



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LEVANTAMIENTO, MODELACIÓN HIDRÁULICA Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA OPERATIVA Y SOSTENIBILIDAD DEL RAMAL “LLUGSHI” DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA JUNTA DE AGUA POTABLE “AGUA NUEVA” DE LA PARROQUIA DE ALÓAG, CANTÓN MEJÍA, PROVINCIA DE PICHINCHA

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingenieros Civiles

AUTORES: Stalin Alejandro López Cuyo

Jheiner Jair Morales Iza

TUTOR: Carlos Alejandro Bohórquez Barba

Quito - Ecuador
2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Stalin Alejandro López Cuyo con documento de identificación N° 1724702053 y Jheiner Jair Morales Iza con documento de identificación N°2101122642; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 14 de agosto del 2024

Atentamente,



Stalin Alejandro López Cuyo
1724702053



Jheiner Jair Morales Iza
2101122642

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Stalin Alejandro López Cuyo con documento de identificación N° 1724702053 y Jheiner Jair Morales Iza con documento de identificación N° 2101122642; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Levantamiento, modelación hidráulica y análisis de eficiencia operativa y sostenibilidad del ramal “Llugshi” de la red de abastecimiento de la junta de agua potable “Agua Nueva” de la parroquia de Alóag, cantón Mejía, provincia de Pichincha”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

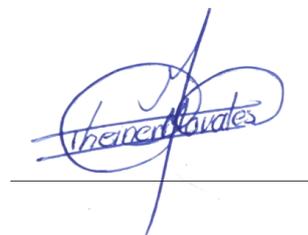
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 14 de agosto del 2024

Atentamente,



Stalin Alejandro López Cuyo
1724702053



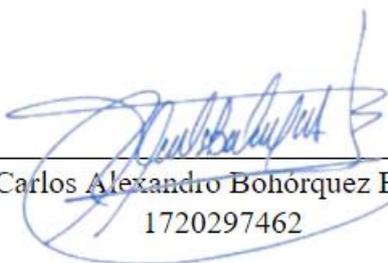
Jheiner Jair Morales Iza
2101122642

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos Alejandro Bohórquez Barba con documento de identificación N°1720297462, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: LEVANTAMIENTO, MODELACIÓN HIDRÁULICA Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA OPERATIVA Y SOSTENIBILIDAD DEL RAMAL “LLUGSHI” DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA JUNTA DE AGUA POTABLE “AGUA NUEVA” DE LA PARROQUIA DE ALÓAG, CANTÓN MEJÍA, PROVINCIA DE PICHINCHA, realizado por Stalin Alejandro López Cuyo con documento de identificación N° 1724702053 y Jheiner Jair Morales Iza con documento de identificación N° 2101122642, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 14 de agosto del 2024

Atentamente,



Ing. Carlos Alejandro Bohórquez Barba, MSc.

1720297462

DEDICATORIA

A mis padres, Mario Enrique López y María Victoria Cuyo dedico todo el esfuerzo realizado a lo largo de mi carrera universitaria, que culmina con este trabajo de titulación.

A mi hermana Marisol y a mi cuñado Daniel, con profundo agradecimiento y cariño por ser un pilar fundamental en mi vida universitaria y personal.

A mis queridos sobrinos, Christopher y Samantha, quienes siempre han sido una alegría en mi vida. Con la esperanza de ser un ejemplo a seguir para ellos, demostrándoles que la perseverancia y la disciplina son fundamentales para alcanzar cualquier meta en la vida.

A mi familia y amigos, por su compañía y cariño a lo largo de este camino.

Stalin Alejandro López Cuyo

DEDICATORIA

A mis queridos padres, Edwin Morales y Myryam Iza, cuyo amor, apoyo y sacrificio han sido la base de todos mis logros. Gracias por inculcarme los valores del esfuerzo y la perseverancia, y por estar siempre a mi lado, creyendo en mi incluso cuando yo dudaba.

A mi hermana Kerly y mi hermano Ariel, quienes con su cariño y aliento constante han sido una fuente inagotable de fuerza e inspiración, su compañía y comprensión han sido importante en este camino.

A mis amigos Angie, Cinthya, Dennise, Melannie, Chritopher y Michael; cuya amistad ha sido un refugio en momentos de desafío y celebración. Gracias por su apoyo incondicional y por creer en mis sueños tanto como yo.

Jheiner Jair Morales Iza

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la vida por darme la oportunidad de forjar mi propio camino.

A mis padres, quienes han sido un ejemplo de esfuerzo, dedicación, humildad y me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera universitaria.

A mi hermana y cuñado, por ser un modelo a seguir, inculcándome valores y ofreciéndome su apoyo constante, lo cual ha moldeado la persona que soy hoy.

A mi tutor, Ing. Carlos Bohórquez MSc., quien ha sido un apoyo esencial como profesor y un ejemplo inspirador como persona, le agradezco sinceramente por compartir su conocimiento y despertar el interés en sus estudiantes.

A los maestros que me han transmitido su sabiduría a lo largo de mi estadía en la universidad, en especial al Ing. Wilson Torres, Ing. José Álvarez.

Stalin Alejandro López Cuyo

AGRADECIMIENTO

Primero y, ante todo, agradezco a mi Dios, cuya guía y fortaleza ha sido parte de este viaje. Su presencia constante me ha dado el valor para superar los desafíos y alcanzar mis metas.

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana, por proporcionarme la educación propicia para mi crecimiento académico y personal.

Agradezco a mi tutor, Ing. Carlos Bohórquez, cuya paciencia, conocimiento y dedicación han demostrado ser invaluable. Mas que un tutor, ha sido un mentor y docente de quien he aprendido enormemente.

Jheiner Jair Morales Iza

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 Problema de estudio	2
1.2.1 Antecedentes	2
1.2.2 Importancia y Alcance	3
1.2.3 Delimitación.....	4
1.2.3.1 Geográfica.....	4
1.2.3.2 Aspectos físicos.....	6
1.2.4 Población	7
1.2.5 Densidad poblacional.....	8
1.3 Justificación.....	8
1.4 Grupo Objetivo.....	9
1.5 Objetivos	10
1.5.1 Objetivo General.....	10
1.5.2 Objetivos Específicos	10
CAPÍTULO II.....	12
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	12
2.1 Sistema de abastecimiento de agua potable	12
2.2 Componentes del sistema de abastecimiento de agua potable	12
2.2.1 Fuente de abastecimiento.....	13
2.2.2 Obra de captación	13
2.2.3 Línea de aducción	13
2.2.3.1 Conducción a gravedad.....	13
2.2.4 Tratamiento.....	14
2.2.5 Reservorio	15
2.2.6 Línea matriz o de conducción	15
2.2.7 Red de distribución de agua potable	15
2.2.8 Acometida domiciliaria.....	16
2.2.9 Válvulas	16
2.2.9.1 Tipos de válvulas.....	16
2.2.10 Levantamiento topográfico	17
2.2.10.1 Metodología GNSS-RTK	17
2.2.11 Herramientas tipo GIS	17

2.3	Modelación Hidráulica.....	18
2.4	Estimación de caudales	18
2.4.1	Aforo.....	18
2.4.2	Estudio hidrológico: Método SCS	19
2.5	Caudal de demanda	20
2.5.1	Variaciones de consumo	21
2.5.1.1	Consumo medio diario (Qmd).....	22
2.5.1.2	Consumo máximo diario (QMD).....	22
2.5.1.3	Consumo máximo horario (QMH).....	23
2.6	Caudal de diseño de redes de distribución	24
2.7	Población futura	25
2.7.1	Método aritmético o lineal	26
2.7.2	Método geométrico	26
2.7.3	Método exponencial.....	27
2.8	Densidad poblacional	27
CAPÍTULO III		29
DIAGNÓSTICO DE LA RED DE AGUA POTABLE "LLUGSHI"		29
3.1	Recopilación de información	29
3.2	Identificación de los componentes existentes	29
3.2.1	Fuente natural	29
3.2.2	Reservorio y tratamiento del agua	31
3.3	Levantamiento topográfico de la red de abastecimiento.....	32
3.4	Modelación hidráulica.....	37
3.4.1	Trazado de la red.....	37
3.4.2	Estimación de caudales	42
3.4.2.1	Caudal disponible.....	42
3.4.2.1.1	Método SCS.....	45
3.4.2.1.2	Aforo volumétrico	48
3.4.2.2	Caudal de demanda.	51
3.4.3	Calibración del modelo	54
3.4.3.1	Verificación de presiones.....	54
3.4.3.1.1	Reconfiguración de la red de abastecimiento.....	60
3.4.4	Resultados	64
CAPÍTULO IV.....		69
DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.....		69

4.1	Descripción del sistema.....	69
4.2	Parámetros de diseño.....	69
4.2.1	Periodo de diseño.....	69
4.2.2	Población futura.....	69
4.2.3	Dotación.....	70
4.2.4	Caudal de demanda.....	71
4.3	Modelación Hidráulica.....	73
4.3.1	Análisis de la Configuración Actual del Sistema bajo Condiciones de Diseño.....	73
4.3.2	Optimización de la Red de Abastecimiento bajo Condiciones de Diseño.....	79
4.3.2.1	Escenario uno: máximo consumo	80
4.3.2.2	Escenario dos: consumo residencial.....	85
4.4	Elaboración de Planos	91
	CONCLUSIONES	92
	RECOMENDACIONES	94
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
	ANEXOS	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Coordenadas del Parque Central de Alóag.</i>	4
Tabla 2 <i>Población de Alóag de cada censo nacional.</i>	7
Tabla 3 <i>Población de Alóag por género.</i>	7
Tabla 4 <i>Densidad poblacional.</i>	8
Tabla 5 <i>Operación en la fase de conducción.</i>	14
Tabla 6 <i>Dotaciones recomendadas.</i>	21
Tabla 7 <i>Factor de día máximo.</i>	23
Tabla 8 <i>Factor de consumo máximo horario.</i>	24
Tabla 9 <i>Dotación de agua contra incendios.</i>	25
Tabla 10 <i>Coordenadas de mojón colocado in situ.</i>	30
Tabla 11 <i>Coordenadas de puntos base.</i>	36
Tabla 12 <i>Distribución de nudos según el barrio.</i>	39
Tabla 13 <i>Precipitación en la zona del proyecto según la Estación Izobamba.</i>	45
Tabla 14 <i>Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones de humedad II).</i>	46
Tabla 15 <i>Caudales del afloramiento Llugshi.</i>	48
Tabla 16 <i>Caudal aforado en la época invernal.</i>	49
Tabla 17 <i>Caudal de los peticionarios adjudicados.</i>	50
Tabla 18 <i>Número de habitantes por cada Barrio.</i>	51
Tabla 19 <i>Dotaciones de los establecimientos.</i>	52
Tabla 20 <i>Caudales de demanda actuales.</i>	53
Tabla 21 <i>Comparación de presiones.</i>	58
Tabla 22 <i>Comparación de presiones.</i>	61
Tabla 23 <i>Comparación entre los diámetros indicados por la junta y los ajustados. ...</i>	62

Tabla 24 <i>Resultados obtenidos por el modelado para cada nudo.</i>	64
Tabla 25 <i>Resultados obtenidos por el modelado en tuberías.</i>	66
Tabla 26 <i>Estimación de población futura.</i>	70
Tabla 27 <i>Dotaciones adoptadas para el diseño.</i>	70
Tabla 28 <i>Variaciones de consumo.</i>	71
Tabla 29 <i>Reporte de tuberías con la configuración actual para el diseño.</i>	74
Tabla 30 <i>Reporte de nudos con la configuración actual para el diseño.</i>	77
Tabla 31 <i>Reporte de tuberías del escenario uno.</i>	80
Tabla 32 <i>Reporte de nudos con la configuración actual para el diseño bajo el escenario uno.</i>	83
Tabla 33 <i>Reporte de nudos con la configuración actual para el diseño bajo el escenario dos.</i>	86
Tabla 34 <i>Reporte de nudos bajo el escenario dos.</i>	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Vista del Parque Central de Alóag.</i>	4
Figura 2	<i>Ubicación de Alóag.</i>	5
Figura 3	<i>Trazado del ramal en el área de estudio.</i>	6
Figura 4	<i>Fuente natural “Llugshi”.</i>	30
Figura 5	<i>Mojón colocado in situ.</i>	31
Figura 6	<i>Reservorio existente.</i>	32
Figura 7	<i>T10Pro GNSS Receiver.</i>	33
Figura 8	<i>T20Pro GNSS Receiver.</i>	33
Figura 9	<i>Punto base BM1.</i>	35
Figura 10	<i>Punto base BM2.</i>	35
Figura 11	<i>Punto base BM3.</i>	36
Figura 12	<i>Esquema de la red de abastecimiento “Llugshi”.</i>	37
Figura 13	<i>Trazado de la red “Llugshi”.</i>	38
Figura 14	<i>Nudos del tramo 1 de la red de abastecimiento.</i>	40
Figura 15	<i>Nudos del tramo 2 de la red de abastecimiento.</i>	41
Figura 16	<i>Nudos del tramo 3 de la red de abastecimiento.</i>	42
Figura 17	<i>Trazado de los polígonos de Thiessen.</i>	44
Figura 18	<i>Trazado de la cuenca del afloramiento “Llugshi”.</i>	47
Figura 19	<i>Aforo Volumétrico.</i>	49
Figura 20	<i>Manómetro de presión con conexiones de tubería.</i>	55
Figura 21	<i>Lectura de presión en la red (nodo 1), mediante manómetro.</i>	55
Figura 22	<i>Lectura de presión en la red (nodo 21), mediante manómetro.</i>	56
Figura 23	<i>Lectura de presión en la red (nodo 25), mediante manómetro.</i>	56
Figura 24	<i>Lectura de presión en la red (nodo 31), mediante manómetro.</i>	57

