvas de nivel del sector, así como también la planimetría aproximada de la línea de conducción.

Por otro lado, para el levantamiento de información de las elevaciones existentes en la línea de conducción, fue realizado en conjunto con personal del Municipio de Rumiñahui mediante la utilización de una estación total y la cuadrilla de equipo topográfico pertinente, sin embargo, cabe mencionar que en ciertas zonas, se pudieron hacer aproximaciones de la información ya que los propietarios de los predios privados, dieron respuesta negativa a la premisa de poder ingresar con el equipo topográfico para realizar el levantamiento de información respectivo.

Figura 2

Salida a campo



Nota: La figura indica una de las salidas a campo para realizar el levantamiento de altimetría de la línea de conducción.

Geología

Uno de los componentes principales es el contexto geológico, ya que este permite hacer alusión a la composición de las formas del relieve del cantón denotando el sustrato rocoso y las formaciones superficiales, por otro lado, en el cantón Rumiñahui existen denominaciones geológicas como la Volcánicos Sinchologua, Depósitos coluvio aluviales y Volcánico Pasochoa (GAD Municipal de Rumiñahui, 2020).

Figura 3*Litología del Cantón Rumiñahui.*

Formaciones geológicas y depósitos superficiales	
Denominación	Descripción
Formaciones geológicas	
Volcánicos Pasochoa	Andesitas y piroclastos.
Volcánicos Sincholagua	Lavas y piroclastos.
Formación Chiche	Microconglomerados con matriz limo arenosa, areniscas gruesas con intercalaciones de tobas.
Formación Cangahua	Tobas andesíticas de color café claro, ceniza y lapilli.
Depósitos superficiales	
Depósitos coluviales	Gravas, arcillas y bloques.
Depósitos coluvio aluviales	Limos, arenas de grano fino a grueso.
Depósitos fluvio lacustres	Intercalaciones de limos, arenas y arcillas.

Nota. Esta figura muestra la composición de litología del cantón Rumiñahui. Tomado de GAD Municipal de Rumiñahui, 2020.

Tabla 1*Denominación geológica de los suelos del Cantón Rumiñahui.*

Denominación geológica	Hectáreas ha.	Porcentaje %
Volcánicos Pasochoa	8,381	62,02
Depósitos coluvio aluviales	4,271	31,60
Volcánicos Sincholagua	860	6,36

Nota. La tabla muestra el porcentaje de litología del cantón Rumiñahui. Tomado de GAD Municipal de Rumiñahui, 2020.

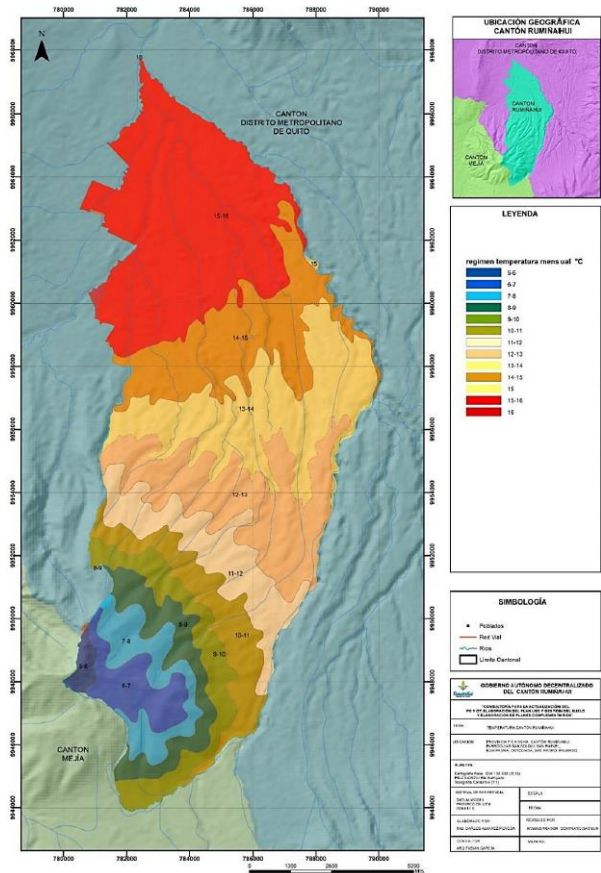
En este sentido se comprende que el suelo del cantón contiene en grande parte elementos Volcánicos Pasochoa, el cual, como se pudo observar en la figura 2, está formado por andesitas y piroclastos, provenientes de la actividad volcánica que tuvo lugar a lo largo de la historia de Rumiñahui.

Factores climáticos

Temperatura

En el cantón Rumiñahui la temperatura del aire es el factor más relevante del clima puesto que de éste depende el incremento, la productividad y el desarrollo de los cultivos agrícolas. Por otro lado, en las zonas con menor altitud la temperatura se halla aproximadamente entre los 15 y 16 °C y en las zonas con mayor altitud la temperatura varía entre los 5 y 6°C, dentro de este marco se puede denotar que en la zona de estudio donde se encuentra la actual línea de conducción, la temperatura varía entre los 13 y 16°C.

Figura 4
Temperatura del Cantón Rumiñahui



Nota. Mapa de temperatura. Tomado de GAD Municipal de Rumiñahui, 2020.

Humedad

En este aspecto el tipo de humedad que se considera es la humedad relativa puesto que éste es un elemento que establece el grado de saturación de la atmósfera, ya que es una correlación entre la fracción de vapor de agua en el aire y la fracción proporcional si el aire quedase saturado con relación al agua, a una temperatura y presión específicas. La medición de este parámetro está en porcentaje, y se entiende que mientras más alto sea el valor, este denotará mayor grado de saturación de vapor de agua en el ambiente.

Tabla 2

Humedad Relativa en la estación meteorológica de Izobamba.

Mes	Humedad Relativa (%)		
	Máxima	Mínima	Mensual
Enero	100	40	20
Febrero	100	57	16
Marzo	100	57	9
Abril	100	37	25
Mayo	100	54	25
Junio	96	43	22
Julio	100	40	28
Agosto	98	35	5
Septiembre	98	27	21
Octubre	99	38	7
Noviembre	99	47	10
Diciembre	99	48	29

Nota. Datos del Anuario Meteorológico tabulados sobre la humedad relativa. Tomado de INAMHI, 2017.

La estación meteorológica presentada, es la que abarca el sector de área de estudio en donde se desarrolla el proyecto de la línea de conducción, entonces en el contexto mostrado se puede tomar en consideración la estación meteorológica de Izobamba.

Factores Hídricos

El agua cruda captada para proveer del servicio de agua potable al Cantón Rumiñahui proviene en su mayor parte de vertientes o pozos profundos que existen dentro de su territorio y sus alrededores. Dentro de este contexto se puede denotar la relevancia de los acuíferos que existen a nivel continental, regional y nacional, ya que estos pueden hallarse a distintos niveles de profundidad.

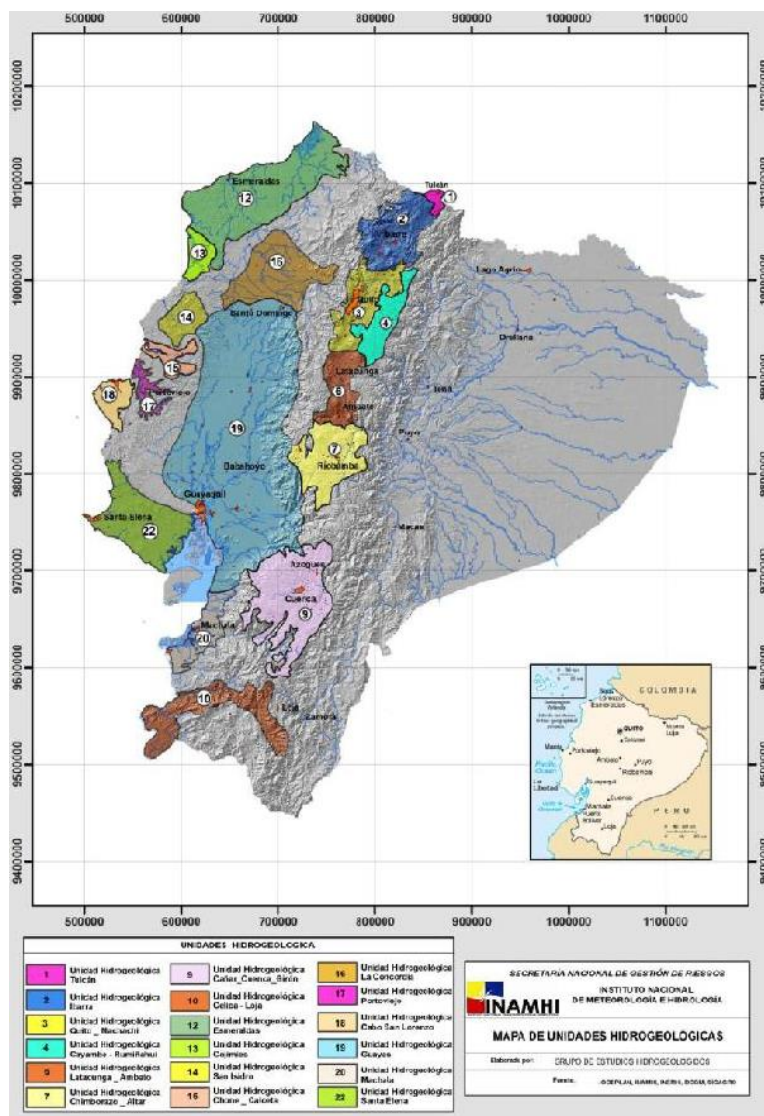
Acuíferos en Ecuador

En el territorio ecuatoriano existe una serie de abundantes fuentes de agua, ya que, se estima que en la época de invierno se hallan disponibles aproximadamente 430 000 Hm³ de agua. Dentro de este marco se expone en la siguiente figura un mapa Hidrogeológico en donde se dan a conocer los acuíferos con mayor extensión en el País.

En función de lo planteado, se denota que la zona de estudio donde se encuentra la línea de conducción se halla dentro del sistema acuífero de la unidad Hidrogeológica N° 4 correspondiente a Cayambe-Rumiñahui.

Figura 5

Mapa Hidrogeológico del Ecuador.



Nota. Sistemas Acuíferos en el territorio ecuatoriano. Tomado de INAMHI, 2015.

En tal virtud, el PDYOT del Municipio de Rumiñahui, nos manifiesta que el agua para consumo humano en el cantón es conseguida mediante la captación de aguas subterráneas, es decir, la captación se la realiza en vertientes o pozos profundos existentes en el cantón.

Línea de Conducción Actual

Para el presente proyecto se realizaron salidas de campo a fin de reconocer las características físicas, así como también las características hidráulicas que están presentes en la actual línea de conducción, para proceder a realizar una posterior evaluación de la estructura actual y determinar su funcionalidad en conjunto con el cumplimiento de vida útil que muestra la actual obra hidráulica. La línea de conducción actual aporta para la dotación de agua del Sistema Cashapamba, este caudal llega al tanque circular Cashapamba.

Captación

La captación de la conducción proviene de una vertiente de flujo vertical ubicada en el Barrio Luz de América, este sector se encuentra en el Instituto Agropecuario Superior Andino IASA perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, el Barrio Carlos Gavilanes y el Barrio San Fernando del Cantón Rumiñahui, según el PDYOT el caudal que aporta la línea de conducción es de 8,00 L/s.

Tabla 3

Ubicación de la Captación

Captación	Ubicación		Tipo	Caudal (L/s)	Observación
	E	N			
Luz de América	786942	9957173	Vertiente	8,00	Vertiente de flujo vertical

Nota. Se denota la coordenada georreferenciada donde se encuentra la captación de la línea de conducción Luz de América. Tomado de GAD Municipal de Rumiñahui, 2020.

En este contexto se realizaron visitas a campo para conocer el funcionamiento de la estructura de captación, siendo así se pudo visualizar que la obra para captar el agua de la vertiente de flujo vertical se encuentra al pie de una montaña, en un talud donde se denotan evidencia de que hubo deslizamientos de tierra.

Figura 6*Galería de captación*

Nota. En la figura se muestra la ubicación de la galería de captación con respecto al talud de la montaña.

En ese contexto se puede denotar que existe evidencia de deslizamiento en el talud de la montaña, siendo así la captación corre peligro de colapso, por otro lado, en la parte interna de la galería existen 2 tuberías que fueron insertas en la parte baja de la montaña con la finalidad de ayudar a la captación de agua.

Figura 7

Interior de la galería de captación



Nota. Se puede apreciar las tuberías PVC que conforman la estructura de captación.

El agua captada en esta estructura es llevada mediante una tubería hacia un primer tanque rompe presiones, esta tubería es una combinación de material PVC y de asbesto cemento en algunos tramos, en el trayecto de la tubería se denotan 8 pozos de revisión, los pozos poseen dimensiones iguales en su estructura.

Los pozos tienen la funcionalidad de ayudar a llevar el agua a través del pie del talud hacia el tanque rompe presiones, por la topografía del lugar, se entiende que en este contexto es difícil transportar el agua, en un solo tramo, desde la galería de captación hacia el primer tanque rompe presiones que se encuentra ubicado aproximadamente 20 metros debajo de la galería.

Pozos de revisión antes del primer tanque rompe presiones

Figura 8

Estructura de pozo



Nota. La imagen denota el tipo de pozo de revisión existente en el tramo desde la galería de captación hacia el primer tanque rompe presiones.

Los siete pozos de revisión restantes cumplen con la misma funcionalidad que el mostrado en la figura anterior, así como también similitud en sus dimensiones. En este contexto cabe mencionar que cada tanque cuenta con una tubería de entrada cuyo diámetro aproximado es de 160 mm por la variación de materiales PVC y asbesto cemento, una tubería de salida en las mismas condiciones que la de entrada por la variación del material, y una cama de agua que cuenta con aproximadamente 30 cm de altura en todos los tanques.

Figura 9*Parte interna del pozo de revisión*

Nota. La figura denota las tuberías de entrada y de salida.

A continuación, se presenta una tabla en donde se puede observar el número de pozos de revisión que existen desde la galería de captación, hasta llegar al primer tanque rompe presiones.

Tabla 4*Pozos de revisión*

N°	Tipo	Diámetro de tuberías (mm)	
		Entrada	Salida
1	Pozo circular	160	160
2	Pozo circular	160	160
3	Pozo circular	160	160
4	Pozo circular	160	160
5	Pozo circular	160	160
6	Pozo circular	160	160
7	Pozo circular	160	160

Nota. La tabla contiene los pozos de revisión.

Captaciones secundarias

En este ámbito, cabe mencionar que existen 2 galerías de captaciones de tipo secundarias cuyo caudal es relativamente pequeño, estas galerías posteriormente se unirán a un pozo rectangular en donde se unirá el caudal de las dos captaciones mencionadas para así posteriormente obtener una sola tubería que se unirá al primer tanque rompe presiones.

Figura 10

Captación secundaria



Nota. La figura denota un pozo rectangular tipo construido para captar el agua.

De esta manera, se observa que estas captaciones cuentan con tuberías de entrada y tuberías de salida de distintos diámetros, sin embargo, también se puede observar que con el paso de los años en las tuberías y en los pozos existe presencia de hierro y manganeso.

El personal municipal manifestó que, para la limpieza de los pozos, realizan una desafección del pozo de manera semanal, con pequeñas dosis de cloro, la orden para la cantidad de dosis de cloro establecida proviene del Departamento de Agua Potable y Alcantarillado.

Tabla 5*Captaciones Secundarias*

N°	Tipo	Diámetro de Tuberías (mm)			
		Cant	Entrada	Cant	Salida
1	Pozo Rectangular	2	60 90	1	90
2	Pozo Rectangular	2	90 90	1	90

Nota. La tabla denota las tuberías de las captaciones secundarias.

En este contexto se entiende que hay un pequeño caudal proveniente de las captaciones secundarias que aporta una cantidad mínima de agua a la línea de conducción.

Figura 11*Pozo de revisión rectangular*

Nota. La imagen presenta la unión de los caudales de las captaciones anteriores.

Dentro de este marco se da a conocer en la figura la llegada de dos tuberías PVC cuyos diámetros son 90mm y 40mm respectivamente y en el fondo se aprecia una tercera tubería de 90mm de diámetro la cual posteriormente se unirá al primer tanque rompe presiones.

Primer tanque rompe presiones

En la presente línea de conducción se presenta un primer tanque rompe presiones, en este tanque, llegan los caudales de la galería Luz de América, las captaciones secundarias y también existe una tubería que proviene de una derivación de la línea de conducción El Molinuco, la información de la derivación de la tubería fue proporcionada por el personal municipal.

Figura 12

Primer tanque rompe presión



Nota. La imagen muestra la forma del primer tanque rompe presiones

La tubería proveniente de la derivación antes mencionada que conecta con el tanque rompe presiones es de PVC, en donde el guarda tanques supo comentar que el diámetro de dicha tubería es de 110mm, a partir de este tanque, empieza el recorrido de la línea de conducción Luz de América, la tubería saliente es de asbesto cemento con un diámetro de 200mm aproximadamente.

Trayecto Actual

La actual línea de conducción tiene una longitud de 4,6 km aproximadamente, sin embargo, teniendo en cuenta que ésta se encuentra establecida sobre algunos predios privados, y que, el acceso a estos predios por donde pasa la conducción tiene restricciones de ingreso por parte de sus respectivos propietarios, cabe mencionar que, en estos sectores no se logró denotar todas las particularidades, no obstante, algunas partes del trayecto están ubicados sobre los caminos públicos que existen en el sector, De esta manera, en las salidas de campo, se pudo constatar parte de las peculiaridades de la línea de conducción.

En función de lo planteado, a lo largo del recorrido realizado, se consiguió observar obras de arte hidráulico como son los puentes canales, ya que, por temas de topografía el trazado actual atraviesa ríos y depresiones.

Figura 13

Primer puente canal



Nota. La figura expone la estructura del puente elaborado con acero de refuerzo.

El primer puente canal atraviesa la quebrada Santa Rosa, en lo cual se puede observar que la línea de conducción en este sector es propensa a sufrir empalizadas que pueden aparecer en temporadas lluviosas, por otro lado, el material de la tubería es de PVC.

Figura 14

Segundo Punte Canal



Nota. La imagen muestra la estructura de hormigón armado que sostiene al puente canal.

El segundo puente canal, esta sostenido sobre una estructura de hormigón, la cual presenta signos de deterioro por estar expuesto a la intemperie y por los años que han pasado desde su construcción.

Tabla 6

Ubicación de los Puentes Canales

Punte Canal	Coordenadas		Elevación (m)
	E	N	
1	787193,8969	9960093,6270	2608,793
2	787187,6818	9960704,8757	2587,121

Nota. La tabla muestra la ubicación georreferenciada de la obra de arte.

Segundo tanque rompe presiones

El tanque mencionado cumple con la función de romper la presión existente en la línea para que esta pueda retomar su trayecto con una nueva presión y llegar sin problemas a su punto final en el tanque circular de almacenamiento Cashapamba.

Figura 15

Segundo tanque rompe presión



Nota. La figura muestra la estructura del segundo tanque rompe presión.

La tubería que entra a este tanque es de 200mm y la de salida es del mismo diámetro mencionado en la de entrada, el material de llegada y de salida es de PVC.

Tabla 7

Ubicación de los tanques rompe presiones

Tanque rompe presión	Coordenadas		Elevación (m)
	E	N	
1	787574,0000	9958815,0000	2667,618
2	787114,0761	9961282,0117	2650,805

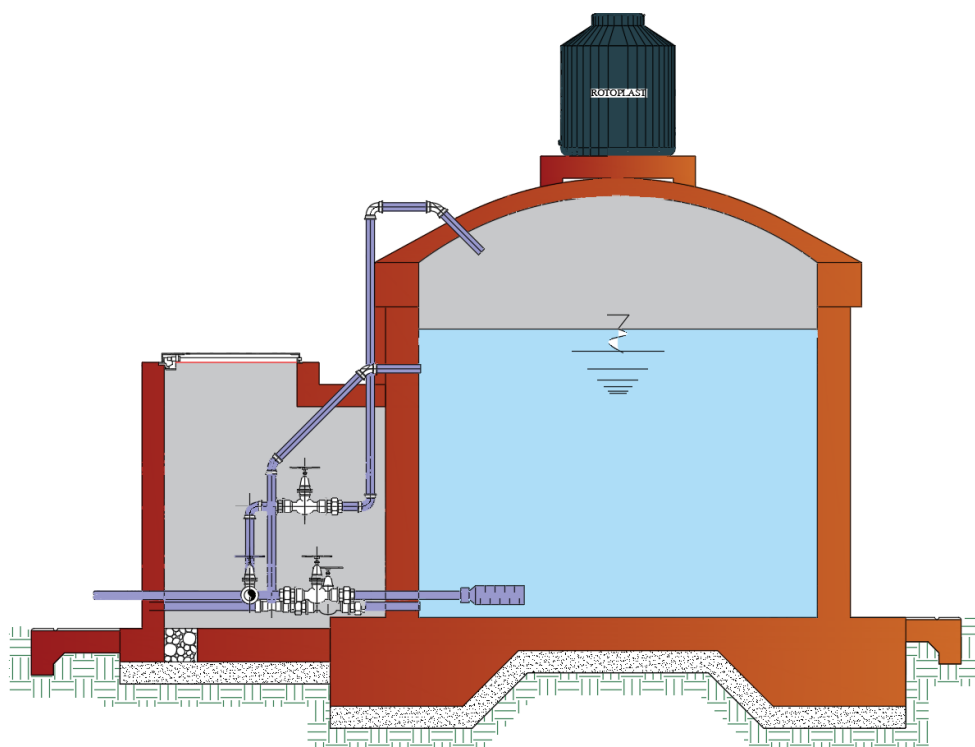
Nota. La tabla muestra las coordenadas georreferenciadas de los tanques.

Tanque de Almacenamiento

El punto de recepción del agua que conduce la línea es el tanque cilíndrico ubicado en el sector de Cashapamba con una capacidad de 10 m^3 mismo que es alimentado con un caudal aproximado de $8,67\text{ L/s}$. El material del cual está hecho el tanque es de hormigón el cual en la parte superior cuenta con un tanque de plástico donde se realiza una premezcla de agua y cloro para su posterior dosificación en el agua cruda que almacena el tanque, el agua dosificada es distribuida inmediatamente para el consumo humano. A continuación, se presenta el esquema del tanque de almacenamiento.

Figura 16

Esquema del tanque de almacenamiento



Nota. La imagen muestra la estructura del tanque de almacenamiento.

Características Hidráulicas de la línea de conducción

Válvulas de aire

Las válvulas de aire halladas en el recorrido de las líneas de conducción fueron cinco, estas cuentan con un diámetro determinado, estos detalles se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 8

Ubicación de las válvulas de aire

Válvula de aire	Coordenadas		Elevación (m)	Diámetro (mm)
	E	N		
1	787187,7517	9960133,7361	2618,372	12
2	787186,1086	9960704,8757	2587,121	25
3	787183,1985	9960722,1280	2584,903	12
4	787098,9480	9961342,9289	2647,715	12
5	787388,0903	9961449,0000	2639,758	12

Nota. La tabla muestra los diámetros existentes en las válvulas de aire.

Presiones

En la línea de conducción actualmente se pudo realizar la medición de presión en tres puntos, estos puntos de presión fueron medidos con la utilización de un manómetro cuya capacidad de resistencia en la presión es de 15 kg/cm², mediante la utilización de accesorios de tubería PVC se logró realiza el acoplamiento entre el manómetro y las válvulas.

Figura 17

Medición de presión



Nota. La figura presenta la toma de presión de la línea de conducción.

La medición de presiones, denoto que la conducción actual se encuentra dentro de los parámetros establecidos, ya que, la presión, no debe exceder los 70 metros de columna de agua. (SENAGUA, 1992).

A continuación, se muestra una tabla de los puntos en donde se realizaron la toma de presiones, así como también la presión obtenida en cada uno de ellos.

Tabla 9

Presiones en la actual línea de conducción

Punto	Coordenadas		Presión Obtenida en campo (kg/cm ²)	Presión en m.c.a.	Elevación (m)
	E	N			
1	787187,7517	9960133,7361	3,5	35	2618,372
2	787186,1086	9960704,8757	6,30	63	2587,121
3	787183,1985	9960722,1280	5,70	57	2584,903

Nota. La tabla muestra las presiones obtenidas en campo.