Figura 25	<i>Lectura de presión en la red (nodo 36), mediante manómetro.....</i>	57
Figura 26	<i>Lectura de presión en la red (nodo 57), mediante manómetro.....</i>	58
Figura 27	<i>Presiones del modelo inicial.....</i>	60
Figura 28	<i>Esquema de las velocidades en los nudos con la configuración actual para el diseño.....</i>	76
Figura 29	<i>Esquema de las presiones en los nudos con la configuración actual para el diseño.....</i>	79
Figura 30	<i>Esquema de las velocidades del escenario uno.....</i>	82
Figura 31	<i>Esquema de las presiones bajo el escenario uno.....</i>	85
Figura 32	<i>Esquema de las velocidades bajo el escenario dos.....</i>	88
Figura 33	<i>Esquema de las presiones bajo el escenario dos.....</i>	91

RESUMEN

El análisis del ramal “Llugshi” de la red de abastecimiento de agua en la parroquia de Alóag, Cantón Mejía, provincia de Pichincha, se centró en tres áreas principales: levantamiento de datos, modelación hidráulica y evaluación de eficiencia operativa y sostenibilidad. En primer lugar, se llevó a cabo una recopilación exhaustiva de datos del sistema para comprender a fondo su estructura y funcionamiento actual, con la cual, se desarrolló un modelo hidráulico que simuló el desempeño del ramal bajo diversas condiciones.

La modelación permitió identificar áreas críticas en la operación del sistema, tales como pérdidas de agua y tiempos de respuesta, además de ofrecer una visión clara de la capacidad de distribución del ramal. En paralelo, el estudio evaluó la sostenibilidad del sistema, considerando tanto el impacto ambiental como la viabilidad a largo plazo del ramal.

El análisis reveló que la precisión de los datos proporcionados es importante para obtener simulaciones fiables. La falta de exactitud en la información inicial destaca la necesidad de una documentación técnica más robusta, que permita una comprensión precisa de la constitución del sistema y, por ende, la elaboración de un modelo; este enfoque integral no solo proporciona una visión detallada del estado actual del ramal, sino que también sienta las bases para futuras mejoras en la gestión y operación de la red de abastecimiento, contribuyendo a una administración más efectiva y sostenible del recurso hídrico.

Palabras clave: operación, simulaciones, eficiencia, modelación y desempeño.

ABSTRACT

The analysis of the ‘Llugshi’ branch of the water supply network in the parish of Alóag, Canton Mejía, Pichincha province, focused on three main areas: data collection, hydraulic modelling and evaluation of operational efficiency and sustainability. Firstly, a comprehensive data collection of the system was carried out to gain a thorough understanding of its current structure and operation, from which a hydraulic model was developed to simulate the performance of the branch under various conditions.

The modelling identified critical areas of system operation, such as water losses and response times, and provided a clear picture of the branch's distribution capacity. In parallel, the study assessed the sustainability of the system, considering both the environmental impact and the long-term viability of the branch.

The analysis revealed that the accuracy of the data provided is important to obtain reliable simulations. The lack of accuracy in the initial information highlights the need for more robust technical documentation, which allows for an accurate understanding of the system constitution and hence modelling; this comprehensive approach not only provides a detailed insight into the current state of the branch, but also lays the foundation for future improvements in the management and operation of the supply network, contributing to a more effective and sustainable management of the water resource.

Keywords: operation, simulations, efficiency, modelling and performance.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1 Introducción

El acceso al agua potable es un derecho humano fundamental y un factor clave para garantizar la salud, el bienestar y el desarrollo de las comunidades, por tal razón, un sistema de abastecimiento de agua potable eficiente y con un diseño basado en la normativa vigente es importante para satisfacer las necesidades básicas de la población, así como para promover el crecimiento económico y la calidad de vida de los usuarios.

Pese a lo indicado, en la parroquia de Alóag, cantón Mejía, provincia de Pichincha, Ecuador, algunos ramales del sistema de abastecimiento de agua potable actual presentan diversas deficiencias que afectan negativamente a la comunidad. Uno de los problemas a resaltar es la baja presión de agua en varias acometidas de los hogares, situación que genera inconvenientes en higiene personal, la preparación de alimentos y otras actividades esenciales, comprometiendo la salud y el bienestar de los habitantes.

Además de la falta de presión en el sistema, otro problema significativo es la ausencia de un registro de la información técnica actualizada y detallada de los componentes del sistema de abastecimiento; esta carencia dificulta las labores de operación, mantenimiento y reparación de la infraestructura, debido a que no se cuenta con información precisa sobre la ubicación y el estado de los componentes del sistema, como resultado se genera ineficiencias en la gestión del servicio, retrasos en la atención de averías y pérdidas de agua por fugas no identificadas oportunamente.

A partir del diagnóstico del ramal analizado, será posible desarrollar un plan de mejoramiento y optimización del sistema de abastecimiento de agua potable, que contemple acciones a corto y largo plazo, con un enfoque consistente en garantizar la

continuidad del suministro. Por lo tanto, la implementación de estas mejoras no sólo beneficiará a la población de Alóag al asegurar su acceso al agua potable, sino que también contribuirá al desarrollo sostenible de la parroquia, promoviendo la equidad social, la salud pública y el crecimiento económico.

1.2 Problema de estudio

En la parroquia de Alóag, la Junta administradora de agua potable denominada “Agua Nueva” ha construido el sistema de agua potable para la población de manera no tecnificada, sin contar con planos o documentación que registre los elementos que la componen, condición que determina la necesidad de realizar un estudio detallado que aborde una correcta identificación de las tuberías y válvulas existentes en el sistema, para evaluar y analizar su funcionamiento.

1.2.1 Antecedentes

La parroquia de Alóag, ubicada en el cantón Mejía, ha implementado un sistema empírico de abastecimiento de agua potable, mismo que se ha desarrollado sin los estudios requeridos para su diseño y construcción; pese a esto, el sistema opera de manera relativamente satisfactoria para la mayoría de los barrios. Como resultado de la falta de regulación normada, han surgido conexiones inadecuadas en la red, lo que ha generado cierta inconformidad por parte de algunos usuarios del ramal analizado porque enfrentan problemas con la llegada de agua a sus domicilios, quienes han manifestado que a sus acometidas “solo llega aire”. Además, dentro de la red, se han detectado fugas de agua, lo que plantea preocupaciones sobre la calidad de las conexiones y los materiales utilizados.

La vertiente “Llugshi”, situada en las coordenadas 9943519N, 768478E, que abastece a los barrios de Alóag: La Hacienda, Rumipamba, La Avanzada, La Aduana, El

Obelisco, San Carlos, San Luis, San José de la Calera y La Escuela, a través de una tubería de aducción de PVC con un diámetro de 4 pulgadas, la cual conduce el fluido hasta el tanque de cloración, que opera las 24 horas del día mediante un sistema de goteo; en este proceso, se realiza una mezcla entre el agua cruda y una dosificación de hipoclorito de calcio. Una vez tratada, el agua se transfiere al tanque de almacenamiento, que tiene una capacidad de 100 metros cúbicos y está equipado con tuberías de entrada y salida, ambas con un diámetro de 4 pulgadas. Desde este tanque, el agua, lista para el consumo final, inicia su recorrido a través de la línea de conducción.

1.2.2 *Importancia y Alcance*

La correcta gestión y mantenimiento de las infraestructuras de suministro de agua potable son aspectos fundamentales, para garantizar el acceso a este recurso vital para la comunidad a la que abastece el ramal “Llugshi”, conformada por aproximadamente 2400 personas. La ausencia de regulación y control en la construcción de las líneas de conducción representa un riesgo para la calidad y disponibilidad del agua potable, por lo tanto, es importante realizar un estudio detallado que permita identificar la ubicación, diámetros, condiciones de las tuberías existentes, y demás componentes de la red con el fin de establecer un control efectivo sobre el sistema y planificar intervenciones de mejora.

En la parroquia de Alóag, la carencia de un plano o registro de los componentes de la red, subraya la necesidad de realizar el levantamiento de la misma, especialmente considerando los nodos a los cuales no llega agua con la suficiente presión. Es importante destacar que el proceso de tratamiento del agua potable y la obra de captación, que son parte del sistema analizado, no serán abordados dentro del proyecto, dado que ambos cumplen con su propósito de forma satisfactoria.

1.2.3 Delimitación

1.2.3.1 Geográfica.

El proyecto está considerado para ser aplicado en la zona nororiental de la parroquia de Alóag, cantón Mejía, provincia de Pichincha, tomando como referencia su Parque Central, mostrado en la Figura 1 y ubicado según las coordenadas detalladas en la Tabla 1.

Tabla 1

Coordenadas del Parque Central de Alóag.

COORDENADAS UTM	
NORTE	9948152.00
ESTE	768742.00

Nota. Ubicación del Parque Central de Alóag. Fuente: Google Earth Pro, 2023.

Figura 1

Vista del Parque Central de Alóag.



Nota. Fotografía del Parque Central de Alóag. Elaborado por: Los autores.

Los límites de Alóag están conformados de la siguiente manera:

- **Al norte:** Distrito metropolitano de Quito.

- **Al sur:** Parroquia Aloasí.
- **Al Este:** Parroquia Machachi y Tambillo.
- **Al Oeste:** Parroquia Manuel Cornejo Astorga.

Ver Figura 2 para su representación gráfica.

Figura 2

Ubicación de Alóag.



Nota. Ubicación de la zona del proyecto. Elaborado por: Los autores.

En el estudio se llevará a cabo el análisis de un ramal del sistema de abastecimiento de agua potable, mostrado en la Figura 3, que se alimenta de la vertiente Llugshi, cuya captación se encuentra ubicada aproximadamente a un kilómetro al noroccidente del parque central de Alóag.

Figura 3

Trazado del ramal en el área de estudio.



Nota. Representación de lo que abarca el proyecto. Elaborado por: Los autores.

1.2.3.2 Aspectos físicos.

Alóag es una parroquia rural ubicada en el cantón Mejía, provincia de Pichincha, Ecuador. Se encuentra aproximadamente a 35 km al sur de Quito, la capital del país, y goza de una temperatura media anual de entre 10 a 12 °C. La parroquia presenta una topografía variada, con elevaciones que oscilan entre 2800 y 4200 msnm, y se caracteriza por la presencia de colinas, quebradas, y planicies de origen volcánico. Recibe precipitaciones anuales que varían entre los 500 y 1000 mm, y su distribución de lluvias es bimodal, con dos periodos lluviosos marcados: de febrero a mayo y de septiembre a noviembre.

Estos aspectos físicos y climáticos de Alóag favorecen las actividades económicas de la parroquia, principalmente la agricultura y la ganadería. Además, la belleza natural

paisajística de la zona, con sus montañas, bosques y ríos, han permitido el desarrollo de las actividades turísticas y recreativas.

1.2.4 Población

Los datos históricos de la población de Alóag recopilados en todos los censos nacionales se presentan en la Tabla 2 a continuación:

Tabla 2

Población de Alóag de cada censo nacional.

POBLACIÓN SEGÚN CENSOS							
ALÓAG	1950	1962	1974	1982	1990	2001	2010
	4370	5118	5689	6301	6855	8850	9237

Nota. Población de Alóag según los censos nacionales. Tomado de Censo de Población y Vivienda (CPV), 2010. Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC).

La población según los datos recopilados en el Censo de Población y Vivienda de 2010, la parroquia de Alóag alberga una población de 9237 habitantes y en la Tabla 3 se muestra que existen más mujeres que hombres.

Tabla 3

Población de Alóag por género.

POBLACIÓN DE LA PARROQUIA DE ALÓAG		
Año 2010		
HOMBRES	MUJERES	TOTAL
4509	4728	9237

Nota. Población de Alóag por género. Tomado de Censo de Población y Vivienda (CPV), 2010. Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC).

1.2.5 Densidad poblacional

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2020-2023, indica que la parroquia de Alóag presenta una densidad demográfica considerablemente inferior a la de la provincia de Pichincha, estimándose en aproximadamente 52 habitantes por kilómetro cuadrado, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

Densidad poblacional.

TERRITORIO	POBLACIÓN	SUPERFICIE [km²]	DENSIDAD POBLACIONAL
Pichincha	3228233	9484.27	340.38
Alóag	12284	235.47	52.17

Nota. Densidad poblacional de Alóag. Tomado de Proyección SNI (Sistema Nacional de Información, 2023). Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado de Pichincha (GAD Pichincha).