Válvula de compuerta

La válvula de tipo compuerta está situada en el predio privado perteneciente a la empresa Herdoiza Crespo, las coordenadas de ubicación son E 787482,5452; N 9961485,0813; esta información se la obtuvo de la DAPA del cantón Rumiñahui, ya que el ingreso al personal municipal y hacia nosotros como desarrolladores del presente trabajo, está restringido por parte de los propietarios de este predio.

Tipo de tubería

En este ámbito, por información otorgada por parte del personal municipal, se entiende que originalmente el material con el que fue construido la línea de conducción era de asbesto cemento, no obstante, con el pasar de los años, la exposición de la tubería a las condiciones climáticas del lugar, entre otros, han ido deteriorando el material con el que fue constituido inicialmente, es por ello, que en el transcurso de la vida útil de la conducción se han ido presentando fugas de agua producto de las circunstancias antes mencionadas.

Figura 18

Tramo de tubería expuesta a la intemperie



Nota. La figura muestra parte de tubería expuesta en PVC.

Cabe mencionar que el recorrido de la línea de conducción actual, se encontró evidencia de tuberías de asbesto-cemento que fueron cambiadas, ya que en ellas presuntamente se presentaron fugas de agua. El material utilizado para la reparación es PVC.

Figura 19

Tubería de asbesto-cemento



Nota. La imagen muestra un tramo de tubería reemplazada.

En este contexto se puede resumir que la línea de conducción está constituida por una combinación de materiales en asbesto cemento y PVC.

Relación de tuberías de asbesto – cemento y el agua

Hace algunos años, las tuberías que servían para el transporte de agua para consumo humano eran realizadas en su mayoría con material de asbesto cemento, este material con el paso de los años y el constante contacto con el agua, empieza a deteriorarse, por ende, las fibras del material mencionado empiezan a desprenderse y ser transportadas por el agua y sin un tratamiento posterior, estas pueden llegar a la población que consume el agua.

Dentro de este marco cabe mencionar que el asbesto es un material que puede causar enfermedades como el cáncer de pulmón, ovario y laringe, asbestosis y mesotelioma. Por otro lado, la OMS considera que la opción más viable para erradicar las enfermedades que se relacionan con el asbesto es, interrumpir el uso de las variedades de asbesto (Organización Mundial de la Salud, 2015).

Población Actual

En este aspecto la población actual fue obtenida con la ayuda de la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado (DAPA), puesto que, en los datos la población actual referidas en este departamento, se encuentra en 4128 habitantes.

Por otro lado, la población actual también puede ser obtenida mediante la utilización del caudal de abastecimiento de la línea de conducción, el cual es 8,67 L/s, este caudal fue otorgado por el DAPA del Municipio de Rumiñahui, en el cual, lo que se buscará es despejar la población asumiendo una dotación de habitante/litro/día específico.

Métodos de cálculo para la población futura

Dentro de este marco, la población futura se hallará mediante la aplicación de tres métodos, los cuales son: método aritmético, método geométrico y método mixto. Para efectos de diseño se tomará en consideración la cantidad de población del método que exponga el resultado mayor.

En cada método de análisis se utilizará un periodo de diseño, el cual se establecerá conforme al tipo de proyecto que se va desarrollando, por otro lado, el índice de crecimiento poblacional a utilizar es de 2,94% (INEC, 2015).

Método Aritmético

Para la utilización del método aritmético se utilizan tres variables, denotadas en la siguiente ecuación:

$$P_f = P_a(1 + i * n)$$

Donde:

P_f : Población futura (número de habitantes).

P_a : Población actual (número de habitantes).

n : periodo de diseño en años.

i : tasa de crecimiento poblacional.

Método Geométrico

En este método se utilizan las mismas variables que el anterior con una ligera variación en la ecuación para la determinación de la población futura que se muestra a continuación.

$$P_f = P_a(1 + i)^n$$

Donde:

P_f : Población futura (número de habitantes).

P_a : Población actual (número de habitantes).

n : periodo de diseño en años.

i : tasa de crecimiento poblacional.

Método Exponencial

Para la determinación de la población futura mediante el presente método, se realiza un promedio entre los métodos antes mencionados, siendo así la ecuación se muestra de la siguiente manera.

$$P_f = P_a \times e^{i \times n}$$

Donde:

P_f : Población futura (número de habitantes).

P_a : Población actual (número de habitantes).

n : periodo de diseño en años.

i : tasa de crecimiento poblacional.

Cálculo del caudal de diseño

Periodo de Diseño

El periodo de diseño se lo considera con la finalidad de que se pueda garantizar la eficiencia, de las obras realizadas durante un periodo de diseño en años, definido, es por ello que la SENAGUA, expone una serie de componentes de obras hidráulicas, cada una de ellas contiene un rango de vida útil.

El periodo de diseño será escogido dependiendo el componente y/o proyecto que se pretende realizar.

Tabla 10*Vida útil sugerida*

COMPONENTE	VIDA UTIL EN AÑOS
Diques grandes y túneles	50 – 100
Obras de captación	25 – 50
Pozos	10 – 25
Conducciones de hierro dúctil	40 – 50
Conduccion de asbesto cemento o PVC	20 – 40
Planta de tratamiento	30 – 40
Tanque de almacenamiento	30 – 40

Nota: La tabla contiene los rangos de vida útil sugeridos. SENAGUA, 1992

Dotación

Para este ámbito se realiza la selección del valor considerando, el número de habitantes y el clima dependiendo del sector, siendo así los valores de dotación se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 11*Dotaciones recomendadas*

Población (habitantes)	Clima	Dotación Media Futura (l/Hab/día)
Hasta 5000	Frio	120 – 150
	Templado	130 – 160
	Cálido	170 – 200
5000 a 50000	Frio	180 – 200
	Templado	190 – 220
	Cálido	200 – 230
Más de 50000	Frio	> 200
	Templado	> 220
	Cálido	>230

Nota. La tabla muestra los tipos de climas y sus respectivas dotaciones considerando el número de habitantes. Tomado de SENAGUA, 1992.

Caudal medio

Para el cálculo del caudal medio se propone la siguiente ecuación, en donde la unidad del caudal esta denotada en litros sobre segundo.

$$Q_m = \frac{\text{Población} \times \text{Dotación}}{86400}$$

Sin embargo, el caudal obtenido con la ecuación antes descrita, necesita de la multiplicación de coeficientes de mayoración para la consideración de las variaciones de consumo.

Caudal máximo diario

El caudal máximo diario consumido por la población se expresa de la siguiente manera considerando un factor K máximo por día.

$$Q_{max.día} = K_{max.día} \times Q_m$$

El coeficiente K tiene valores entre de 1,3-1,5, para la utilización de este factor se debe considerar basándose en estudios de sistemas existentes, y aplicarlo de manera análoga al proyecto en estudio (SENAGUA, 1992).

Caudal máximo horario

El caudal máximo diario, es el consumo de agua máximo por la población a una hora determinada, por ende, requiere de la aplicación de un coeficiente de variación.

$$Q_{max.hora} = K_{max.hora} \times Q_m$$

Al igual que en el coeficiente K del caudal máximo diario, los valores para el coeficiente K para caudal máximo horario, se deben aplicar de la misma manera análoga al proyecto de estudio, en este caso el valor del coeficiente K_{max.hora} varía entre 2 y 2,3 (SENAGUA, 1992).

Cálculo de velocidades y presiones

Las ecuaciones que se utilizarán para realizar los cálculos correspondientes para determinar la velocidad y presión existente en la línea de conducción actual son las siguientes.

- Ecuación de Bernoulli

Tomando en cuenta el teorema de Bernoulli, se manifieste que la siguiente ecuación, servirá para encontrar la presión hidráulica en la línea de conducción.

$$Z_A + \frac{P_A}{\gamma} + \frac{v_A^2}{2g} = Z_B + \frac{P_B}{\gamma} + \frac{v_B^2}{2g} + h$$

Donde:

Z_A : Cota en A.

Z_B : Cota en B.

P_A : Presión en A.

P_B : Presión en B.

v_A : Velocidad en A.

v_B : Velocidad en B.

g : gravedad.

h : pérdidas por accesorios.

γ : Densidad del agua.

- Número de Reynolds

Esta característica hidráulica se la toma en cuenta para considerar el tipo de flujo que se encuentra en la conducción.

$$R_e = \frac{VD}{\nu}$$

Donde:

V : Velocidad del fluido.

D : Diámetro interno de la tubería.

ν : Viscosidad cinemática del fluido.

- Ecuación de Hazen y Williams

Esta ecuación será utilizada ya que las tuberías existentes en la conducción superan los 50mm.

$$H_f = 10,674 \times \left[\frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} \times D^{4,871}} \right] \times L$$

Donde:

H_f : Pérdida de carga continua, en m.

Q : Caudal, en m³/s.

D : Diámetro interior, en m.

C : Coeficiente de Hazen Williams, adimensional (PVC y Acero150).

Calidad del Agua

Para conocer la calidad del agua que es transportada por la tubería de la conducción Luz de América, se plantea realizar un análisis fisicoquímico del agua, en donde los parámetros ensayados se comentan a continuación: turbidez, coliformes fecales, cobre, dureza total, nitritos, sulfatos y cloro libre residual.

Figura 20*Tanque circular Cashapamba*

Nota. La figura muestra el tanque de almacenamiento en donde se realizaron la toma de muestras del agua para su posterior análisis fisicoquímico.

Toma de muestras de agua

Las tomas de muestra de agua se las hizo en el tanque circular de almacenamiento Cashapamba, para ello se prepararon tres envases de plástico cuyos volúmenes fueron de 1 galón y 2 envases de 1 litro respectivamente, los parámetros antes mencionados fueron análisis en la Universidad Central del Ecuador en los laboratorios de la facultad de ciencias químicas.

Figura 21*Muestras de Agua*

Nota. La imagen denota las muestras que se analizaron en el laboratorio de la facultad de ciencias químicas de la Universidad Central del Ecuador.

En base a los detalles expuestos del proyecto en el presente capítulo, se pone en connotación que la investigación para el proyecto se desarrolla en el ámbito descriptivo, puesto que esto conlleva a realizar un análisis real de las condiciones, estructurales e hidráulicas en las que se encuentran todos los elementos que confirman la actual línea de conducción Luz de América.

Capítulo III

Resultados y Discusión

Análisis de la actual Línea de Conducción, Luz de América

En el presente apartado, se evaluará la actual Línea de Conducción, con ello, se considerarán los parámetros descritos en el capítulo anterior, comenzando por la determinación de las cotas, de los nudos existentes en la conducción, así como también el análisis físico químico del agua.

Dentro de este marco, también se plantea valorar las estructuras existentes que conforman la línea de conducción, puesto que, el personal municipal manifestó que esta construcción tiene aproximadamente 30 años de antigüedad, es prescindible hacer la valoración de ello.

Con las características mencionadas, se plantea establecer las posibles causas de falencias hidráulicas que se presentan en la conducción actual, así como también, la determinación de los problemas de salud que podrían afectar a los usuarios del agua que es transportada por la línea.

Cota de los nudos

Para poder observar la altimetría de la actual línea de conducción, se realizó mediante el procesamiento de la topografía, los datos obtenidos, fueron proporcionados por el GAD Municipal de Rumiñahui, no obstante, también hubo acompañamiento por nuestra parte, en las salidas de campo para ayudar con el levantamiento topográfico.

Por otro lado, las elevaciones que se presentan en los nudos tienen una diferencia entre 1,50m y 1,70m, estos valores pertenecen a la profundidad a la que se encuentra enterrada la tubería de la línea de conducción en casi todo su trayecto.

Análisis poblacional

La población actual con la que se desarrolla el proyecto corresponde a datos otorgados por el DAPA de Rumiñahui, la población actual, en el año 2023 es de 4509 habitantes, aplicando los métodos antes mencionados para hallar la población futura se denota que el método exponencial es el que arroja mayor número de habitantes.

$$P_f = P_a \times e^{i \times n}$$

Donde:

P_f : Población futura (número de habitantes).

P_a : Población actual (número de habitantes).

n : periodo de diseño en años.

i : tasa de crecimiento poblacional.