1.3 Justificación

La carencia de información respecto a los componentes de la red, planos u otro documento técnico previo a la construcción de la misma, genera que esta no pueda ser caracterizada y modelada para evaluar su desempeño, por lo tanto, la justificación de este proyecto de titulación radica en la necesidad de contar con un levantamiento detallado de la red de agua potable en la parroquia de Alóag. Esta acción permitirá obtener una comprensión total del estado actual de la infraestructura de suministro de agua, dada la naturaleza informal y la falta de regulación de la red existente. El levantamiento in situ permitirá recopilar información precisa sobre las características de los componentes de la red, tales como sus longitudes, diámetros, profundidades de excavación, cotas de los ejes de las tuberías y ubicación de las válvulas de control, datos que son esenciales para

establecer un registro actualizado y completo de la infraestructura, lo que a su vez facilitará la planificación y ejecución de acciones de mantenimiento y mejora.

Es necesario realizar una evaluación del comportamiento del flujo en la red, considerando los criterios de velocidad y presión establecidos por la normativa vigente; esta evaluación se llevó a cabo mediante la interpretación de los resultados de la modelación numérica. Este análisis es importante para identificar áreas de alta demanda del suministro de agua, pérdida de presión u otros problemas operativos que puedan afectar la eficiencia y la calidad del suministro de agua potable.

Una vez completado el análisis de los parámetros hidráulicos, se podrán generar conclusiones y plantear recomendaciones específicas para optimizar el funcionamiento de la red y garantizar un suministro confiable y eficiente para la comunidad, que significará un mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios del ramal de la captación Llugshi, al garantizar un acceso adecuado y seguro al agua potable, empleando un enfoque integral que comprenda el levantamiento detallado, la modelación hidráulica, el análisis de los resultados de la misma, y la implementación de mejoras futuras.

Adicionalmente, al tener un registro actualizado y detallado de la infraestructura de agua potable, se facilitará la identificación y corrección de posibles problemas operativos, así como la planificación de futuras expansiones o mejoras en el sistema de suministro de agua.

1.4 Grupo Objetivo

El grupo beneficiario del proyecto de titulación incluye a los moradores de los diez barrios de la parroquia Alóag: Alóag, La Hacienda, Rumipamba, La Avanzada, La Aduana, El Obelisco, San Carlos, San Luis, San José de la Calera y La Escuela, que forman parte de la red de agua potable abastecida por la captación Llugshi.

1.5 Objetivos

1.5.1 *Objetivo General*

Analizar el comportamiento del flujo del Ramal Llugshi perteneciente a la red de agua potable "Agua Nueva", mediante el uso de herramientas computacionales para verificar el cumplimiento de los criterios de diseño establecidos por la normativa de la EMAAP- Q (Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito).

1.5.2 *Objetivos Específicos*

- Recopilar información topográfica, mediante el uso de dispositivos de medición exacta y herramientas computacionales, para caracterizar el relieve del terreno con el propósito de determinar la carga disponible, y la carga requerida a partir del gradiente hidráulico, en los distintos nodos del sistema de abastecimiento de agua potable.
- Realizar el levantamiento de la red, mediante un recorrido guiado por los operadores de la Junta de agua potable "Agua Nueva", para identificar los componentes de la misma, incluyendo su ubicación exacta por medio de elementos de precisión.
- Llevar a cabo una estimación de caudales en la vertiente "Llugshi", por medio de aforos volumétricos y mediante el método SCS, para determinar si el caudal disponible satisface la demanda de los usuarios.
- Modelar la red de agua potable utilizando el programa WaterCAD, con el fin de obtener resultados precisos y detallados respecto a sus velocidades, presiones y

caudales.

- Analizar el comportamiento de la red para diferentes escenarios de operación, conforme a la normativa de la EMAAP-Q, la Norma Hidrosanitaria NHE Agua y la NEC- 11, con el fin de asegurar el cumplimiento de los parámetros establecidos para el correcto funcionamiento de la red de agua potable.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1 Sistema de abastecimiento de agua potable

El agua, un elemento básico pero extraordinario, es indispensable para la vida. Esta sustancia única e incomparable es indispensable para llevar a cabo nuestras actividades diarias más esenciales, como cocinar, limpiar, regar cultivos, generar energía, en definitiva, para vivir (Carbajal & González, 2016).

Según UNEPAR-KfW-IRC (1994), un sistema de suministro de agua potable necesita contar con los siguientes componentes: fuente natural, obra de captación, línea de aducción, planta de tratamiento, reservorio, línea de conducción, malla de distribución y acometida domiciliaria.

2.2 Componentes del sistema de abastecimiento de agua potable

Los componentes principales que integran el sistema de red de abastecimiento de agua potable pueden ser enlistados como se presenta a continuación:

- Fuente de abastecimiento
- Obra de captación
- Línea de aducción
- Planta de tratamiento
- Reservorio
- Línea matriz
- Red de distribución
- Acometidas domiciliarias

2.2.1 Fuente de abastecimiento

Según Tuesca, se define como un lugar donde se almacena o fluye el agua, ya sea en la superficie o bajo tierra, de forma natural o creada por el ser humano, que forma parte de un sistema de abastecimiento de agua (Tuesca, Ávila, Sisa, & Pardo, 2015).

2.2.2 Obra de captación

Desde la civilización maya, se han registrado prácticas que reflejan cuán importante es para el hombre captar agua; utilizando diferentes medios como los chultunes, esta civilización desarrolló sistemas ingeniosos para asegurar el suministro de agua en sus comunidades. La obra de toma o captación es una estructura colocada directamente en la fuente de agua con la finalidad de captar el caudal requerido y conducirlo para su aprovechamiento (Flores, 2011).

2.2.3 Línea de aducción

García & Cecilia (2015) describen la línea de aducción como el conducto encargado de transportar el agua sin procesar desde la captación hasta el reservorio donde recibirá el tratamiento, este puede ser un conducto abierto o cerrado.

2.2.3.1 Conducción a gravedad.

La conducción por gravedad es un sistema en el cual una red de tuberías y componentes auxiliares se valen de la carga potencial para transportar el agua desde una estructura de captación hasta una planta de tratamiento, y posteriormente a un depósito de almacenamiento, sin la necesidad de utilizar bombas. En ese tipo de conducción, se aprovecha la gravedad para facilitar el flujo de agua (Flores, 2011).

Una de las principales ventajas de este método es que no requiere energía adicional, lo que se traduce en costos operativos más reducidos en comparación con los

sistemas que emplean bombas, sin embargo, es conveniente llevar a cabo tareas de supervisión periódicas para prevenir contratiempos y asegurar el correcto funcionamiento del sistema. El operador del sistema debe desempeñar una serie de actividades, las cuales se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5

Operación en la fase de conducción.

ACTIVIDADES	FRECUENCIA
Realizar inspección visual para detectar posibles daños que pueden afectar el abastecimiento de agua cruda por la línea de conducción: deslizamientos, obstrucciones, roturas, fugas o conexiones ilícitas.	Diaria
Verificar el funcionamiento de válvulas en la línea de conducción (aireación y desague)	Semanal

Nota. Son actividades realizadas por el técnico en la fase de conducción. Adaptado de la Guía Agua Segura, 2019. Fuente: Ministerio de Salud Pública (MSP).

2.2.4 Tratamiento

La American Water Works Association (AWWA, 2011) define que un sistema de tratamiento de agua potable está diseñado para para eliminar una gran variedad de impurezas, desde partículas en suspensión hasta microorganismos dañinos, desempeñando un papel importante en la producción de agua potable segura y de excelente calidad.

2.2.5 *Reservorio*

Según Ludwigson (2020), tener reservas de agua almacenadas es fundamental para garantizar el suministro a las personas, dado que, contar con un volumen de agua almacenado, satisface la demanda de este recurso vital, además de estar presente en todos los sistemas de distribución hídrica a nivel global.

El reservorio actúa como un gran tanque de almacenamiento, acumulando agua durante períodos de baja demanda o cuando la producción de agua supera el consumo. Esto permite contar con un volumen de agua disponible para satisfacer las fluctuaciones diarias de demanda o en casos de emergencia.

2.2.6 *Línea matriz o de conducción*

Es un componente clave en los sistemas de abastecimiento de agua, debido a que juega un papel importante en llevar el agua de los tanques de almacenamiento hasta la red de distribución. Dependiendo del relieve y las condiciones del lugar, el agua puede fluir por conductos a gravedad, conductos presurizados o una mezcla de ambos (International Reference Centre for Community Water Supply and Sanitation [IRCWASH], 1981).

2.2.7 *Red de distribución de agua potable*

La red de distribución de agua está compuesta de un sistema de tuberías, piezas complementarias e instalaciones que transportan el agua hasta las acometidas residenciales o bocas contra incendios que conforman la red. Esta infraestructura debe proveer un suministro ininterrumpido a todos los usuarios (hogares, establecimientos públicos, industrias y comercios), asegurando volúmenes suficientes, niveles adecuados de calidad y una presión idónea para satisfacer sus necesidades (Magne Ayllón, 2008).

2.2.8 Acometida domiciliaria

La acometida domiciliaria es el enlace que conecta la red de distribución de agua con el registro de corte de cada propiedad, en el caso de viviendas , la cometida es de media pulgada de diámetro, por otro lado, para edificios, conjuntos habitacionales o servicios industriales que requieren una acometida de mayor tamaño, se proporcionará el servicio tras la presentación de estudios hidráulicos, según las normas de la DAPAC-R, que establecerá el diámetro apropiado, incluyendo cisternas y el equipo de presurización necesario.

2.2.9 Válvulas

Las válvulas son dispositivos empleados en redes presurizadas o a flujo libre, para controlar la presión, el caudal o el flujo de agua o aire, las cuales pueden ser: válvulas manuales, eléctricas o hidráulicas.

2.2.9.1 Tipos de válvulas.

Existen varios tipos de válvulas utilizadas en diferentes aplicaciones y sistemas. Algunos de los tipos de válvulas más comunes dentro de un sistema de agua potable son las siguientes:

- Válvulas de compuerta
- Válvulas de mariposa
- Válvulas de alivio de presión
- Válvulas de aire
- Válvulas de vaciado

2.2.10 Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico es un componente primordial en toda obra de ingeniería civil, formando parte de las actividades preliminares realizadas en campo, con el objetivo de plasmar las características físicas del terreno, como su forma y elevación; este proceso conlleva la medición precisa de ángulos y distancias (Santamaría Peña & Sanz Mendez, 2005).

2.2.10.1 Metodología GNSS-RTK

La metodología de cinemática en tiempo real o RTK (Real Time Kinematic) es usada para mejorar la precisión de posición de los sistemas de navegación global por satélite o GNSS (Global Navigation Satellite System). Un típico equipo RTK consta de dos dispositivos: un receptor inmóvil llamado base y un receptor móvil llamado Rover, cuya metodología en tiempo real se basa en calcular ambigüedades o errores, simultáneamente con la recopilación de datos. Los errores de medición se calculan a partir de las observaciones satelitales de la estación de referencia y los valores de corrección se transmiten inmediatamente al receptor móvil, de modo que las coordenadas obtenidas en tiempo real en este receptor son las coordenadas finales y no se realiza ningún post-procesamiento (Thales Navigation, 2002).

2.2.11 Herramientas tipo GIS

Las herramientas computacionales tipo GIS o por sus siglas Sistema de Información Geográfica, son programas que permiten procesar datos geográficos, lo que facilita la comprensión de relaciones espaciales, esto es útil en campos como la planificación urbana, gestión ambiental y la agricultura. Los datos procesados en GIS incluyen datos de geometría, atributos y relaciones espaciales.

2.3 Modelación Hidráulica

De acuerdo a Calero (2012), la representación a una escala reducida de fenómenos, estados o procesos relacionados con el movimiento del agua se conoce como modelado hidráulico.

Con el fin de estudiar y analizar el comportamiento del flujo del agua de manera controlada y detallada, esta técnica permite simular situaciones reales, evaluar diferentes escenarios, visualizar patrones de flujo, obtener datos cuantitativos y validar modelos numéricos, además de permitir probar y evaluar distintas configuraciones, diseños o condiciones de operación antes de implantarlos en la realidad.

2.4 Estimación de caudales

La estimación de caudales es el proceso de determinar la cantidad de agua que fluye a través de una sección transversal de un río o canal en un momento determinado, existen varios métodos para estimar caudales, que incluyen:

2.4.1 Aforo

Es aplicable en la medición de pequeños caudales y se realiza midiendo el tiempo de llenado (T) de un recipiente de volumen conocido (V), donde se colecta la descarga, la fórmula empleada para este caso es el siguiente:

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

Dónde:

Q: Caudal (m³/s)

V: Volumen (m³)

T: Tiempo (seg)

2.4.2 Estudio hidrológico: Método SCS

El método propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) estima el escurrimiento efectivo (Pe) utilizando la cantidad total de precipitación (P) y la retención máxima potencial (S). Este método se basa en el uso de valores de curvas numéricas (CN), las cuales varían según el tipo y uso del suelo. Las fórmulas para calcular Pe y S se presentan a continuación:

$$Pe = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{P + 0.8 * S}$$

Donde:

Pe = precipitación efectiva por evento (mm).

P = precipitación total (mm).