Reemplazando los datos, se denotan las siguientes operaciones, considerando la tasa de crecimiento poblacional de: 2,94% y considerando un periodo de diseño de 20 años ya que, para las obras de esta índole, la SENAGUA plantea el periodo antes comentado.

$$P_f = 4509 \times e^{0,0294 \times 20}$$

$$P_f = 8117 \text{ habitantes.}$$

Para el año 2043, resolviendo lo siguiente, se denota, que la población futura será de 8117 habitantes, los cuales se abastecerán de líquido vital.

Cálculo de caudales, velocidades y presiones para la Evaluación

Haciendo referencia al apartado de análisis poblacional, se procede a realizar el cálculo de los parámetros hidráulicos que se encuentran en la línea de conducción actual.

Tabla 12

Tabla de cálculo

TABLA DE CÁLCULO PARA LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN CON UN DIÁMETRO ESTABLECIDO					
Localidad:	Barrio Luz de América		Proyecto:	Evaluación y rediseño de la línea de conducción luz de américa	
Cantón:	Rumiñahui		Sistema:	Por gravedad	
Provincia:	Pichincha				
Población última GAD (2020)	4128	Hab.	Tipo de material de la tubería	Asbesto Cemento	
Población actual (2023)	4509	Hab.	Rugosidad de la tubería	0,002	mm
Población de proyecto (2043)	8117	Hab.	Gasto medio diario	8,67	L/seg
Periodo de diseño	20	años	Gasto máximo diario	14,53	L/seg
Dotación	180	L/Hab/día	Gasto máximo horario	22,36	L/seg
Coefficiente de variación diaria			Diámetro nominal tubería	8	Plg
Coefficiente de variación horaria			Diámetro interior tubería	0,2	m
Longitud de la línea (l)	4620,00	m	Número de Reynolds (re)	49927,58	
Cota topográfica en la captación	2710,83	m.s.n.m.	Viscosidad cinemática (H2O)	0,0000011	m ² /s
Cota topográfica en el tanque	2616,00	m.s.n.m.	Perdidas por fricción tubería	1,70	m
Altura del tanque	5,00	m	Colebrook (f)	0,019	
Desnivel topográfico (h)	94,83	m	Velocidad	0,27	m/seg

Nota. La tabla muestra los datos para hallar las cotas piezométricas.

Con los datos presentados en la Tabla 12, se procede a realizar el cálculo, para determinar las cotas piezométricas, esto sirve para poder establecer las características de presión y velocidad que existen en la actual línea de conducción.

Los planos de la actual línea de conducción se encuentran en (Apéndice A).

Tabla 13

Cotas piezométricas

Nodo	Tramo	Longitud (m)	Abscisa (m)	Material	Diámetro		F	Caudal (m ³ /s)	Hf (m)	Pendiente (s)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Cota (msnm)		Carga disponible (m.c.a)
					φ 8,00 plg								T. N	Piezométrica	
					Nominal (m)	Interior (m)									
1	-	-	0+000.00	A.C	-	-	-	-	-	-	-	-	2709,51	2709,51	0,00
2	CPT - 2	41,09	0+031.90	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,81	0,03	0,27	2682,20	2709,50	27,30
3	2 - 3	25,10	0+055.81	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,35	0,03	0,27	2673,72	2709,49	35,77
4	3 - 4	23,12	0+079.86	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,06	0,03	0,27	2675,14	2709,48	34,34
5	4 - 5	27,71	0+108.04	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,16	0,03	0,27	2670,54	2709,47	38,93
6	5 - 6	15,44	0+123.04	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,31	0,03	0,27	2666,01	2709,47	43,46
7	6 - 7	22,72	0+145.03	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,30	0,03	0,27	2659,41	2709,46	50,05
8	7 - 8	34,85	0+180.02	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,08	0,03	0,27	2656,95	2709,45	52,49
9	8 - 9	29,76	0+210.02	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,04	0,03	0,27	2655,75	2709,43	53,68
10	9 - 10	34,76	0+245.02	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,03	0,03	0,27	2656,92	2709,42	52,51
11	10 - 11	43,72	0+288.96	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,04	0,03	0,27	2655,24	2709,41	54,17
12	11 - 12	45,09	0+334.78	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,11	0,03	0,27	2650,36	2709,39	59,03
13	12 - 13	99,78	0+435.02	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,04	0,00	0,03	0,27	2650,08	2709,35	59,27
14	13 - 14	34,15	0+468.72	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,17	0,03	0,27	2655,98	2709,34	53,37
15	14 - 15	34,82	0+503.60	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,11	0,03	0,27	2652,28	2709,33	57,05
16	15 - 16	31,74	0+535.60	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,27	2652,05	2709,32	57,27
17	16 - 17	29,77	0+565.60	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,04	0,03	0,27	2650,76	2709,31	58,55
18	17 - 18	29,64	0+595.46	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,05	0,03	0,27	2649,35	2709,30	59,95
19	18 - 19	29,78	0+625.49	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,27	2649,84	2709,29	59,44
20	19 - 20	49,78	0+675.00	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,05	0,03	0,27	2647,57	2709,27	61,70
21	20 - 21	29,64	0+705.35	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,04	0,03	0,27	2646,41	2709,26	62,85
22	21 - 22	36,32	0+741.87	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,06	0,03	0,27	2644,19	2709,24	65,05

Nodo	Tramo	Longitud (m)	Abscisa (m)	Material	Diámetro		F	Caudal (m³/s)	Hf (m)	Pendiente (s)	Área (m²)	Velocidad (m/s)	Cota (msnm)		Carga disponible (m.c.a)
					φ 8,00 plg								T. N	Piezométrica	
					Nominal (m)	Interior (m)									
23	22 - 23	37,35	0+780.20	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,27	2643,77	2709,23	65,46
24	23 - 24	29,81	0+810.20	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,07	0,03	0,27	2641,67	2709,22	67,55
25	24 - 25	49,75	0+860.24	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,27	2640,88	2709,20	68,33
26	25 - 26	49,12	0+909.57	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,27	2640,00	2709,18	69,18
27	26 - 27	34,77	0+944.57	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,04	0,03	0,27	2638,74	2709,17	70,43
28	27 - 28	30,08	0+974.68	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,12	0,03	0,27	2635,03	2709,16	74,13
29	28 - 29	32,48	1+007.29	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,09	0,03	0,27	2632,11	2709,15	77,04
30	29 - 30	38,96	1+047.23	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,27	2632,52	2709,14	76,62
31	30 - 31	44,58	1+092.57	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,10	0,03	0,27	2627,95	2709,12	81,17
32	31 - 32	49,76	1+142.58	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,27	2628,98	2709,10	80,12
33	32 - 33	29,74	1+172.58	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,27	2628,48	2709,09	80,61
34	33 - 34	49,77	1+222.57	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,04	0,03	0,27	2626,64	2709,07	82,43
35	34 - 35	99,76	1+325.00	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,04	0,02	0,03	0,27	2625,10	2709,04	83,93
36	35 - 36	49,15	1+371.96	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,27	2623,49	2709,02	85,53
37	36 - 37	50,15	1+422.15	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,09	0,03	0,27	2628,24	2709,00	80,76
38	37 - 38	51,86	1+472.42	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,29	0,03	0,27	2642,95	2708,98	66,04
39	38 - 39	54,44	1+523.69	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,36	0,03	0,27	2624,64	2708,96	84,32
40	39 - 40	50,43	1+573.46	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,19	0,03	0,27	2614,90	2708,95	94,05
41	40 - 41	43,70	1+618.13	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,27	2614,73	2708,93	94,20
42	41 - 42	50,10	1+668.35	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,27	2615,55	2708,91	93,36
43	42 - 43	50,02	1+718.64	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,07	0,03	0,27	2612,12	2708,89	96,77
44	43 - 44	50,25	1+768.74	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,14	0,03	0,27	2619,27	2708,88	89,60
45	44 - 45	49,83	1+818.38	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,13	0,03	0,27	2612,88	2708,86	95,98
46	45 - 46	39,80	1+858.42	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,06	0,03	0,27	2610,65	2708,84	98,20
47	46 - 47	41,45	1+900.02	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,27	2611,02	2708,83	97,81
48	47 - 48	44,93	1+945.02	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,09	0,03	0,27	2606,87	2708,81	101,95

Nodo	Tramo	Longitud (m)	Abscisa (m)	Material	Diámetro		F	Caudal (m ³ /s)	Hf (m)	Pendiente (s)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Cota (msnm)		Carga disponible (m.c.a)
					φ 8,00 plg								T. N	Piezométrica	
					Nominal (m)	Interior (m)									
49	48 - 49	39,79	1+984.98	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,07	0,03	0,27	2609,57	2708,80	99,22
50	49 - 50	49,74	2+034.94	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,27	2609,00	2708,78	99,78
51	50 - 51	45,28	2+079.98	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,16	0,03	0,27	2601,98	2708,76	106,79
52	51 - 52	49,97	2+130.00	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,10	0,03	0,27	2597,16	2708,75	111,58
53	52 - 53	35,75	2+164.96	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,24	0,03	0,27	2588,60	2708,73	120,13
54	53 - 54	34,36	2+199.52	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,05	0,03	0,27	2586,69	2708,72	122,03
55	54 - 55	49,56	2+249.86	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,09	0,03	0,27	2582,11	2708,70	126,59
56	55 - 56	49,98	2+299.64	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,14	0,03	0,27	2588,89	2708,68	119,79
57	56 - 57	50,25	2+349.66	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,14	0,03	0,27	2596,07	2708,67	112,60
58	57 - 58	30,06	2+379.48	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,23	0,03	0,27	2602,76	2708,66	105,89
59	58 - 59	35,12	2+414.20	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,15	0,03	0,27	2607,93	2708,64	100,71
60	59 - 60	24,48	2+438.82	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,10	0,03	0,27	2610,46	2708,63	98,18
61	60 - 61	11,46	2+451.15	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,00	0,14	0,03	0,27	2612,10	2708,63	96,53
62	61 - 62	14,79	2+466.15	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,09	0,03	0,27	2613,38	2708,63	95,25
63	62 - 63	16,79	2+483.14	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,07	0,03	0,27	2614,64	2708,62	93,98
64	63 - 64	17,87	2+501.14	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,12	0,03	0,27	2616,78	2708,61	91,83
65	64 - 65	35,12	2+536.38	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,15	0,03	0,27	2621,94	2708,60	86,66
66	65 - 66	50,21	2+586.42	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,09	0,03	0,27	2626,26	2708,58	82,32
67	66 - 67	50,48	2+636.52	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,16	0,03	0,27	2634,34	2708,56	74,23
68	67 - 68	30,16	2+666.52	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,17	0,03	0,27	2639,35	2708,55	69,20
69	68 - 69	50,07	2+716.65	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,11	0,03	0,27	2645,08	2708,53	63,46
70	69 - 70	29,83	2+746.55	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,06	0,03	0,27	2646,74	2708,52	61,79
71	70 - 71	49,84	2+796.55	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,06	0,03	0,27	2649,94	2708,51	58,56
72	71 - 72	49,76	2+846.66	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,27	2648,67	2708,49	59,81
73	72 - 73	42,84	2+889.59	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,05	0,03	0,27	2646,26	2708,47	62,21
74	73 - 74	44,37	2+934.85	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,27	2645,03	2708,46	63,42