S = retención máxima potencial (mm).

La retención máxima potencial se determina utilizando curvas numéricas, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Donde:

CN = curva numérica (adimensional).

El factor denominado número de curva (CN) está relacionado con las características del suelo, el tipo de cobertura vegetal y las condiciones previas de humedad del terreno. El Servicio de Conservación de Suelos (Soil Conservation Service) ha relacionado amplias investigaciones sobre este factor y ha publicado tablas que permiten seleccionar el valor de CN más adecuado para cada situación en particular (Kent, 1972).

2.5 Caudal de demanda

Este caudal representa la cantidad de agua requerida por los usuarios en un periodo de tiempo específico. Se calcula considerando los factores como el número de habitantes, el uso y las actividades diarias que realiza la población, ya sean domésticas, agrícolas, comerciales o industriales; estas particularices propias de la cultura y modo de vida de la comunidad de Alóag influyen directamente en la demanda de agua, por lo que deben ser consideradas al estimar el caudal necesario para garantizar un suministro adecuado y acorde a las practicas locales, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6*Dotaciones recomendadas.*

POBLACIÓN [habitantes]	CLIMA	DOTACIÓN MEDIA FUTURA [l/hab/día]
Hasta 5000	Frío	120 - 150
	Templado	130 - 160
	Cálido	170 - 200
5000 a 50000	Frío	180 - 200
	Templado	190 - 220
	Cálido	200 - 230
Más de 50000	Frío	>200
	Templado	>220
	Cálido	>230

Nota. Es la dotación para el sistema de agua potable. Tomado de la Secretaría del Agua.

Fuente: Norma CO 10.07 – 601.

2.5.1 Variaciones de consumo

El propósito de un sistema de abastecimiento es suministrar agua de manera continua y con la presión adecuada, sin embargo, debido a que el agua exhibe fluctuaciones a lo largo del tiempo, abarcando diferentes escalas: variaciones estacionales, mensuales, diarias y horarias, deben considerarse patrones de consumo, que son:

- Consumo medio diario
- Consumo máximo diario

- Consumo máximo horario

2.5.1.1 Consumo medio diario (Q_{md}).

El caudal medio diario representa la cantidad de agua requerida, para satisfacer las necesidades de una población y se calcula como el promedio de los consumos diarios registrados durante un año, y se calcula con la siguiente formula:

$$Q_{md} = \frac{Pf * D}{86400}$$

Dónde:

Q_{md} : Caudal medio diario (lt/seg)

P_f : Población futura

D : Dotación o consumo (lt/hab/día)

2.5.1.2 Consumo máximo diario (Q_{MD}).

En términos de abastecimiento de agua, definimos el consumo máximo diario como el día en que se registra la demanda de agua más alta a lo largo de los 365 días del año, esta hora puede variar según las actividades cotidianas, los patrones de consumo y las condiciones climáticas, y se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{MD} = Q_{md} * K_1$$

Dónde:

Q_{MD} : Caudal Máximo Diario (lt/seg)

Q_{md} : Caudal medio diario (lt/seg)

K1: Coeficiente de consumo o mayoración

- **Factor K1**

Este factor representa en términos porcentuales el promedio del consumo máximo de agua durante un periodo de un año. Los diferentes valores de este factor y su aplicación correspondiente se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7

Factor de día máximo.

ZONA	FACTOR K1
Área rural	1.2 - 1.6
Área urbana	1.8 - 2.5
Área metropolitana	2.5 - 5

El K1 usado fue de 1.4, considerando que el proyecto se encuentra en un área rural perteneciente a la parroquia de Alóag.

2.5.1.3 Consumo máximo horario (QMH).

El consumo máximo horario corresponde al caudal máximo registrado durante una hora en un periodo de un año, sin considerar el caudal de incendio. Para calcularlo, multiplicamos el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo horario de la siguiente manera:

$$QMH = Qmd * K2$$

Dónde:

QMH: Caudal máximo horario (lt/seg)

Qmd: Caudal medio diario (lt/seg)

K2: Coeficiente de consumo máximo horario con relación al consumo medio diario

- **Factor K2**

Este factor, expresado en términos porcentuales, refleja el promedio del consumo máximo de agua en el transcurso de un día. Los diferentes valores de este factor se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8

Factor de consumo máximo horario.

ZONA	FACTOR K2
Área rural	1.8 - 2
Área urbana	2 - 3
Área metropolitana	3 - 4

Del mismo modo el K2 usado fue de 2, teniendo en cuenta que el área es una zona rural.

2.6 Caudal de diseño de redes de distribución

Según la EMMAP-Q (2009), el flujo de agua que se debe considerar al momento de planificar, diseñar y dimensionar las redes de distribución de agua potable debe corresponder al caudal máximo horario (QMH) proyectado para el año horizonte del proyecto más el caudal destinado para incendios.

El caudal de diseño debe equilibrar la demanda con la capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia, como incendios, garantizando un suministro confiable y seguro hacia la comunidad, véase la Tabla 9.

Tabla 9

Dotación de agua contra incendios.

NÚMERO DE HABITANTES [en miles]	NÚMERO DE INCENDIOS SIMULTANEOS	DOTACIÓN POR INCENDIO [l/s]
5	1	10
10	1	10
25	2	10
50	2	20
100	2	25
200	3	25
500	3	25
1000	3	25
2000	3	25

Nota. Es la dotación por incendios requerida en función del número de habitantes.

Tomado de la Secretaría del Agua. Fuente: Norma CO 10.07 – 601.

2.7 Población futura

Se refiere a la cantidad de personas que habitarán en el área de influencia del proyecto en un futuro determinado; para estimar este valor, ha de considerarse el periodo de diseño del sistema, y debe notarse que este transcurrirá desde la ejecución misma del proyecto, por lo que la especificación de la fecha inicio de la construcción es importante para determinar el año final del periodo de diseño (Castillo Sarango & Hidalgo Robalino, 2006).

La proyección de la población futura es un componente importante en la planificación y gestión de recursos, incluyendo el diseño y dimensionamiento de sistemas

de abasteciendo de agua potable. Existen varios métodos utilizados para estimar el crecimiento poblacional, entre los cuales se destacan los siguientes:

2.7.1 Método aritmético o lineal

Su uso es aplicable a comunidades pequeñas y se centra en períodos específicos, como trimestres o semestres, y se basa en datos demográficos, principalmente con el objetivo de obtener estimaciones de población.

$$Pf = Pa * (1 + r * n)$$

Donde:

Pa: Población actual

Pf: Población futura

n: Periodo de tiempo (años)

r: Tasa de crecimiento (%)

2.7.2 Método geométrico

Este método se usa para periodos de tiempo cortos, y se emplea porque proporciona estimaciones más realistas, siendo recomendable para poblaciones en pleno desarrollo, debido a que permite estimar poblaciones en un futuro cercano considerando que el crecimiento sigue una tendencia constante.

$$Pf = Pa (1 + r)^n$$

Donde:

Pa: Población actual

Pf: Población futura

n: Periodo de tiempo (años)

r: Tasa de crecimiento (%)

2.7.3 Método exponencial

Se aplica cuando se busca una proyección que tenga en cuenta el crecimiento de la población, su uso es recomendado cuando se tiene niveles de complejidad bajos, medios y medios altos, y es utilizado cuando se espera que la población crezca de manera exponencial constante.

$$Pf = Pa (e)^{r*n}$$

Donde:

Pa: Población actual

Pf: Población futura

n: Periodo de tiempo (años)

r: Tasa de crecimiento (%)

2.8 Densidad poblacional

La densidad poblacional generalmente se expresa como el número de personas por unidad de superficie, y se refiere a la cantidad de personas que viven en un área específica, ya que proporciona una estimación sólida de la cantidad de personas que residen en la zona en cuestión, este es un paso sustancial en la planificación urbana, la toma de decisiones y la gestión de recursos.

$$D_{pob} = \frac{Pob}{Apro}$$

Dónde:

Dpob: Densidad poblacional [habitantes/m2]

Apro: Área de proyecto [m2]

Pob: Población [habitantes]

CAPÍTULO III

DIAGNÓSTICO DE LA RED DE AGUA POTABLE "LLUGSHI"

3.1 Recopilación de información

Se utilizaron diversas estrategias y herramientas de recolección de información, para obtener un panorama más amplio sobre la configuración y el estado actual del sistema de distribución, éstas incluyen:

- **Entrevistas y encuestas:** Se realizó una interacción con los miembros de la Junta Operadora de Agua Potable "Agua Nueva" y los habitantes locales. Durante esta interacción, se recopilaron datos sobre el funcionamiento y desempeño de la red, así como datos técnicos, incluyendo la ubicación, diámetros, materiales y accesorios de las tuberías actuales.
- **Observación in situ:** Para verificar la información proporcionada, se realizaron visitas periódicas a lugares donde se pudo observar la infraestructura existente.
- **Búsqueda de Documentos:** Se examinaron registros e informes que brindaron información sobre aforos realizados anteriormente y dimensiones de la estructura del sitio de distribución (tanque de almacenamiento).

3.2 Identificación de los componentes existentes

3.2.1 Fuente natural

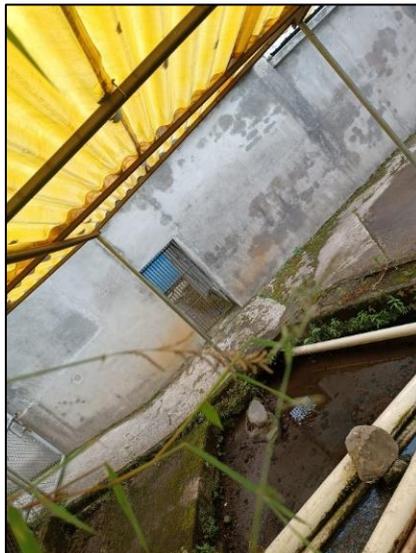
En colaboración con el equipo de la Junta Administradora de Agua Potable "Agua Nueva", se llevó a cabo la localización de la fuente natural, que se trata de un afloramiento, que se muestra en la en la Figura 4. El gasto, al que denominaremos "caudal disponible", proviene de la acumulación de infiltración, producto de la precipitación

sobre el área de la cuenca detallada en la Figura 18; esta infiltración se convierte en escorrentía subterránea, que luego es acumulada y aprovechada.

En un punto dentro de la propiedad perteneciente a la Junta Administradora se excavo y se colocó un mojón de hormigón con una resistencia de 150 kilogramos por centímetro cuadrado y con un diámetro de 18 centímetros, cuya ubicación se detalla en la Figura 5, que servirá como punto de referencia para futuras labores de replanteo. Las coordenadas obtenidas mediante la lectura de la toma de datos del equipo de la casa TOKNAV, se encuentran en la Tabla 10.

Figura 4

Fuente natural “Llugshi”.



Nota. Lugar de afloramiento que abastece al sistema de agua potable. Elaborado por: Los autores.

Tabla 10

Coordenadas de mojón colocado in situ.

COORDENADAS UTM	
NORTE	9948139.741
ESTE	768221.372
ALTITUD	2906.651

Nota. Coordenadas UTM del mojón. Elaborado por: Los autores.

Figura 5

Mojón colocado in situ.



Nota. Colocación del mojón dentro de la propiedad perteneciente a la Junta Administradora. Elaborado por: Los autores.

3.2.2 Reservorio y tratamiento del agua

El agua cruda llega por gravedad desde el afloramiento, por medio de una tubería de PVC de 110 milímetros, hasta arribar al reservorio o tanque de almacenamiento, cuya finalidad es almacenar y regular el caudal captado desde la fuente, en cuyo sitio de

emplazamiento se evidencio que éste fue construido con hormigón, como se observa en la Figura 6, y posee una capacidad de almacenamiento de 100 metros cúbicos. El proceso de tratamiento del líquido vital, se lo realiza por medio de un sistema de goteo que opera las 24 horas, la dosificación usada es una taza y media de hipoclorito de calcio por cada 100 metros cúbicos de agua.

Figura 6

Reservorio existente.



Nota. Tanque de almacenamiento con capacidad de 100 metros cúbicos de agua.

Elaborado por: Los autores.

3.3 Levantamiento topográfico de la red de abastecimiento

Dado que no se tiene algún registro de la topografía de la zona de estudio, el primer paso para el análisis del comportamiento de la red de abastecimiento fue la caracterización del relieve de la zona, para lo cual, se tomaron puntos empleando la metodología de navegación cinética satelital (RTK), mediante el uso del receptor fijo

(base) T20Pro GNSS Receiver y el receptor móvil (rover) T10Pro GNSS Receiver, véase la Figura 7 y Figura 8 respectivamente, con la finalidad de tener las coordenadas exactas de cada uno de los elementos que conforman la configuración actual del sistema, así como los puntos en donde existen medidores, y fugas de agua.

Figura 7

T10Pro GNSS Receiver.



Nota. Tomado de Receptores GNSS – Navegación y Medición con Máxima Exactitud [Fotografía], de Input Webb . Fuente: (<https://inputwebb.com/receptor-gnss/>).

Figura 8

T20Pro GNSS Receiver.