Nodo	Tramo	Longitud (m)	Abscisa (m)	Material	Diámetro		F	Caudal (m ³ /s)	Hf (m)	Pendiente (s)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Cota (msnm)		Carga disponible (m.c.a)
					φ 8,00 plg								T. N	Piezométrica	
					Nominal (m)	Interior (m)									
75	74 - 75	44,67	2+979.67	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,27	2644,09	2708,44	64,35
76	75 - 76	49,87	3+029.93	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,07	0,03	0,27	2640,47	2708,42	67,95
77	76 - 77	44,51	3+074.34	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,11	0,03	0,27	2635,50	2708,41	72,91
78	77 - 78	29,80	3+104.16	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,06	0,03	0,27	2633,66	2708,40	74,74
79	78 - 79	19,36	3+123.78	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,00	0,03	0,27	2633,61	2708,39	74,78
80	79 - 80	15,46	3+140.16	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,09	0,03	0,27	2635,13	2708,38	73,25
81	80 - 81	29,90	3+170.15	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,10	0,03	0,27	2638,25	2708,37	70,13
82	81 - 82	49,80	3+220.15	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,05	0,03	0,27	2635,81	2708,36	72,55
83	82 - 83	45,28	3+265.15	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,16	0,03	0,27	2628,79	2708,34	79,55
84	83 - 84	44,62	3+309.76	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,11	0,03	0,27	2623,84	2708,32	84,48
85	84 - 85	27,01	3+337.71	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,06	0,03	0,27	2625,42	2708,31	82,89
86	85 - 86	49,35	3+388.04	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,00	0,03	0,27	2625,59	2708,30	82,71
87	86 - 87	204,82	3+593.16	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,07	0,02	0,03	0,27	2620,52	2708,22	87,70
88	87 - 88	49,37	3+642.80	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,00	0,03	0,27	2620,42	2708,20	87,78
89	88 - 89	49,78	3+692.80	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,04	0,03	0,27	2622,38	2708,19	85,80
90	89 - 90	50,02	3+742.80	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,10	0,03	0,27	2617,49	2708,17	90,68
91	90 - 91	49,74	3+792.80	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,00	0,03	0,27	2617,36	2708,15	90,79
92	91 - 92	49,76	3+842.80	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,27	2618,76	2708,13	89,38
93	92 - 93	49,41	3+892.50	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,27	2619,11	2708,11	89,00
94	93 - 94	34,95	3+927.58	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,27	2618,49	2708,10	89,61
95	94 - 95	49,74	3+977.58	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,27	2617,95	2708,08	90,14
96	95 - 96	49,76	4+027.78	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,27	2616,47	2708,07	91,60
97	96 - 97	49,09	4+076.87	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,05	0,03	0,27	2614,00	2708,05	94,05
98	97 - 98	54,75	4+132.00	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,27	2614,95	2708,03	93,08
99	98 - 99	49,74	4+181.87	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,00	0,03	0,27	2615,18	2708,01	92,84

Nodo	Tramo	Longitud (m)	Abscisa (m)	Material	Diámetro		F	Caudal (m ³ /s)	Hf (m)	Pendiente (s)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Cota (msnm)		Carga disponible (m.c.a)
					φ 8,00 plg								T. N	Piezométrica	
					Nominal (m)	Interior (m)									
100	99 - 100	49,76	4+232.00	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,27	2616,70	2707,99	91,29
101	100 - 101	49,53	4+281.72	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,27	2616,22	2707,98	91,75
102	101 - 102	29,74	4+311.65	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,27	2616,51	2707,96	91,45
103	102 - 103	49,74	4+361.65	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,27	2615,97	2707,95	91,97
104	103 - 104	49,74	4+411.82	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,00	0,03	0,27	2615,95	2707,93	91,98
105	104 - 105	29,44	4+441.34	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,27	2615,80	2707,92	92,12
106	105 - 106	49,76	4+491.35	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,27	2616,20	2707,90	91,70
107	106 - 107	34,74	4+526.35	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,27	2615,95	2707,89	91,93
108	107 - 108	29,74	4+556.35	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,00	0,03	0,27	2615,90	2707,88	91,98
109	109 - 110	99,75	4+656.34	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,04	0,02	0,03	0,27	2613,97	2707,84	93,87
110	110 - 111	31,36	4+687.95	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,01	0,03	0,03	0,27	2614,93	2707,83	92,90
111	111 - TQ. R	11,48	4+700.00	A.C	0,20	0,20	0,02	0,01	0,00	0,00	0,03	0,27	2614,66	2707,83	93,16

Nota. La presente tabla muestra la carga disponible en cada nodo.

Evaluación de la Línea de Conducción Actual

La evaluación actual de la Línea de Conducción “Luz de América”, fue realizado considerando que el agua se encuentra en periodo estático, buscando denotar las condiciones hidráulicas más críticas existentes en la conducción.

Los parámetros de evaluación se basan en las presiones existentes en la conducción, así como también el tipo de material de las tuberías, y las estructuras de obras de arte hidráulicas que conforman la conducción.

Evaluación de Velocidades

Las velocidades calculadas en la actual Línea de Conducción “Luz de América”, se encuentran detalladas en la Tabla 11, la velocidad que se encuentra en la conducción es de 0,27 m/s, siendo así, podemos considerar que son velocidades relativamente bajas.

Evaluación de Presiones

En este apartado, observando la Tabla 11, el rango de presiones varía entre 27,29 y 126,39 m.c.a, la máxima presión estática en la tubería es de 126,59 m.c.a, con ello se puede denotar que existen presiones altas, que sobre pasan los 70 m.c.a.

Evaluación de Infraestructura

Como se pudo observar en el capítulo anterior, la línea de conducción actual, cuenta con estructuras que conforman la conducción, estas estructuras con el paso de los años han ido deteriorándose, así como también el material de las tuberías se ha ido estropeando, es por ello que los puentes canales referidos en la Figura 13 y Figura 14, presentan problemas en su estructura ya que, al estar la estructura en contacto constante con el agua y la humedad presente en el ambiente, han ido oxidando el acero de refuerzo que se encuentra en la construcción.

Con base a lo comentado en el presente apartado se puede concluir que:

- Al analizar la Tabla 12, en el cual se manifiesta las presiones existentes en la tubería, la mayoría de presiones en los nudos, sobre pasan el límite máximo admisible.
- Las obras de arte que conforman la línea de conducción han cumplido su vida útil, es por ello que, estas pueden empezar a fallar, derivando en un colapso de la estructura, lo cual dejaría sin abastecimiento de agua a la población.
- El material de la línea de conducción es casi en su totalidad de asbesto - cemento, este material, al deteriorarse presenta un peligro inminente para la población que consume el agua transportada por estas tuberías.

Análisis físico-químico del agua

El personal Municipal del GAD de Rumiñahui, manifestó que el agua transportada por la línea de conducción tiene un porcentaje de cloro residual, ya que, en las captaciones secundarias, por temas de limpieza la DAPA de Rumiñahui, ha dispuesto que los guarda tanques, se encarguen de clorar estas captaciones con dosificaciones especificadas por la DAPA.

Dentro de este marco, también se tuvo conocimiento que el agua que llega al tanque circular del Sistema Cashapamba 1, tiene una constante cloración antes de que esta sea repartida hacia los usuarios del sistema.

Por otro lado, para el cumplimiento de calidad del agua se analizaron varios parámetros que cumplan con lo impuesto en la norma INEN 1108, ya que esta manifiesta los rangos en los que se deben encontrar los distintos parámetros.

Resultados del análisis de las muestras

Como se manifestó en el capítulo anterior, análisis físico-químico del agua, es de vital importancia para conocer la calidad del agua que está siendo otorgada a los usuarios, es por ello, los parámetros que se analizaron fueron: turbidez, coliformes fecales, cobre, dureza total, nitritos, sulfatos y cloro libre residual.

Tabla 14

Resultados del análisis físico químico y calidad del agua

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO / TÉCNICA	RESULTADO	INCERTIDUMBRE $\pm(k=2)$	Limite Max. Permisible	DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD
Turbidez	NTU	Nefelometría	0,0	-	5	Cumple
Índice de coliformes Fecales	NMP/10 OMI	Número Más Probable, NMP	0,0	-	Ausencia	Cumple
Cloro libre residual	mg/L	Espectrofotometría UV-VIS	0,284	0,01 mg/L	0,3 a 1,5	No cumple
Cobre	mg/L	Espectroscopía de absorción atómica	0,017	-	2,0	Cumple
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	Volumetría	70,8	1,7 mg/L	No aplica	No aplica
Nitritos	mg/L	Espectrofotometría UV-VIS	0,001	-	3,0	Cumple
Sulfatos	mg/L	Espectroscopía UV VIS	4,287	-	No aplica	No aplica

Nota. La tabla presenta el resultado del análisis físico-químico del agua.

Como se puede observar en la tabla, el agua que transporta la conducción, en el parámetro de dureza total contiene un resultado de 70,8 mg/L, aparentemente el agua es medianamente dura, ya que según la Organización Mundial de la Salud (OMS), expone que el agua blanda tiene concentraciones inferiores a 60 mg/L de carbonato de calcio, por otro lado, el agua que contenga concentraciones que se encuentran entre 61 y 120 mg/L de carbonato de calcio es considerará agua medianamente dura (Rodríguez, 2009)

Dentro de este marco el valor de cloro libre residual es de 0,284 mg/L, denotando que está por debajo de los valores entre 0,3 y 1,5 mg/L manifestado en la Norma NTE INEN 1108 (INEN, 2011)

Después de considerar cuidadosamente los diversos aspectos relacionados con la sustitución del asbesto cemento por tuberías de PVC en una línea de conducción de agua potable, podemos llegar a la certeza de que este cambio es altamente beneficioso y necesario. A continuación, se presentan las razones principales:

- Salud pública y seguridad: El asbesto es un material conocido por sus efectos nocivos para la salud humana, especialmente cuando sus fibras se liberan al medio ambiente. Al reemplazar el asbesto cemento por tuberías de PVC, reducimos significativamente el riesgo de exposición a estas fibras dañinas, salvaguardando la salud de la población en general.
- Calidad del agua: El PVC es un material no poroso y resistente a la corrosión, lo que impide la formación de sedimentos y la degradación de la calidad del agua durante el transporte. Esto garantiza un suministro de agua potable más limpio y seguro para la población, evitando contaminaciones y manteniendo altos estándares de calidad.
- Durabilidad y vida útil: Las tuberías de PVC son altamente duraderas y tienen una vida útil prolongada. Comparado con el asbesto cemento, que puede desgastarse aceleradamente y requerir reparaciones frecuentes o reemplazos costosos, el PVC es más resistente al desgaste y a los agentes químicos presentes en el agua potable. Esto resulta en un sistema de abastecimiento de agua más confiable y de bajo mantenimiento a largo plazo.

- Sostenibilidad y medio ambiente: El PVC es un material reciclable, lo que implica una menor huella ambiental en comparación con el asbesto cemento. Además, el proceso de producción del PVC tiende a generar menos emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con la producción de cemento. Al optar por el PVC, contribuimos a la conservación del medio ambiente y promovemos prácticas más sostenibles en la gestión del agua potable.

En resumen, el cambio de tuberías de asbesto cemento a PVC en una línea de conducción de agua potable ofrece beneficios significativos en términos de salud pública, calidad del agua, durabilidad, sostenibilidad y protección del medio ambiente. Esta transición representa una medida responsable y necesaria para garantizar un suministro de agua potable seguro y confiable para las generaciones presentes y futuras.

- Como se puede observar en el presente capítulo, la línea de conducción actual cuenta con un trayecto, que presenta deficiencias hidráulicas, ya que esta atraviesa terrenos con una topografía que tiene pendientes que sobre pasan taludes del 70%.
- Por otro lado, la conducción atraviesa por predios privados, dentro de este contexto, la DAPA del Municipio de Rumiñahui, ha manifestado que, necesita retirar las tuberías de los predios privados, ya que los propietarios han manifestado que no desean tener tuberías que se encuentren dentro de sus predios.

Considerando estos aspectos y, también tomando lo manifestado por el GAD Municipal de Rumiñahui, se plantea realizar el rediseño de la Línea de conducción “Luz de América”, el cual deberá en lo posible evitar atravesar predios privadas, así como también mantener las características hidráulicas viables para un correcto funcionamiento de la línea de conducción.

Rediseño de la Línea de conducción “Luz de América”

Como se expone en el desarrollo del presente trabajo, la actual línea de conducción, transporta un caudal justo para los habitantes que se abastecen del agua que llega al tanque circular Cashapamba, sin embargo, considerando el crecimiento poblacional en el sector, existirá un aumento de la demanda de agua, así como también los trabajos de repotenciación.

Dentro de este marco, para realizar el rediseño de la conducción, se emplea el software EPANET, el programa mencionado será de utilidad para efectuar comprobaciones de parámetros hidráulicos como velocidad y presión.

Diseño de la línea de conducción

El presente rediseño de la línea de conducción, se considera en lo posible, los siguientes aspectos:

- Realizar el trazado del rediseño, buscando que este en lo posible, no invada los predios privados existentes en el sector, esto será posible siempre y cuando los parámetros hidráulicos como velocidad y presión se encuentren dentro de los rangos de la norma y la resistencia de los materiales de las tuberías, caso contrario el trazado podría invadir algún predio.
- Reemplazar las tuberías de asbesto cemento y los diámetros de las mismas, por tuberías de PVC, las cuales están fundamentadas en un diseño hidráulico.