Nota. Tomado de Receptores GNSS – Navegación y Medición con Máxima Exactitud [Fotografía], de Input Webb. Fuente: (<https://inputwebb.com/receptor-gnss/>).

La metodología RTK puede resultar muy sensible en la toma de datos, así que previamente se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Tiempo y clima, se realizó un estudio en base a estos dos factores para determinar el día en el que exista una baja nubosidad y una ausencia de precipitación, esto para obtener una buena precisión en las lecturas.
- Entorno, se tomó en cuenta las condiciones del terreno, asegurando que no existan interferencias físicas ni electromagnéticas.
- Comunicado, con la colaboración de los miembros de la Junta de Agua Potable “Agua Nueva”, se informó a los moradores de la zona respecto al levantamiento de datos.
- Señal satelital, se verificó que existía una buena recepción a los sistemas de navegación GPS, GLONASS, BDS, GALILEO, QZSS e IRNSS

Una vez verificadas las condiciones in situ, se inició colocando la base en un lugar alto y libre de interferencias físicas, para tener una precisión centimétrica; al no tener las coordenadas reales del punto en donde se plantó el receptor fijo, se lo configuró de tal manera que este reciba datos estáticos durante un periodo de 4 horas, para así promediar y mejorar la precisión de las coordenadas del punto llamado “BM1” según se detalla en la Tabla 11. Este proceso se lo realizó tres veces cambiando la ubicación de la base mostradas en la Figura 9, Figura 10 y Figura 11; dado que existían ambigüedades que afectaban a la precisión de la toma de datos. Una vez calibrada la base, con el rover se realizó el recorrido de la zona de estudio, tomando las coordenadas de: medidores, puntos de cambio de dirección de la red de abastecimiento y ubicación de válvulas; los datos recolectados fueron post procesados utilizando los programas Excel y Civil-3D para generar el modelo topográfico como se muestra en la Figura 12.

Figura 9

Punto base BM1.



Nota. Ubicación del equipo para mejorar la precisión del punto BM1. Elaborado por: Los autores.

Figura 10

Punto base BM2.



Nota. Ubicación del equipo para mejorar la precisión del punto BM2. Elaborado por: Los autores.

Figura 11

Punto base BM3.



Nota. Ubicación del equipo para mejorar la precisión del punto BM3. Elaborado por: Los autores.

Tabla 11

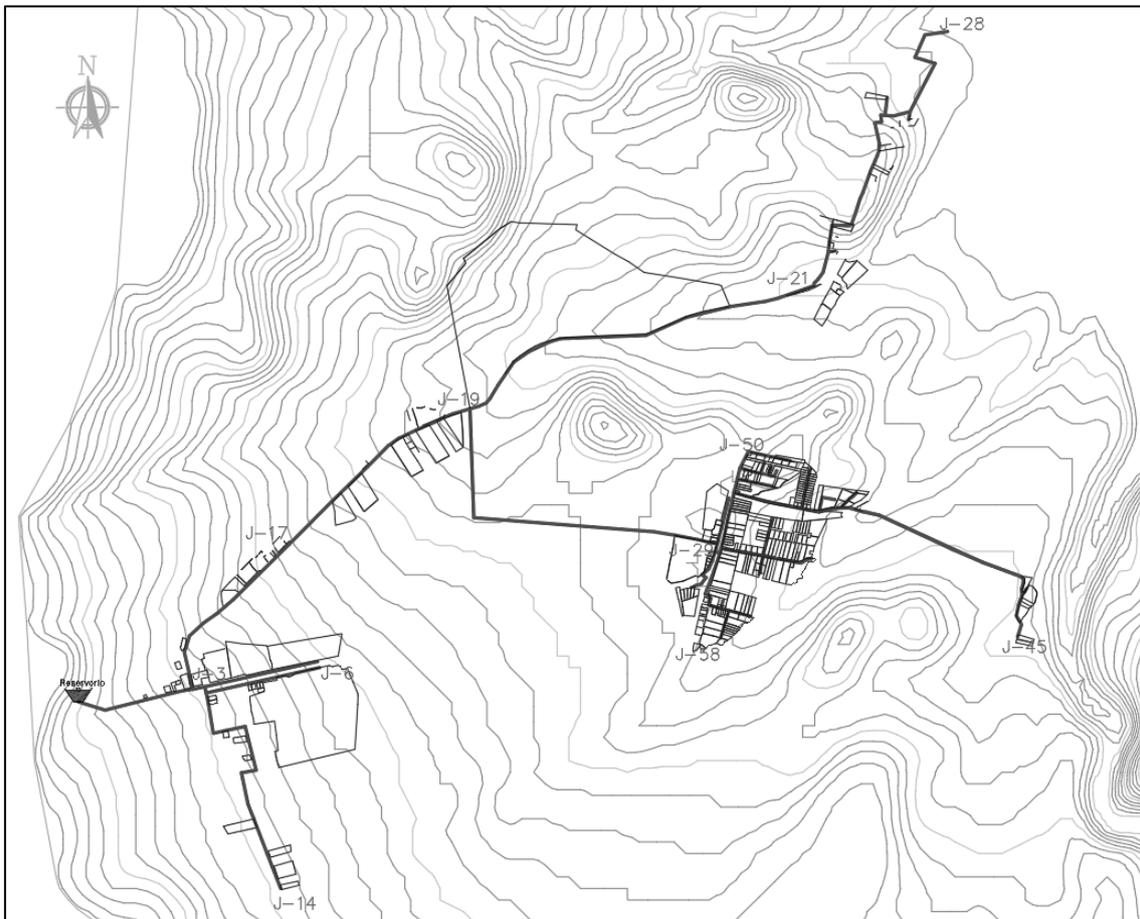
Coordenadas de puntos base.

BM1	
Norte	9948136.31
Este	768145.49
Altitud	2934.60
BM2	
Norte	9949324.82
Este	771257.83
Altitud	2814.68
BM3	
Norte	9949065.84
Este	772091.26
Altitud	2801.15

Nota. Coordenadas base para la precisión de los puntos BM1, BM2 y BM3. Elaborado por: Los autores.

Figura 12

Esquema de la red de abastecimiento “Llugshi”.



Nota. El esquema indica la ubicación de las tuberías dentro de la red de abastecimiento analizada. Elaborado por: Los autores.

3.4 Modelación hidráulica

3.4.1 Trazado de la red

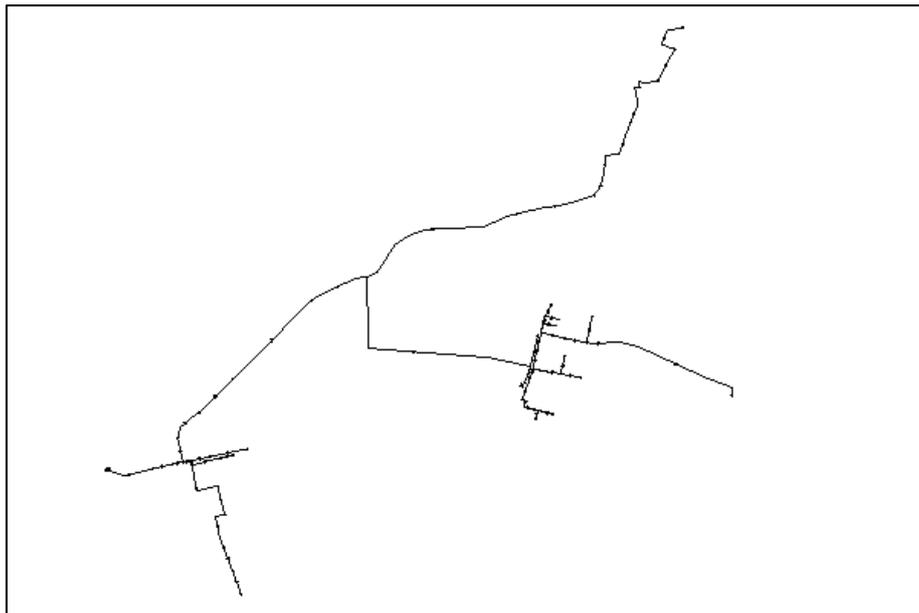
Para comenzar con la modelación hidráulica, es importante una adecuada caracterización de los elementos que son parte de la configuración actual del sistema, por

lo cual el trazado realizado en el programa Civil-3D fue exportado en formato DXF.2004, e importado al programa WaterCAD.

Las herramientas de dibujo se emplearon para trazar las tuberías y configurar sus diámetros, coeficientes de pérdidas menores y materiales. Para representar los nudos en el trazado del programa, se analizaron los datos de ubicación de los medidores tomados en campo en donde se observó que la característica más relevante del ramal analizado, es que existe una gran dispersión habitacional, por lo que los nudos se ubicaron en puntos clave; siguiendo este proceso y se trazó la red indicada en la Figura 13.

Figura 13

Trazado de la red “Llugshi”.



Nota. Trazado de la red en el programa WaterCAD. Elaborado por: Los autores.

Para entender la distribución de los nudos dentro del sistema de abastecimiento, se presenta la Tabla 12, en la que se muestran los nudos de inicio y fin de cada uno de los barrios que forman parte del ramal “Llugshi”.

Tabla 12

Distribución de nudos según el barrio.

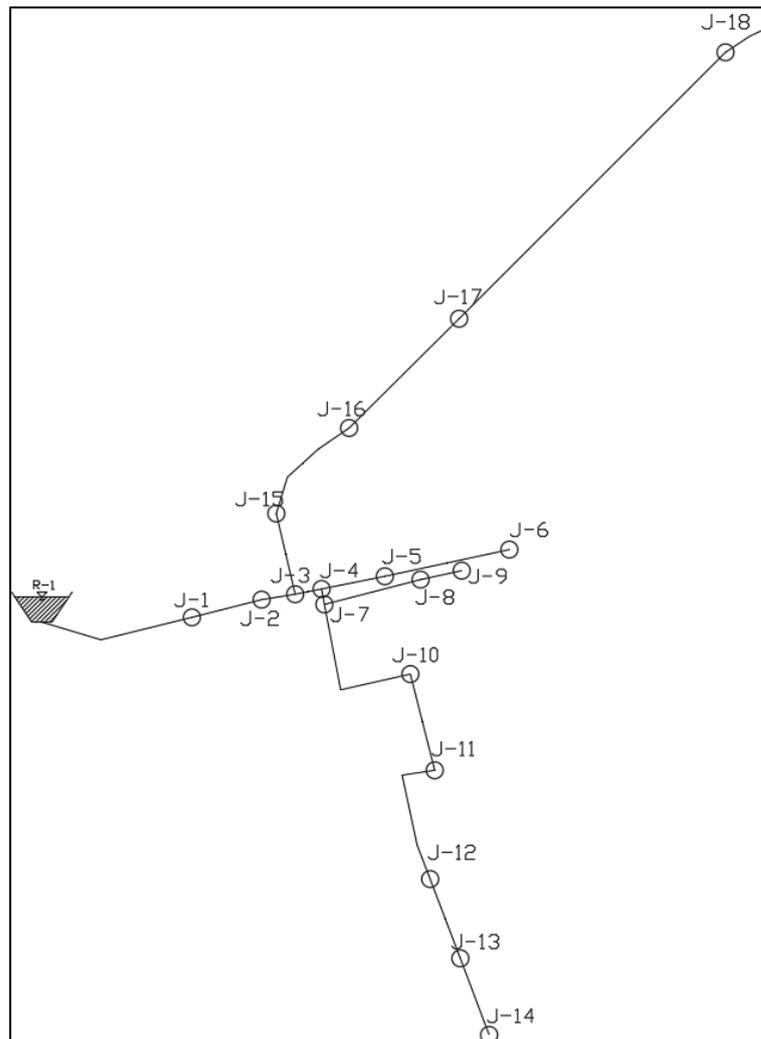
BARRIO	NUDO INICIO	NUDO FIN
Alóag	J-1	J-16
Rumipamba	J-17	J-18
La Hacienda	J-19	J-20
La Aduana	J-21	J-23
San Carlos	J-24	J-28
El Obelisco	J-29	J-32
San Luis	J-33	J-38
San José de la Calera	J-39	J-50
La Escuela	J-51	J-58

Nota. Se muestran los nudos de inicio y fin de cada uno de los barrios pertenecientes al ramal “Llugshi”. Elaborado por: Los autores.

En la Figura 14, se presentan los nudos correspondientes al barrio de Rumipamba y la parte central de Alóag.

Figura 14

Nudos del tramo 1 de la red de abastecimiento.

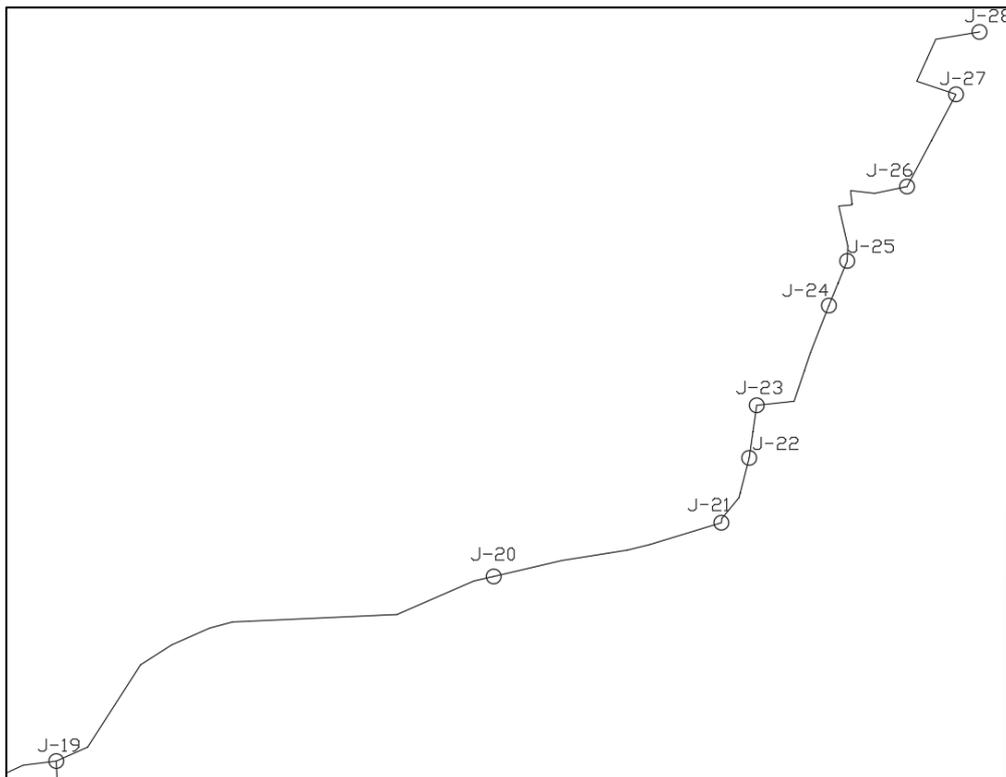


Nota. El esquema indica la ubicación de los nudos del Tramo 1 dentro de la red de abastecimiento analizada. Elaborado por: Los autores.

En la Figura 15, se presentan los nudos pertenecientes a los barrios de: La Hacienda, La Aduana y San Carlos.

Figura 15

Nudos del tramo 2 de la red de abastecimiento.

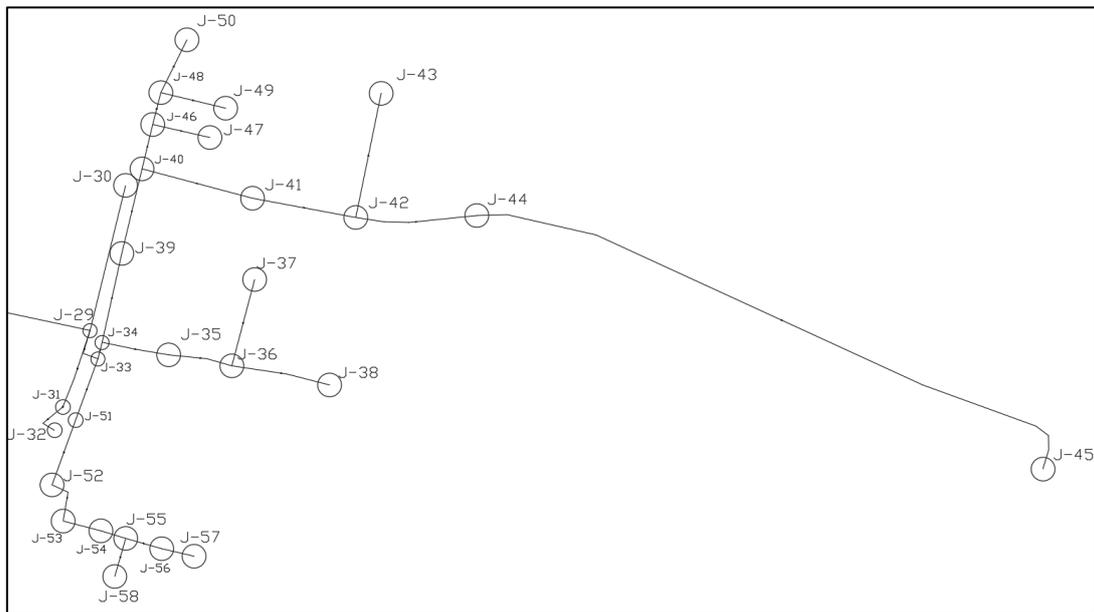


Nota. El esquema indica la ubicación de los nudos del Tramo 2 dentro de la red de abastecimiento analizada. Elaborado por: Los autores.

En la Figura 16, se presentan los nudos pertenecientes a los barrios de: El Obelisco, San Luis, San José de la Calera y La Escuela.

Figura 16

Nudos del tramo 3 de la red de abastecimiento.



Nota. El esquema indica la ubicación de los nudos del Tramo 3 dentro de la red de abastecimiento analizada. Elaborado por: Los autores.

3.4.2 Estimación de caudales

La estimación de caudales es un procedimiento importante en la administración del recurso hídrico, debido a que equilibra la disponibilidad y el uso del agua. En este análisis, la cantidad de agua suministrada desde el afloramiento “Llugshi” por unidad de tiempo se llamó “caudal disponible”; por otro lado, la cantidad de agua requerida por unidad de tiempo para cubrir las necesidades poblacionales se denominó “caudal de demanda”.

3.4.2.1 Caudal disponible

Para analizar la variación del caudal disponible en el afloramiento “Llugshi”, se llevaron a cabo dos procesos complementarios, donde uno validaba al otro. En primera instancia, se realizó un aforo volumétrico para medir la cantidad de agua que entra al

tanque de almacenamiento, utilizando datos reales medidos; como procedimiento complementario, se aplicó el Método SCS de abstracciones para verificar el caudal aportado por la escorrentía subterránea a la fuente a lo largo de un año, evaluando el comportamiento de las precipitaciones y determinando si esta fuente es adecuada para abastecer a la población.

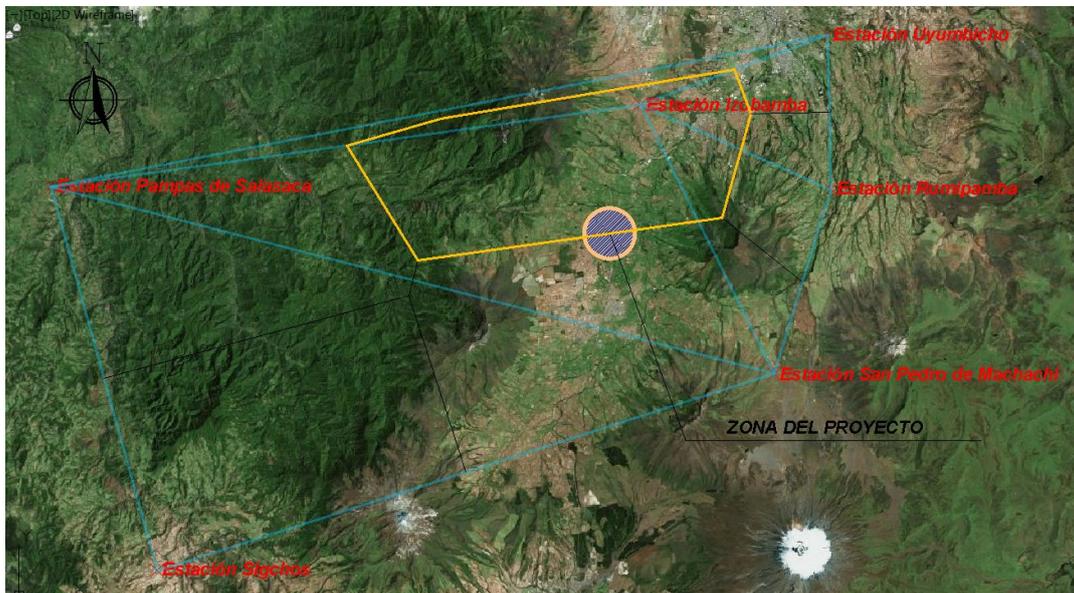
Previo al cálculo de la precipitación media, se usó el método de los Polígonos de Thiessen, con el objetivo de determinar la estación cuyos datos serán representativos en la zona del proyecto.

El método utiliza datos de estaciones cercanas y consiste en conectar mediante líneas las diversas estaciones ubicadas dentro y fuera de la zona de estudio, con el propósito de formar polígonos a través de la triangulación.

Una vez realizado el trazado de los polígonos de Thiessen, se determinó que la Estación Izobamba M0003 sería la encargada de proporcionar datos de precipitación para la zona del proyecto, por ser la más cercana al área de estudio, tal como se muestra en la Figura 17.

Figura 17

Trazado de los polígonos de Thiessen.



Nota. Se muestra la unión de las estaciones cercanas al proyecto. Elaborado por: Los autores.

A partir de los datos de precipitación proporcionados por los anuarios de la Estación Izobamba M0003, se determinaron los valores de precipitación mínima, media y máxima, los cuales se presenta en la Tabla 13.

Tabla 13*Precipitación en la zona del proyecto según la Estación Izobamba.*

DATOS DE PRECIPITACIÓN DE LA ESTACIÓN IZOBAMBA M0003 [mm]												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2004	58.9	66.1	74.8	150.4	147.4	24.3	28.6	3.1	98.7	136.3	152.7	187.7
2005	33.3	201.4	210.2	115.7	100.1	66.8	50.6	53.9	84.1	83.7	105.8	159.4
2006	93.3	188.8	167.5	262	76.3	92.2	13.1	23.6	51.6	76.5	245.9	174.6
2007	171.3	55.1	229.9	264.3	243.6	59.7	62.6	34.8	16.4	201.9	326.2	117.8
2008	246.6	275.5	263.5	257	216.4	111.5	28.5	96.7	103.1	199.5	108	126
2009	295.4	186.6	262.4	189.9	102.8	48.2	7.1	29	9.7	86.4	88.8	209.9
2010	45.6	103.7	114.2	289.2	149.2	100.4	196.2	52.5	79.5	89.7	249.4	304.8
2011	138.3	193.3	143.7	262.4	92.8	61.4	69.4	76.7	56.9	197.6	30.4	164.9
2012	254.3	227.3	197.4	219.3	64.9	10.6	19.8	20	20.5	167	169	30.5
2013	43.7	230.5	128.1	101.9	239	9.8	8.3	43.5	38.9	191.5	45.9	79.6
P. MIN	33.3	55.1	74.8	101.9	64.9	9.8	7.1	3.1	9.7	76.5	30.4	30.5
P. MED	138.07	172.83	179.17	211.21	143.25	58.49	48.42	43.38	55.94	143.01	152.21	155.52
P. MAX	295.4	275.5	263.5	289.2	243.6	111.5	196.2	96.7	103.1	201.9	326.2	304.8

Nota. Se indica los datos de precipitación recopilados por la Estación Izobamba.

Elaborado por: Los autores. Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI.

3.4.2.1.1 Método SCS

Para estimar el caudal que se presenta en la fuente natural, se aplicó el método elaborado por hidrólogos del Soil Conservation Service de los Estados Unidos de América (SCS).

Según los parámetros establecidos en la Tabla 14, se definió que el número de curva correspondiente al área del proyecto sería de 88; este valor se correlaciona con el grupo hidrológico de suelo C, el cual clasifica a tierras dedicadas al cultivo sin tratamientos de conservación.

$$CN = 88 \text{ (Número de curva)}$$

Tabla 14

Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones de humedad II).

NÚMERO DE CURVA DE ESCORRENTÍA PARA USOS SELECTOS DE TIERRA AGRÍCOLA, SUBURBANA Y URBANA (CONDICIONES ANTECEDENTES DE HUMEDAD II, Ia=0.2S)					
DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA		GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
		A	B	C	D
Tierra cultivada:	Sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
	Con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales:	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos:	Condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques:	Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
	cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, céped, parques, campos de golf, cementerios, etc.					
Óptimas condiciones:	Cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
Condiciones aceptables:	Cubierta de pasto en el 50% al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	81	93
Residencial					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre o menos	38	61	75	83	87
1/3 acre o menos	30	57	72	81	86
1/2 acre o menos	25	54	70	80	85
1 acre o menos	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carreteras					
Pavimentos con cunetas y alcantarillados		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89

Nota. Son los valores de numero de curva (CN) con respecto al uso y tipo de suelo.

Elaborado por: Los autores. Fuente: Hidrología aplicada- Ven Te Chow.

Por lo tanto, la retención máxima potencial inicial, será:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

$$S = 34.64 [mm]$$

Para aplicar el Método SCS, se requiere conocer el área de aportación que contribuye al afloramiento. Por ello, se realizó el trazado de la cuenca, como se muestra en la Figura 18, obteniéndose un área de 2199617 m².

Figura 18

Trazado de la cuenca del afloramiento “Llugshi”.



Nota. Se muestra el trazado de la cuenca que contribuye a la vertiente Llugshi. Elaborado por: Los autores a través de Google Earth Pro, 2024.

Con los datos de precipitación, la retención máxima potencial inicial y el área de aportación, se calcularon los caudales mensuales provenientes del afloramiento para cada año, detallados en la Tabla 15.