Caudal de Diseño para el Rediseño de la Línea de Conducción

Tomando en cuenta lo comentado en el apartado de análisis poblacional se determina que la población futura hasta el año 2043 es de 8117 habitantes, siendo así el rediseño va encaminado con un periodo de diseño de 20 años, fundamentado en lo expuesto por la SENAGUA.

Para determinar el caudal de diseño se procede a aplicar las ecuaciones expuestas en el capítulo anterior, en el apartado de caudal de diseño.

- Caudal medio: Se considera la población de 8117, con una dotación de 180 L/Hab/día.

$$Q_m = \frac{\text{Población} \times \text{Dotación}}{86400}$$

$$Q_m = \frac{8117 \times 180}{86400}$$

$$Q_m = 16,91 \text{ l/s}$$

- Caudal máximo diario: para el coeficiente K máximo diario, se toma en cuenta el valor de 1,3.

$$Q_{\text{max.día}} = K_{\text{max.día}} \times Q_m$$

$$Q_{\text{max.día}} = 1,3 \times 16,91$$

$$Q_{\text{max.día}} = 21,98 \text{ l/s}$$

- Caudal máximo horario: para el coeficiente K máximo horario, se toma en cuenta el valor de 2.

$$Q_{\text{max.hora}} = K_{\text{max.hora}} \times Q_m$$

$$Q_{\text{max.hora}} = 2 \times 16,91$$

$$Q_{\text{max.hora}} = 33,82 \text{ l/s}$$

El caudal de diseño para el rediseño de la línea de conducción es el Caudal Máximo Diario con 21,98 l/s, sin embargo, a este caudal se debe realizar una mayoración, considerando el tipo de elemento que se pretende efectuar.

Tabla 15*Caudales de diseño*

ELEMENTO	CAUDAL
Captación de aguas superficiales	Caudal máximo diario + 20%
Captación de aguas subterráneas	Caudal máximo diario + 5%
Línea de Conducción de aguas superficiales	Caudal máximo diario + 10%
Línea de Conducción de aguas subterráneas	Caudal máximo diario + 5%
Red de distribución	Caudal máximo horario + Incendio
Planta de Tratamiento	Caudal máximo diario + 10%

Nota. La tabla muestra la mayoración que se debe realizar para cada elemento de un sistema de agua potable. SENAGUA, 1992.

Tomando en consideración lo manifestado en la Tabla 15, el proyecto se encuentra dentro del margen de una línea de conducción de aguas subterráneas, por lo tanto, el caudal de diseño para el proyecto, se efectuaría de la siguiente manera.

$$Q_{diseño} = 21,98 \times 1,05$$

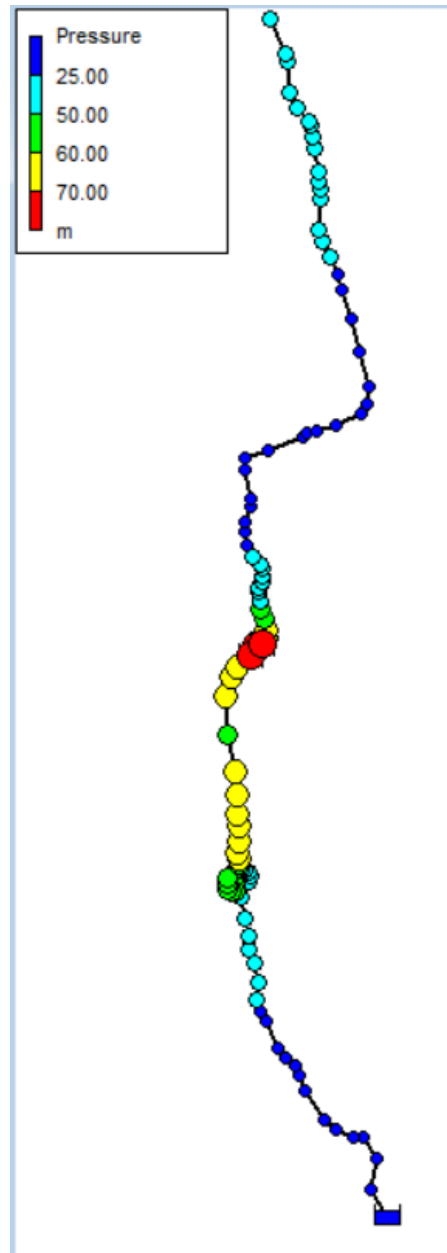
$$Q_{diseño} = 23,08 \text{ l/s}$$

Análisis de la línea de conducción en periodo estático

En este se denota las presiones que existen en el trazado de la nueva línea de conducción, en un cierto tramo de la conducción se denota que la presión, es más alta de lo que se especifica en la Norma para el Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Agua Residuales para Poblaciones mayores a 1000 habitantes, ya que esta menciona que la presión estática máxima, no deberá, en lo posible, ser superior a 70 mca, sin embargo la misma norma, manifiesta que las presiones diferentes a lo indicado deben ser justificados (SENAGUA, 1992).

Figura 22

Presiones presentes en el rediseño



Nota. La figura muestra la presión de agua en m.c.a.

Las presiones existentes en la red, en su mayoría se encuentran debajo de los 70 m.c.a, sin embargo, en el tramo donde se encuentra el puente número 2, existen presiones mayores a la indicada.

Es por ello que, considerando el pedido de la DAPA del Gad de Rumiñahui, cuyo contexto es que, el trazado de la línea de conducción, no invada predios privados en todo lo posible, y denotando que la topografía del lugar es demasiado agreste.

Se procede a realizar un cambio de material PVC a material de acero C40 en el tramo mencionado, ya que este material resiste presiones mayores a la del PVC, no obstante, en los demás pasos elevados de la tubería, a pesar de que no existan presiones altas, se realiza el cambio de material puesto que los tramos de paso elevado se encuentran a la intemperie.

Tabla 16

Cotas Piezométricas

NODO	COTA PIEZOMÉTRICA	COTA DE TERRENO	CARGA DISPONIBLE [m.c.a]
1	2664,90	2664,90	0,00
2	2666,91	2657,73	9,18
3	2666,15	2661,02	5,13
4	2665,59	2662,38	3,21
5	2665,35	2660,83	4,52
6	2664,90	2656,44	8,46
7	2664,59	2653,96	10,63
8	2663,75	2649,98	13,77
9	2663,39	2647,97	15,42
10	2663,11	2646,50	16,61
11	2662,83	2644,42	18,41
12	2662,55	2642,79	19,76
13	2661,86	2640,55	21,31
14	2661,58	2637,21	24,37
15	2661,29	2633,99	27,30
16	2660,18	2632,45	27,73
17	2659,74	2632,10	27,64
18	2659,39	2630,08	29,31
19	2659,08	2628,95	30,13
20	2658,64	2625,22	33,42
21	2658,16	2619,77	38,39
22	2658,02	2614,67	43,35
23	2657,97	2612,29	45,68
24	2657,93	2611,51	46,42
25	2657,90	2610,00	47,90

NODO	COTA PIEZOMÉTRICA	COTA DE TERRENO	CARGA DISPONIBLE [m.c.a]
26	2657,86	2609,02	48,84
27	2657,82	2607,44	50,38
28	2657,79	2606,09	51,70
29	2657,75	2606,45	51,30
30	2657,71	2606,50	51,21
31	2657,67	2605,00	52,67
32	2657,64	2603,90	53,74
33	2657,61	2602,82	54,79
34	2657,56	2602,02	55,54
35	2657,51	2600,90	56,61
36	2657,38	2599,47	57,91
37	2657,33	2595,27	62,06
38	2657,28	2597,00	60,28
39	2657,20	2597,04	60,16
40	2657,08	2597,03	60,05
41	2656,98	2595,16	61,82
42	2656,83	2596,28	60,55
43	2656,65	2596,57	60,08
44	2656,35	2597,62	58,73
45	2656,05	2590,34	65,71
46	2655,89	2590,01	65,88
47	2655,80	2589,75	66,05
48	2655,66	2582,01	73,65
49	2653,62	2579,12	74,50
50	2654,01	2582,01	72,00
51	2653,76	2577,39	76,37
52	2653,13	2579,13	74,00
53	2653,07	2584,37	68,70
54	2653,01	2588,31	64,70
55	2652,91	2592,98	59,93
56	2652,84	2598,30	54,54
57	2652,77	2604,17	48,60
58	2652,70	2608,67	44,03
59	2652,65	2610,94	41,71
60	2652,61	2612,96	39,65
61	2652,55	2614,79	37,76
62	2652,50	2617,00	35,50
63	2652,45	2619,62	32,83
64	2652,38	2624,20	28,18
65	2652,27	2628,92	23,35
66	2652,17	2635,90	16,27
67	2652,10	2640,99	11,11

NODO	COTA PIEZOMÉTRICA	COTA DE TERRENO	CARGA DISPONIBLE [m.c.a]
68	2651,96	2646,96	5,00
69	2651,90	2648,24	3,66
70	2651,67	2649,50	2,17
71	2651,57	2647,71	3,86
72	2651,37	2645,04	6,33
73	2651,08	2634,98	16,10
74	2651,04	2633,02	18,02
75	2650,97	2637,06	13,91
76	2650,80	2636,97	13,83
77	2650,59	2626,01	24,58
78	2650,49	2630,17	20,32
79	2650,36	2633,47	16,89
80	2650,07	2634,12	15,95
81	2649,81	2631,01	18,80
82	2649,56	2629,10	20,46
83	2649,45	2626,99	22,46
84	2649,30	2622,58	26,72
85	2649,16	2620,01	29,15
86	2649,06	2619,05	30,01
87	2648,83	2616,01	32,82
88	2648,74	2615,16	33,58
89	2648,68	2616,00	32,68
90	2648,61	2616,00	32,61
91	2648,42	2617,18	31,24
92	2648,33	2618,00	30,33
93	2648,24	2617,91	30,33
94	2667,08	2636,78	30,30

Nota. Las válvulas reductoras de presión 1 y 2 se hallan en los nodos 48 y 49 respectivamente.

Por otro lado, en las tuberías uso diámetros de Ø160mm y Ø200mm, para obtener presiones moderadas, así como también velocidades menores a 3 m/s.

Tabla 17*Diámetros de tubería y velocidades*

TUBERÍA	DIÁMETRO [mm]	VELOCIDAD [m/s]
1	160	1.15
2	160	1.15
3	160	1.15
4	160	1.15
5	160	1.15
6	160	1.15
7	160	1.15
8	160	1.15
9	160	1.15
10	160	1.15
11	160	1.15
12	160	1.15
13	160	1.15
14	160	1.15
15	160	1.15
16	160	1.15
17	160	1.15
18	160	1.15
19	160	1.15
20	160	1.15
21	200	0.73
22	200	0.73
23	200	0.73
24	200	0.73
25	200	0.73
26	200	0.73
27	200	0.73
28	200	0.73
29	200	0.73
30	200	0.73
31	200	0.73
32	200	0.73
33	200	0.73
34	200	0.73
35	200	0.73
36	200	0.73
37	200	0.73
38	200	0.73
39	200	0.73

TUBERÍA	DIÁMETRO [mm]	VELOCIDAD [m/s]
40	200	0.73
41	200	0.73
42	200	0.73
43	200	0.73
44	200	0.73
45	200	0.73
46	200	0.73
47	200	0.73
48	200	0.73
49	200	0.73
50	200	0.73
51	200	0.73
52	200	0.73
53	200	0.73
54	200	0.73
55	200	0.73
56	200	0.73
57	200	0.73
58	200	0.73
59	200	0.73
60	200	0.73
61	200	0.73
62	200	0.73
63	200	0.73
64	200	0.73
65	200	0.73
66	200	0.73
67	200	0.73
68	200	0.73
69	200	0.73
70	200	0.73
71	200	0.73
72	200	0.73
73	200	0.73
74	200	0.73
75	200	0.73
76	200	0.73
77	200	0.73
78	200	0.73
79	200	0.73
80	200	0.73
81	200	0.73
82	200	0.73

TUBERÍA	DIÁMETRO [mm]	VELOCIDAD [m/s]
83	200	0.73
84	200	0.73
85	200	0.73
86	200	0.73
87	200	0.73
88	200	0.73
89	200	0.73
90	200	0.73
91	200	0.73
92	200	0.73
93	200	0.73

Nota. La tabla mostrada denota las velocidades en las tuberías.