Tabla 15*Caudales del afloramiento Llugshi.*

CAUDALES MENSUALES [lt/s]												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2004	26.47	31.67	38.14	98.08	95.63	4.92	7.08	0.40	56.54	86.60	99.96	128.74
2005	9.67	140.08	147.39	70.01	57.64	32.19	20.67	22.94	45.20	44.90	62.14	105.44
2006	52.32	129.65	112.09	190.58	39.27	51.46	0.79	4.60	21.35	39.42	177.12	117.93
2007	115.21	23.78	163.78	192.50	175.20	27.04	29.12	10.55	1.73	140.50	244.42	71.69
2008	177.71	201.88	191.84	186.40	152.54	66.66	7.03	54.97	60.00	138.51	63.88	78.28
2009	218.56	127.83	190.91	130.56	59.77	19.04	0.00	7.29	0.17	46.97	48.82	147.14
2010	17.31	60.48	68.81	213.36	97.10	57.88	135.77	21.97	41.69	49.52	180.05	226.45
2011	88.22	133.37	92.61	190.91	51.93	28.26	34.11	39.57	25.05	136.93	8.05	109.95
2012	184.14	161.61	136.77	154.95	30.80	0.30	2.96	3.04	3.24	111.68	113.32	8.10
2013	16.07	164.28	79.97	59.06	171.37	0.19	0.04	15.94	13.02	131.88	17.51	41.77
Q. MIN	9.67	23.78	38.14	59.06	30.80	0.19	0.00	0.40	0.17	39.42	8.05	8.10
Q. MED	90.57	117.46	122.23	148.64	93.12	28.79	23.76	18.13	26.80	92.69	101.53	103.55
Q. MAX	218.56	201.88	191.84	213.36	175.20	66.66	135.77	54.97	60.00	140.50	244.42	226.45

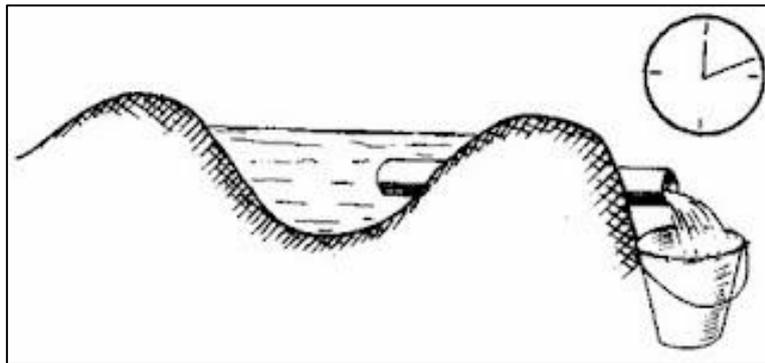
Nota. Se muestran los caudales mensuales calculados. Elaborado por: Los autores.

3.4.2.1.2 Aforo volumétrico

Para determinar el caudal que llega al tanque de almacenamiento, representativo de un momento específico, se llevó a cabo un aforo volumétrico, el cual consistió en cronometrar el tiempo de llenado de un recipiente de medidas conocidas, como se muestra en la Figura 19. Este proceso se realizó tres veces en fechas diferentes para considerar la posible variabilidad temporal; en cada ocasión, se llenó el recipiente desde el afloramiento “Llugshi”, y se registró el tiempo necesario para completarlo; posteriormente, se calculó el caudal dividiendo el volumen del recipiente entre el tiempo medido, obteniendo así un valor de caudal para cada prueba, cuyos resultados se resumen en la Tabla 16.

Figura 19

Aforo Volumétrico.



Nota. Se indica un esquema del método usado para medir el caudal de oferta. Elaborado por: Cueva del Ingeniero Civil. (2011). Aforo volumétrico. En Métodos de aforo directo.

Recuperado de <https://www.cuevadelcivil.com/2011/02/metodos-de-aforo-directo.html>

Tabla 16

Caudal aforado en la época invernal.

FECHA DE AFORO	CAUDAL [lt/s]
24/4/2024	7.75
28/5/2024	7.88
28/6/2024	7.92

Nota. Se observa el caudal de oferta de la fuente natural. Elaborado por: Los autores.

Al comparar los caudales obtenidos mediante el aforo y el Método SCS, se muestran diferencias significativas, siendo notablemente superiores los caudales estimados por el Método SCS en comparación con los obtenidos por el aforo in situ.

La razón principal de esta disparidad se debe a la asignación del caudal entre: La Dirección de Agencia Llugshi, Las Juntas de Administradoras de Agua de Alóag y La

Dirección de Industrias del Ejército. Es importante destacar que, además de las adjudicaciones mencionadas, existe un caudal remanente que permite fluir libremente al agua cruda, este contribuye a mantener el equilibrio ecológico del sistema hídrico y asegura un suministro aguas abajo; en la Tabla 17 se muestran los caudales destinados a cada entidad.

Tabla 17

Caudal de los peticionarios adjudicados.

FUENTE	CAUDAL [lts/s]	DESTINATARIO
Llugshi	10	<i>Dirección de Agencia Llugshi</i>
Llugshi	5	<i>Dirección de Industrias del Ejército</i>
Llugshi	7.92	<i>Junta "Agua nueva"</i>
Llugshi	10	<i>Caudal remanente</i>
Σ	32.92	

Nota. Se muestra el caudal adjudicado para cada entidad de Alóag. Tomado de *Informe de Estudio de Prospección y Aforo: Vertiente Llugshi*, por Ing. Esteban Hinojosa M., Junio-2007, (Documento proporcionado por la Junta de Agua Potable).

Para determinar el caudal total, decidimos utilizar el mismo valor registrado en junio en el Informe de Estudio de Prospección y Aforo, debido a su similitud con el caudal aforado presente en la Tabla 16, paralelamente, se obtuvo del registro el caudal ecológico (remanente). El caudal registrado fue de 32.92 lt/s, mientras que el calculado mediante el Método SCS fue de 27.04 lt/s, ambos correspondientes al mes de junio; esta discrepancia puede atribuirse a las variaciones climáticas, lo que subraya la necesidad de considerar estos factores para comprender las diferencias entre los métodos de medición. El Método SCS ofrece una estimación del caudal total aportado por la vertiente Llugshi, mientras que el aforo directo refleja el caudal realmente disponible.

3.4.2.2 Caudal de demanda.

En el área de estudio del proyecto, se observó que la distribución habitacional en la Red “Llugshi” es altamente dispersa, lo que refleja una falta de homogeneidad en la población. Además, se identificaron sectores industriales, educativos y comerciales, por esta razón, se llevó a cabo una identificación detallada del tipo de uso de las infraestructuras y un conteo manual correspondiente, esto permitió estimar adecuadamente los caudales de demanda en los nodos de la red.

Se llevó a cabo una encuesta para determinar el promedio de habitantes, dando como resultado que la media de habitantes por vivienda son 4 personas; posteriormente, con ayuda del registro topográfico previamente generado, se realizó un recorrido para conocer el número de casas beneficiarias de la red de abastecimiento; con el número total de hogares y el número de habitantes, se efectuó una multiplicación de estas variables para determinar el número actual de habitantes en nuestra área de estudio, como se refleja detalladamente en la Tabla 18.

Tabla 18

Número de habitantes por cada Barrio.

BARRIO	NÚMERO DE HOGARES	HABITANTES
Centro de Alóag	65	260
Rumipamba	44	176
La Hacienda	14	56
La Aduana	62	248
San Carlos	84	336
El Obelisco	44	156
San Luis	87	232
San José de la Calera	124	616

La Escuela	48	192
Total	572	2272

Nota. Se indica el número de habitantes de cada barrio perteneciente al ramal Llugshi.

Elaborado por: Los autores.

Para estimar el caudal de demanda, se analizó el tipo de uso de las infraestructuras de los beneficiarios de la red de abastecimiento, identificándose sectores educativos, industriales y habitacionales; con base en esta clasificación, se adoptaron las dotaciones especificadas en la Tabla 19.

Tabla 19

Dotaciones de los establecimientos.

TIPO DE ESTABLECIMIENTO	UNIDAD	DOTACION
Escuelas y colegios	lts/estudiante/día	20
Talleres, industrias y agencias	lts/trabajador/jornal	80
Habitacional	lts/habitante/día	150

Nota. Se indican las dotaciones recomendadas que están en función al tipo de establecimiento. Elaborado por: Los autores.

Para los sectores residenciales, donde la población es menor a 5000 habitantes y debido a que Alóag presenta una temperatura media anual de 21 °C, se adoptó una dotación de 150 litros por habitante por día; en el sector industrial, se consideró una jornada de trabajo de 8 horas; en el caso del sector educativo, se consideró una jornada de 7 horas, con estas consideraciones, se presentan los caudales de demanda asignados a cada nudo en la Tabla 20.

Tabla 20*Caudales de demanda actuales.*

NUDO	POBLACION [hab]	TIPO DE ESTABLECIMIENTO	CAUDAL DE DEMANDA [lts/seg]
J-1	8	Residencial	0.014
J-2	36	Residencial	0.063
J-3	8	Residencial	0.014
J-4	4	Residencial	0.007
J-5	0	Educativo	0.000
J-6	12	Residencial	0.021
J-7	12	Residencial	0.021
J-8	36	Residencial	0.063
J-9	1000	Industrial	2.778
J-10	24	Residencial	0.042
J-11	16	Residencial	0.028
J-12	12	Residencial	0.021
J-13	12	Residencial	0.021
J-14	20	Residencial	0.035
J-15	4	Residencial	0.007
J-16	56	Residencial	0.097
J-17	64	Residencial	0.111
J-18	112	Residencial	0.678
J-19	40	Residencial	0.069
J-20	16	Residencial	0.028
J-21	120	Residencial	0.208
J-22	80	Residencial	0.139
J-23	48	Residencial	0.083
J-24	52	Residencial	0.090
J-25	124	Residencial	0.215
J-26	148	Residencial	0.257
J-27	14	Industrial	0.039
J-28	12	Residencial	0.021
J-29	72	Residencial	0.125
J-30	8	Industrial	0.022
J-31	12	Residencial	0.021
J-32	72	Residencial	0.125
J-33	8	Residencial	0.014
J-34	44	Residencial	0.076
J-35	60	Residencial	0.104
J-36	12	Residencial	0.021
J-37	56	Residencial	0.097
J-38	52	Residencial	0.090
J-39	68	Residencial	0.118
J-40	84	Residencial	0.146
J-41	76	Residencial	0.132
J-42	52	Residencial	0.090
J-43	12	Residencial	0.021
J-44	68	Residencial	0.118

J-45	56	Residencial	0.097
J-46	40	Residencial	0.069
J-47	36	Residencial	0.063
J-48	28	Residencial	0.049
J-49	52	Residencial	0.090
J-50	44	Residencial	0.076
J-51	8	Industrial	0.022
J-52	36	Residencial	0.063
J-53	32	Residencial	0.056
J-54	32	Residencial	0.056
J-55	112	Educativo	0.089
J-56	32	Residencial	0.056
J-57	16	Residencial	0.028
J-58	44	Residencial	0.076
Σ	3414		7.378

Nota. Se indica el caudal de demanda actuales en cada nodo dentro del sistema de abastecimiento. Elaborado por: Los autores.

3.4.3 Calibración del modelo

Los datos obtenidos durante el recorrido sirvieron de base para la elaboración del modelo en el programa WaterCAD, en el que el modelado se efectuó realizando un análisis hidráulico, simulando el flujo del agua en la red, para obtener resultados respecto a las siguientes variables: caudales, velocidades, pérdidas de carga y presiones.

3.4.3.1 Verificación de presiones.

Para validar la información proporcionada por la junta administradora, se realizó una inspección con el fin de encontrar las tuberías en el sitio, sin embargo, al no encontrarse las tuberías, pese a haber excavado calicatas para encontrarlas, dada la falta de información respecto a su ubicación, y a la poca certeza respecto al lugar donde se ubican algunos de sus componentes, se procedió a recorrer la red de distribución y tomar lecturas de las presiones en los nodos utilizando el instrumento mostrado en la Figura 20; este proceso se llevó a cabo en dos fechas diferentes. Las lecturas obtenidas se presentan en la Figura 21, Figura 22, Figura 24, Figura 25 y Figura 26.

Figura 20

Manómetro de presión con conexiones de tubería.



Nota. Se observa un manómetro conectado a un juego de accesorios para medir la presión, la capacidad de este es de 200 Psi. Elaborado por: Los autores.

Figura 21

Lectura de presión en la red (nodo 1), mediante manómetro.



Nota. Se presentan las lecturas del Nudo 1 tomadas en dos fechas diferentes. Elaborado por: Los autores.

Figura 22

Lectura de presión en la red (nodo 21), mediante manómetro.



Nota. Se presentan las lecturas del Nudo 21 tomadas en dos fechas diferentes. Elaborado por: Los autores.

Figura 23

Lectura de presión en la red (nodo 25), mediante manómetro.



Nota. Se presenta la lectura del Nudo 25. Elaborado por: Los autores.

Figura 24

Lectura de presión en la red (nodo 31), mediante manómetro.



Nota. Se presentan las lecturas del Nudo 31 tomadas en dos fechas diferentes. Elaborado por: Los autores.

Figura 25

Lectura de presión en la red (nodo 36), mediante manómetro.