Tipos de material en las tuberías

El material que se utiliza para la línea de conducción es en su mayoría de PVC, para los tramos en donde se provee la utilización de tubería PVC se toma en consideración las especificaciones técnicas halladas en un catálogo comercial de la empresa (PLASTIGAMA, 2023), los diámetros de tubería a utilizar en este material son de 160 mm y 200 mm, que cumplen con una presión de trabajo mínima de 1,00 MPa.

En los tramos de la línea de conducción que se encuentran a la intemperie en consecuencia de que se hallan sobre pasos elevados, es por ello que en aquellos tramos se utilizarán acero de cédula 40, cuya resistencia se encuentra en las especificaciones técnicas halladas en un catálogo en donde se puede denotar que la resistencia a la presión es de 110 kg/cm² es decir 1100 m.c.a (IMPORT ACEROS, 2023).

Válvulas en la línea de conducción

En el rediseño de línea de conducción se considera el uso de válvulas, que permitirán controlar el flujo de agua, ya que existen cambios de material en la tubería, así como también tramos elevados en donde es posible que haya acumulación de aire.

Válvulas de purga

Estas válvulas están ubicadas en las cotas más bajas de la línea de conducción ya que, ante la posible acumulación de sedimentos en la tubería es imprescindible que los sedimentos sean evacuados.

Tabla 18

Ubicación de las válvulas de purga

N °	Diámetro [mm]	Elevación [m]	Coordenadas	
			E	N
1	25	2593,24	787081,55	9960146,81
2	25	2622,72	787393,86	9962009,03

Nota. La tabla muestra la ubicación de las válvulas.

Válvulas reductoras de presión

Las valvulas reductoras de presión se ubican en los tramos donde existen cambios de material en la tubería, ya que, es posible que en algún punto existan golpes de ariete y en consecuencia pueda existir afectación en la integridad de las tuberías.

Tabla 19

Ubicación de las válvulas reductoras de presión

N °	Diámetro [mm]	Elevación [m]	Coordenadas	
			E	N
1	200	2577,98	787134,14	9960707,24
2	200	2581,60	787166,82	9960733,41

Nota. La tabla muestra la ubicación de las válvulas reductoras de presión.

Válvulas de aire

Las válvulas de aire, se encuentran ubicadas en los puntos más elevados de la línea de conducción para evitar la acumulación de aire en la misma.

Tabla 20

Ubicación de las válvulas de aire

N °	Diámetro [mm]	Elevación [m]	Coordenadas	
			E	N
1	25	2645,95	787265,19	9959327,47
2	25	2596,45	787042,99	9960453,10
3	25	2650,96	787112,43	9961283,88

Nota. La tabla muestra la ubicación de las válvulas de aire.

Válvula tipo compuerta

La válvula de este tipo se ubica al final de la línea de conducción en el caso de que se deba cortar el flujo de agua hacia el tanque de almacenamiento.

Tabla 21

Válvula tipo compuerta

N °	Diámetro [mm]	Elevación [m]	Coordenadas	
			E	N
1	200	2616,00	787187,55	9962803,43

Nota. La tabla muestra la ubicación de la válvula tipo compuerta.

Los planos del rediseño de la Línea de Conducción “Luz de América”, se hallan en (Apéndice B).

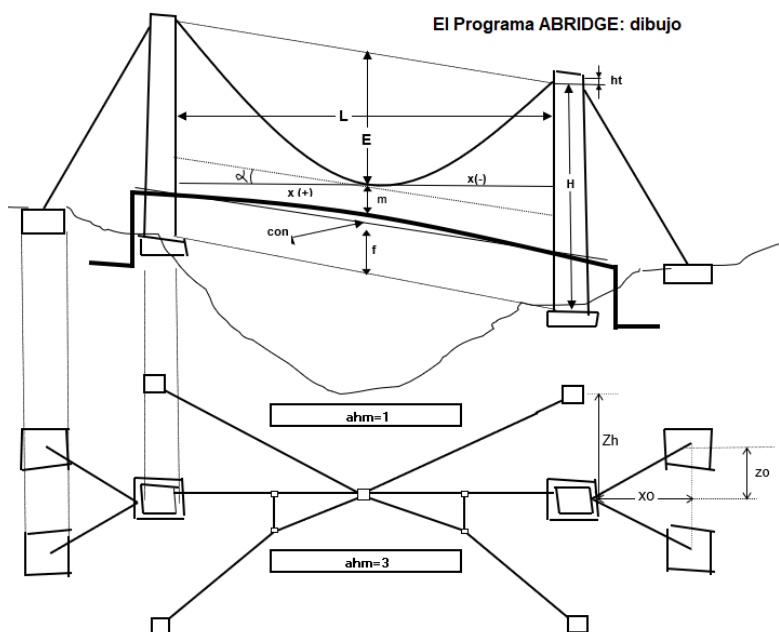
Pasos elevados en la línea de conducción

Para el diseño de los puentes colgantes que sostendrán a la tubería en los tramos donde atraviesan cuerpos de agua, se procede a calcular con un programa desarrollado dentro de una hoja electrónica de cálculo, el cual es Abridge 2.2, este software es de uso público, y este permite diseñar estructuralmente puentes colgantes de tubería con longitudes de hasta 150m. (Agua para la vida, 2023)

Dentro de este marco se procede a calcular estructuralmente 3 puentes mediante la utilización de la hoja de cálculo antes descrita, los datos que ingresan a la hoja de cálculo, están descritos en los siguientes esquemas.

Figura 23

Esquema del paso elevado



Nota. La figura representa los datos que se considera en el programa. Tomado de Agua para la vida, 2023.

Primer paso elevado

Para el primer paso elevado, se obtiene una longitud libre de 20,77 m, sin embargo, por temas constructivos, se dio holgura a la longitud del puente para que los apoyos no se encuentren en los bordes del río, siendo así la longitud total es de 22,80m.

En este sentido y considerando el esquema de la Figura 22, se toma en consideración los datos que ingresar a la hoja de cálculo así como también los resultados presentados por la misma.

Tabla 22

Datos del primer paso elevado

Longitud	Nombre	Unidades	Datos
Larga del puente (entre las columnas)	L0	m	22,80
Pendiente de la tubería	α	Grados	0
Diámetro de la tubería	dt	m	0,2
Peso de la tubería por metro	wt	Kg/m	25,33
Modo de montaje (1 un cable; 2 con cable auxiliar)	mm	1 ó 2	1
Retiro de los anclajes	Xo	m	2
Retiro lateral de los anclajes si son dobles	Zo	m	1,5
Larga del sostén al centro del puente	m	m	0,2
Altura de la tubería encima de la base de las columnas	f	m	0,4

Nota. La tabla muestra los datos ingresados a la hoja de cálculo. Tomado de Agua para la vida, 2023.

Con los datos ingresados en la hoja de cálculo se obtienen las distancias donde deben ubicarse los cables que servirán como sostenes para la tubería de acero, por otro lado, el programa, también presenta resultados de datos para la construcción del paso elevado.

Tabla 23

Resultados del primer paso elevado

Resultados	
Modo de montaje	Directamente
Altura total de la columna	2,50 m
Altura del amarre del cable principal	2,30 m

Resultados	
Altura de la tubería de la base de las columnas	0,40 m
Larga del cable principal	24,11 m
Larga de un amarre	0,60 m
Fecha Inicial	0,97 m
Flecha final	1,52 m
2 anclajes a cada lado del puente	Xo = 2,00 m. Zo = 1,50 m.
Volumen de hormigón por anclaje	1,64 m ³
Larga de cable necesario para cada anclaje	4,60 m
Larga para amarrar un sostén al tubo y al cable	1,20 m

Nota. La tabla muestra los datos geométricos a considerar en la construcción del puente.

Tomado de Agua para la vida, 2023.

Segundo paso elevado

En este caso se tiene una longitud de 19,95 m, considerando una holgura para que las columnas no se hallen en el borde del río, siendo así, la longitud final del puente es de 21,95 m.

Tabla 24

Datos del segundo paso elevado

Longitud	Nombre	Unidades	Datos
Larga del puente (entre las columnas)	L0	m	21,95
Pendiente de la tubería	α	Grados	0
Diámetro de la tubería	dt	m	0,2
Peso de la tubería por metro	wt	Kg/m	25,33
Modo de montaje (1 un cable; 2 con cable auxiliar)	mm	1 ó 2	1
Retiro de los anclajes	Xo	m	2
Retiro lateral de los anclajes si son dobles	Zo	m	1,5
Larga del sostén al centro del puente	m	m	0,2
Altura de la tubería encima de la base de las columnas	f	m	0,4

Nota. La tabla denota los datos del segundo paso elevado. Tomado de Agua para la vida, 2023.

Para la altura de las columnas, el programa arroja un resultado de 2,38 m, sin embargo, por tema constructivo se considera una altura de 2,40 m para las columnas.

Tabla 25*Resultados del segundo paso elevado*

Resultados	
Modo de montaje	Directamente
Altura total de la columna	2,38 m
Altura del amarre del cable principal	2,18 m
Altura de la tubería de la base de las columnas	0,40 m
Larga del cable principal	23,26 m
Larga de un amarre	0,60 m
Fecha Inicial	0,97 m
Flecha final	1,40 m
2 anclajes a cada lado del puente	Xo = 2,00 m. Zo = 1,50 m.
Volumen de hormigón por anclaje	1,64 m ³
Larga de cable necesario para cada anclaje	4,52 m
Larga para amarrar un sostén al tubo y al cable	1,20 m

Nota. La tabla expresa los resultados del segundo puente. Tomado de Agua para la vida, 2023.

Tercer paso elevado

La holgura en la distancia del puente, se denota en que la longitud inicial es de 19,50 m, con el incremento de la longitud, este tiene una longitud final de 21,50 m.

Tabla 26*Datos del tercer paso elevado*

Longitud	Nombre	Unidades	Datos
Larga del puente (entre las columnas)	L0	m	21,50
Pendiente de la tubería	α	Grados	2,26
Diámetro de la tubería	dt	m	0,2
Peso de la tubería por metro	wt	Kg/m	25,33
Modo de montaje (1 un cable; 2 con cable auxiliar)	mm	1 ó 2	1
Retiro de los anclajes	Xo	m	2
Retiro lateral de los anclajes si son dobles	Zo	m	1,5
Larga del sostén al centro del puente	m	m	0,2
Altura de la tubería encima de la base de las columnas	f	m	0,4

Nota. La figura muestra los datos del tercer paso elevado. Tomado de Agua para la vida, 2023.

En este caso, el dato de la altura de las columnas que fue arrojado por el programa es de 2,33 m, de la misma forma por carácter constructivo, la altura será considerada de 2,35 m.

Tabla 27*Resultados del tercer paso elevado*

Resultados	
Modo de montaje	Directamente
Altura total de la columna	2,33 m
Altura del amarre del cable principal	2,13 m
Altura de la tubería de la base de las columnas	0,40 m
Larga del cable principal	22,83 m
Larga de un amarre	0,60 m
Fecha Inicial	0,97 m
Flecha final	1,36 m
2 anclajes a cada lado del puente	Xo = 2,00 m. Zo = 1,50 m.
Volumen de hormigón por anclaje	1,62 m ³
Larga de cable necesario para cada anclaje	4,49 m
Larga para amarrar un sostén al tubo y al cable	1,20 m

Nota. La figura muestra los resultados obtenidos. Tomado de Agua para la vida, 2023.

Para el cálculo de las cuantías de acero de refuerzo que intervendrán en las columnas de los pasos elevados así como también en sus zapatas, se ha optado por tomar las cuantías mínimas que están expuestas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, esta manifiesta que la cuantía mínima de columnas debe encontrarse entre el 1% y 3% (MIDUVI; CAMICON, 2015).

Tabla 28*Ubicación de los pasos elevados*

N.º	Longitud [m]	Elevación [m]	Coordenadas	
			E	N
1	22,80	2590,24	787082,82	9960017,14
2	21,95	2573,90	787150,37	9960720,14
3	21,50	2624,89	787494,74	9961496,47

Nota. El material utilizado para las tuberías de los pasos elevados es acero C40.

El plano de los pasos elevados manifestados se encuentra en (Apéndice C).

Presupuesto

El presupuesto sirve para poder hallar la viabilidad económica de un proyecto, desde el punto de vista de la calidad y la eficiencia en la ejecución de un proyecto de obra civil, con ello se puede realizar la toma de decisiones para la selección de materiales, equipo y maquinaria, y mano de obra necesarios para llevar un proceso eficaz para la realización de los análisis de precios unitarios de un proyecto a través de la medición de volúmenes de obra.

Análisis de precios unitarios

Un APU (Análisis de Precio Unitario) consiste en la estimación del costo unitario de un rubro específico, relacionando costos directos e indirectos, los costos directos serán aquellos que se relacionan directamente con la ejecución de la obra, por otro lado, los costos indirectos están denotados a través de los costos administrativos, servicios profesionales, seguros, servicios públicos, entre otros.

Los análisis de precios unitarios para el presente proyecto se determinaron mediante la utilización de los costos referenciales actuales que existen en el medio de acuerdo a la Revista Construcción No. 279 elaborada por la CAMICON “Cámara de la Industria de la Construcción”. Por otro lado, los costos de mano de obra serán tomados en base a lo estipulado por la Contraloría General del Estado.

La estimación de los costos para los análisis de precios unitarios (APU's), se encuentran detallados en (Apéndice D).

Presupuesto referencial del proyecto

Dentro de este marco, tras el rediseño de la Línea de Conducción, y considerando los APU's referenciales que intervienen un proyecto de esta índole, se procede a realizar el cálculo

del presupuesto referencial, estimando los costos en base a los precios promedio establecidos en nuestro medio para el sector de la construcción.

Tabla 29

Presupuesto referencial del proyecto

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS "ESPE"					
PROYECTO: Evaluación y Rediseño de la Línea de Conducción "Luz de América" del cantón Rumíñahui, Provincia de Pichincha					
No	Rubro/Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
<i>TRABAJOS PRELIMINARES</i>					
1	Desbroce y Limpieza	m2	9957,98	\$ 1,41	\$ 14.035,57
2	Replanteo y Nivelación con Equipo Topográfico	m	4879,30	\$ 2,15	\$ 10.467,13
<i>MOVIMIENTO DE TIERRAS</i>					
3	Levantamiento de adoquín con mini cargadora	m2	233,13	\$ 2,85	\$ 663,56
4	Rotura de pavimento asfáltico, e=7,5cm	m2	1323,11	\$ 8,45	\$ 11.175,13
5	Excavación de zanjas a Maquina	m3	9862,46	\$ 3,56	\$ 35.089,77
6	Rasanteo de zanja	m2	16589,62	\$ 1,58	\$ 26.213,42
7	Desalojo de Material Desbrozado	m3	473,11	\$ 3,21	\$ 1.517,27
<i>OBRA</i>					
8	Conformación de cama de arena, e=20cm	m3	1155,13	\$ 16,91	\$ 19.538,80
9	Tubería PVC-O BIAX U/E, Ø 160mm 1,00 MPa	m	1251,55	\$ 29,70	\$ 37.173,62
10	Tubería PVC-O BIAX U/E Ø 200mm 1,00 MPa	m	3433,01	\$ 41,85	\$ 143.683,13
11	Tubería de acero C40 Ø200mm	m	194,74	\$ 456,35	\$ 88.869,16
12	Relleno compactado con suelo natural	m3	6903,72	\$ 5,77	\$ 39.815,08
13	Adoquín 300 kg/m2, incluye cama de arena e=5cm	m2	233,13	\$ 12,59	\$ 2.935,00
14	Encofrados y desencofrados	m2	32,40	\$ 27,63	\$ 895,12
15	Excavación para anclajes	m3	23,63	\$ 3,63	\$ 85,81
16	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2	m3	26,40	\$ 170,66	\$ 4.504,94
17	Acero de refuerzo, fy=4200kg/cm2	kg	370,85	\$ 2,38	\$ 881,41
18	Cable Principal 1/2"	kg	124,61	\$ 36,09	\$ 4.496,98
19	Cable para sostenes 1/8"	kg	43,64	\$ 34,06	\$ 1.486,57
20	Guarda cable 1/2"	u	24	\$ 8,97	\$ 215,34
21	Grapa para cable 1/2"	u	42	\$ 17,55	\$ 737,21
22	Válvula de aire, 1"	u	3	\$ 78,90	\$ 236,71
23	Válvula tipo bola 1"	u	2	\$ 23,60	\$ 47,21
24	Válvula Reguladora de Presión Ø 200mm	u	2	\$ 1.200,91	\$ 2.401,83

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS "ESPE"

PROYECTO: Evaluación y Rediseño de la Línea de Conducción "Luz de América" del cantón Rumiñahui, Provincia de Pichincha

25	Válvula compuerta de acero Ø 200mm E.X	u	1	\$ 1.473,53	\$ 1.473,53
26	Codo 22,5° U/E 1,00 MPa PVC 160mm	u	10	\$ 41,40	\$ 414,03
27	Codo 45° U/E 1,00 MPa PVC 160mm	u	5	\$ 55,04	\$ 275,21
28	Codo 22,5° PVC U/E 1,00 MPa 200mm	u	24	\$ 72,59	\$ 1.742,11
29	Codo 45° PVC U/E 1,00 MPa 200mm	u	16	\$ 88,76	\$ 1.420,13
30	Codo 90° U/E 1,00 MPa PVC 200mm	u	2	\$ 90,47	\$ 180,95
31	Reductor PVC U/E 1,00 MPa 160mm a 200mm	u	1	\$ 78,23	\$ 78,23
32	Unión Gibault mecánica en hierro fundido Ø 200mm	u	17	\$ 169,64	\$ 2.883,86
33	Brida de hierro dúctil Ø200mm	u	17	\$ 164,15	\$ 2.790,54
34	Abrazaderas de sujeción de acero inoxidable Ø200	u	21	\$ 22,58	\$ 474,11
35	Pasamuros de acero inoxidable Ø200 mm	u	8	\$ 25,92	\$ 207,37
36	Caja rectangular para válvulas.	u	5	\$ 61,56	\$ 307,79
37	Caja de revisión 50x50x50 cm	u	2	\$ 38,14	\$ 76,28
38	Replanteo de hormigón 180 kg/cm ²	m ³	1,26	\$ 138,65	\$ 175,04
39	Bodega	m ²	64,00	\$ 47,32	\$ 3.028,49
40	Desalojo de Material sobrante de excavación	m ³	1386,16	\$ 3,21	\$ 4.445,45
41	Carpeta asfáltica, e=7,5cm	m ²	1323,11	\$ 10,31	\$ 13.646,22
42	Señalética de advertencia peligro en PVC 250m	u	40	\$ 21,72	\$ 868,87
TOTAL					\$ 481.653,97

Nota. El presupuesto expresado en la tabla no contiene IVA ni costos de transporte y el porcentaje de costos indirectos es del 10%.

Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas de un proyecto sirven para poder determinar las instrucciones, condiciones y procedimientos establecidos para la ejecución de un rubro, con ello se establecerán los requisitos que deben cumplir los rubros ejecutados para su posterior aprobación.

Dentro de este marco las especificaciones técnicas de los rubros que intervienen en el proyecto, se encuentran detallado en (Apéndice E).

Capítulo IV

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Con la información recopilada en campo a través del recorrido de la actual línea de conducción, y a su vez con la poca información real actual obtenida del GAD municipal de Rumiñahui, podemos concluir que la infraestructura y las tuberías que conforman la conducción existente ha sobrepasado el periodo de 30 años de vida útil, además cabe mencionar que el material de las tuberías de la conducción actual es en casi toda su totalidad de asbesto cemento esto debido a que por las constantes roturas de las tuberías, el personal municipal utiliza material PVC para las reparaciones, por otro lado, en el PDYOT de Rumiñahui denota que el asbesto cemento al estar en contacto con el agua puede derivar en una posible contaminación del agua, por lo cual es imprescindible realizar el rediseño de la línea de conducción considerando un material diferente al asbesto cemento.
- En el levantamiento topográfico de la actual línea de conducción se hallaron pendientes menores al 8%, así como también pendientes mayores al 70%.
- Para el rediseño de la línea de conducción, la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado del GAD municipal de Rumiñahui expresó considerar que el trazado del rediseño evada en todo lo posible los predios privados.
- En el rediseño de la línea de conducción se utilizaron 2 tipos de diámetros de tubería, la tubería de Ø160 mm es aplicada desde la abscisa 0+000,00 hasta la 1+251,55 por otro lado, la tubería de Ø200 mm está considerada desde la abscisa 1+251,55 hasta la 4+879,30.
- En las tuberías de Ø160 mm se obtuvieron resultados de velocidad y presión máxima de 1,15 m/s y 38,39 m.c.a. correspondientemente, en cuanto a, tuberías de Ø200 mm

se adquirieron resultados de velocidad y presión máxima de 0,73 m/s y 76,37 m.c.a. respectivamente, sin embargo, para solventar esta presión máxima se optó por la utilización de tuberías de Acero C40 Ø200 mm, que se encuentra desde la abscisa 2+348,33 hasta la 2+402,34, ya que este material tiene mayor resistencia a la presión de fluidos.

- Tras el análisis físico químico del agua se pudo observar que el parámetro de cloro libre residual con un resultado de 0,284 mg/L, este encuentra por debajo del valor expuesto para este parámetro en la Norma INEN 1108, por otro lado, en el parámetro de dureza total se tiene como resultado 70,8 mg/L, sin embargo, considerando lo manifestado por la Organización Mundial de la Salud, se considera como agua medianamente dura el agua que contenga concentraciones de 61 mg/L a 120 mg/L de dureza total, con ello se puede concluir que el agua analizada en el proyecto es medianamente dura.
- Se pudo denotar que se requiere aproximadamente \$481,653.97 dólares americanos, sin embargo, al ser una construcción que atraviesa vías públicas, se debe considerar la afectación a las comunidades aledañas por donde atraviesa el trazado ya que una suspensión parcial o total de las vías podría generar, inconformidad en la movilidad de los pobladores.

Recomendaciones

- Para la ejecución del proyecto se recomienda realizar un levantamiento topográfico previo para tener información real de la zona.
- Se recomienda realizar una socialización con las comunidades por donde atraviesa el trazado de la conducción, así como también con los propietarios de los predios privados por donde esta pasa para solventar posibles inconvenientes con la ejecución del proyecto.
- Para efectos de la obtención de datos reales de caudales, se recomienda al GAD municipal de Rumiñahui efectuar aforos a través de métodos técnicos, para obtener registros del caudal presente en la línea de conducción.
- Tomar en cuenta la posterior potabilización del agua transportada por la línea de conducción, para que se pueda cumplir con los parámetros establecidos en la norma ecuatoriana.
- Considerar el rediseño del tanque final de almacenamiento ya que, con el constante crecimiento poblacional, el caudal y volumen de agua requerido aumentará y el actual tanque de almacenamiento no contendrá las dimensiones apropiadas para las cantidades requeridas.

Referencias

- Agua para la vida. (Agosto de 2023). *Agua para la vida, Nicaragua* . Obtenido de Agua para la vida, Nicaragua : <https://aguaparalavida.org/software-de-disenos/>
- CONAGUA. (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (Conducciones)*. México DF.
- GAD Municipal de Rumiñahui. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, Cantón Rumiñahui 2012 - 2025, Actualización 2020 - 2025*. Rumiñahui.
- IMPORT ACEROS. (2023). *Tubo negro cédula 40*. Ecuador.
- INEC. (2015). *Encuesta de Condiciones de Vida Ronda VI 2013-2014*. Quito.
- INEN. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana, Agua potable. Requisitos*. Quito.
- MIDUVI; CAMICON. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Quito.
- Organización Mundial de la Salud. (2015). *Asbesto crisotilo*.
- PLASTIGAMA. (2023). *Tuberías y accesorios de PVC y PE BD*. Ecuador.
- Rodríguez, J. (2009). *Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela*. Grecia.
- SENAGUA. (1992). *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes* . Quito.
- Solís, B. (2023). *Aguas Subterráneas en América Latina y el Caribe*.
- UNESCO. (2022). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2022. En *Aguas Subterráneas, hacer visible el recurso invisible*. París.

Apéndices

Apéndice A. Planos de la actual línea de conducción

Apéndice B. Planos del rediseño de la Línea de Conducción

Apéndice C. Plano de los pasos elevados

Apéndice D. Análisis de Precios Unitarios

Apéndice E. Especificaciones técnicas