Nota. Se presentan las lecturas del Nudo 36 tomadas en dos fechas diferentes. Elaborado por: Los autores.

Figura 26

Lectura de presión en la red (nodo 57), mediante manómetro.



Nota. Se presentan las lecturas del Nudo 57 tomadas en dos fechas diferentes. Elaborado por: Los autores.

En la Tabla 21 se presenta a detalle la comparación entre las lecturas tomadas en campo y los resultados generados mediante el programa WaterCAD, en el modelo elaborado con base en los datos de los diámetros de la red reportados por los personeros de la Junta Administradora de Agua Potable, en la Figura 27 se muestra las lecturas generadas del modelo hidráulico, mismas que se presentan poca diferencia; sin embargo, a partir del Nudo J-19 se encontraron variaciones significativas al comparar estos resultados, lo que generó dudas sobre la información proporcionada por la junta administradora en cuanto a los diámetros de las tuberías instaladas.

Tabla 21

Comparación de presiones.

NODO	INFORMACIÓN LEVANTADA				MODELO [m H2O]	VARIACIÓN ΔP [m H2O]
	19/06/2024		29/06/2024			
	[psi]	[m H2O]	[psi]	[m H2O]		
J-1	18	12.66	20	14.06	13	0.34
J-4	25	17.58	25	17.58	18	0.42

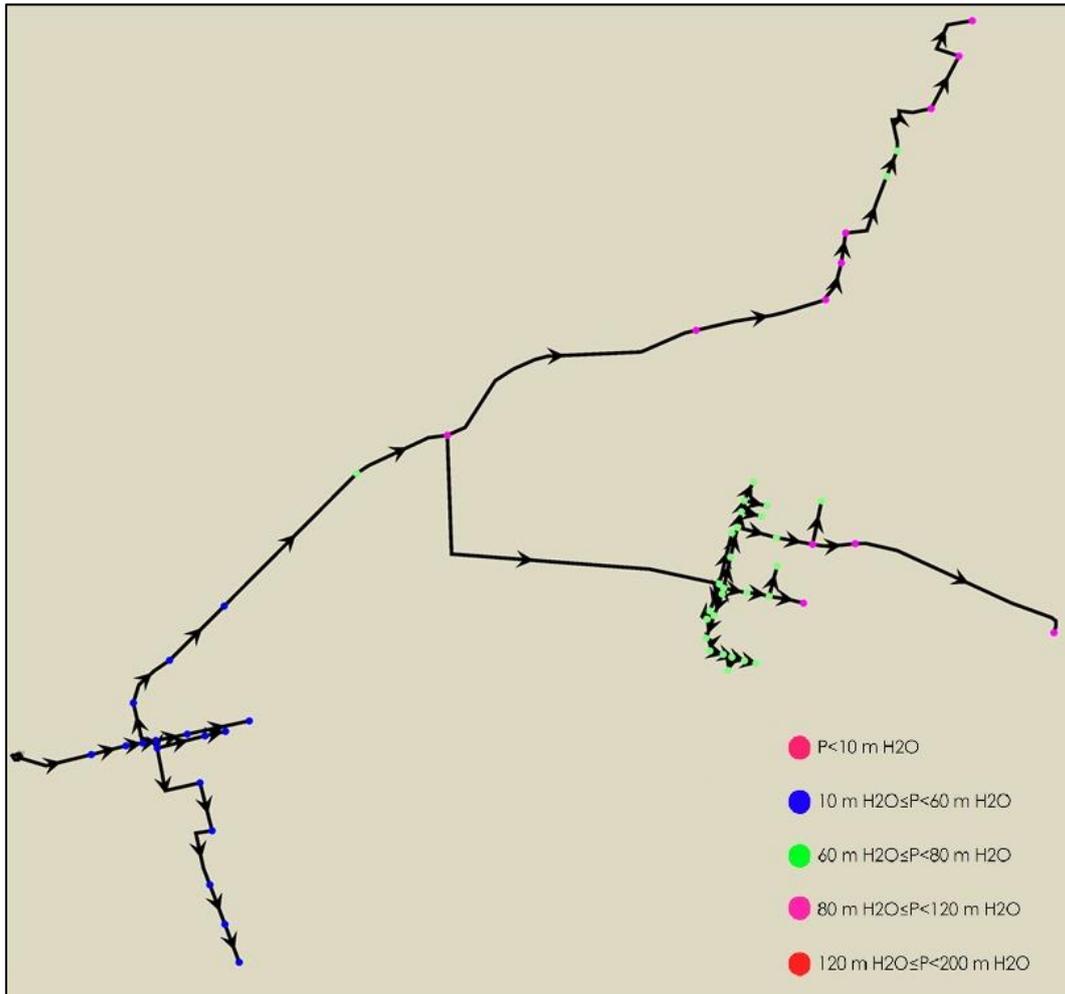
J-6	46	32.34	46	32.34	31	1.34
J-7	25	17.58	25	17.58	18	0.42
J-14	30	21.09	30	21.09	20	1.09
J-15	30	21.09	30	21.09	22	0.91
J-17	50	35.15	50	35.15	35	0.15
J-19	75	52.73	75	52.73	81	<u>28.27</u>
J-21	85	59.76	84	59.06	106	<u>46.94</u>
J-22	75	52.73	75	52.73	111	<u>58.27</u>
J-23	35	24.61	34	23.90	83	<u>59.10</u>
J-25	0	0.00	0	0.00	72	<u>72.00</u>
J-26	50	35.15	45	31.64	108	<u>76.36</u>
J-27	50	35.15	48	33.75	111	<u>77.25</u>
J-29	46	32.34	45	31.64	72	<u>40.36</u>
J-30	45	31.64	46	32.34	73	<u>40.66</u>
J-31	44	30.94	45	31.64	72	<u>40.36</u>
J-35	50	35.15	50	35.15	76	<u>40.85</u>
J-36	50	35.15	52	36.56	77	<u>40.44</u>
J-37	55	38.67	56	39.37	79	<u>39.63</u>
J-38	60	42.18	60	42.18	82	<u>39.82</u>
J-40	50	35.15	50	35.15	74	<u>38.85</u>
J-41	55	38.67	55	38.67	78	<u>39.33</u>
J-43	55	38.67	57	40.07	78	<u>37.93</u>
J-44	70	49.21	70	49.21	88	<u>38.79</u>
J-45	70	49.21	72	50.62	88	<u>37.38</u>
J-46	45	31.64	45	31.64	73	<u>41.36</u>
J-48	44	30.94	45	31.64	74	<u>42.36</u>
J-50	40	28.12	40	28.12	68	<u>39.88</u>
J-52	45	31.64	45	31.64	72	<u>40.36</u>
J-53	45	31.64	45	31.64	71	<u>39.36</u>
J-54	45	31.64	45	31.64	73	<u>41.36</u>
J-55	50	35.15	50	35.15	74	<u>38.85</u>
J-57	55	38.67	55	38.67	79	<u>40.33</u>
J-58	50	35.15	50	35.15	75	<u>39.85</u>

Nota. Se evidencia la variación entre las presiones modeladas y las levantadas in situ.

Elaborado por: Los autores.

Figura 27

Presiones del modelo inicial.



Nota. Se presentan los nodos con una colorimetría para identificar las presiones generadas con el programa WaterCAD en los nudos de la red de abastecimiento. Elaborado por: Los autores.

3.4.3.1.1 Reconfiguración de la red de abastecimiento

Se reconfiguró el modelo de la red de abastecimiento con el objetivo de ajustar los diámetros de las tuberías para obtener una configuración que refleje con mayor precisión las presiones tomadas en campo con el manómetro, este proceso implicó la

modificación de los diámetros de las tuberías en el modelo hidráulico, hasta lograr que los resultados de las simulaciones sean semejantes con las lecturas de presión registradas en los nodos, tal como se muestra en la Tabla 22.

Para alcanzar resultados congruentes con las mediciones in situ y cumplir con la normativa que establece una presión mínima de 10 mca, se realizaron ajustes en los diámetros de las tuberías, tal y como se muestran en la Tabla 23, este proceso es importante para enfrentar las diversas fluctuaciones de presión que pueden surgir debido a varios factores, tales como: las variaciones del terreno que inducen cambios naturales en la presión, la demanda variable a lo largo del día por el alto consumo, las pérdidas de carga en tuberías largas o con giros, el cambio de diámetro de las tuberías que afectan directamente la presión y las fugas en el sistema que causan caídas de presión localizadas.

Tabla 22

Comparación de presiones.

NODO	INFORMACIÓN LEVANTADA				MODELO [m H2O]	VARIACIÓN ΔP [m H2O]
	19/06/2024		29/06/2024			
	[psi]	[m H2O]	[psi]	[m H2O]		
J-1	18	12.66	18	12.66	13	0.34
J-4	25	17.58	25	17.58	18	0.42
J-6	46	32.34	46	32.34	31	1.34
J-7	25	17.58	25	17.58	18	0.42
J-14	30	21.09	30	21.09	20	1.09
J-15	30	21.09	30	21.09	22	0.91
J-17	50	35.15	50	35.15	35	0.15
J-19	75	52.73	75	52.73	54	1.27
J-21	85	59.76	84	59.06	58	1.06
J-22	75	52.73	75	52.73	54	1.27
J-23	35	24.61	34	23.90	22	1.90
J-25	0	0.00	0	0.00	0	0.00
J-26	50	35.15	45	31.64	32	0.36
J-27	50	35.15	48	33.75	35	1.25
J-29	46	32.34	45	31.64	33	1.36
J-30	45	31.64	46	32.34	34	1.66
J-31	44	30.94	45	31.64	32	0.36

J-35	50	35.15	50	35.15	37	1.85
J-36	50	35.15	52	36.56	38	1.44
J-37	55	38.67	56	39.37	40	0.63
J-38	60	42.18	60	42.18	43	0.82
J-40	50	35.15	50	35.15	34	1.15
J-41	55	38.67	55	38.67	38	0.67
J-43	55	38.67	57	40.07	39	1.07
J-44	70	49.21	70	49.21	49	0.21
J-45	70	49.21	72	50.62	49	1.62
J-46	45	31.64	45	31.64	33	1.36
J-48	44	30.94	45	31.64	34	2.36
J-50	40	28.12	40	28.12	29	0.88
J-52	45	31.64	45	31.64	32	0.36
J-53	45	31.64	45	31.64	32	0.36
J-54	45	31.64	45	31.64	33	1.36
J-55	50	35.15	50	35.15	35	0.15
J-57	55	38.67	55	38.67	40	1.33
J-58	50	35.15	50	35.15	36	0.85

Nota: Se evidencia la corrección de las variaciones entre las presiones modeladas y las levantadas in situ. Elaborado por: Los autores.

Tabla 23

Comparación entre los diámetros indicados por la junta y los ajustados.

TUBERIA	NODO INICIO	NODO FIN	LONGITUD	MATERIAL	DIAMETRO INDICADO POR LA JUNTA	DIAMETRO AJUSTADO
P-1	R-1	J-1	301	PVC	105.6	105.6
P-2	J-1	J-2	139	PVC	105.6	105.6
P-3	J-2	J-3	66	PVC	105.6	105.6
P-4	J-3	J-4	52	PVC	59.8	59.8
P-5	J-4	J-5	125	PVC	59.8	59.8
P-6	J-5	J-6	246	PVC	16.8	13.9
P-7	J-4	J-7	31	PVC	59.8	59.8
P-8	J-7	J-8	192	PVC	59.8	59.8
P-9	J-8	J-9	81	PVC	59.8	59.8
P-10	J-7	J-10	307	PVC	59.8	59.8
P-11	J-10	J-11	193	PVC	59.8	59.8
P-12	J-11	J-12	274	PVC	59.8	59.8
P-13	J-12	J-13	165	PVC	59.8	59.8
P-14	J-13	J-14	159	PVC	59.8	59.8
P-15	J-3	J-15	161	PVC	105.6	105.6
P-16	J-15	J-16	227	PVC	105.6	105.6

P-17	J-16	J-17	301	PVC	105.6	105.6
P-18	J-17	J-18	731	PVC	105.6	70.2
P-19	J-18	J-19	386	PVC	105.6	70.2
P-20	J-19	J-20	1,114	PVC	59.8	46
P-21	J-20	J-21	518	PVC	59.8	37.8
P-22	J-21	J-22	161	PVC	59.8	29.8
P-23	J-22	J-23	118	PVC	45	29.8
P-24	J-23	J-24	310	PVC	45	29.8
P-25	J-24	J-25	107	PVC	45	29.8
P-26	J-25	J-26	313	PVC	45	28.8
P-27	J-26	J-27	232	PVC	45	28.8
P-28	J-27	J-28	292	PVC	16.8	16.8
P-29	J-19	J-29	1,514	PVC	105.6	76.6
P-30	J-29	J-30	205	PVC	59.8	36
P-31	J-29	J-31	112	PVC	59.8	36
P-32	J-31	J-32	54	PVC	59.8	36
P-33	J-29	J-33	55	PVC	105.6	76.6
P-34	J-33	J-34	23	PVC	105.6	76.6
P-35	J-34	J-35	92	PVC	47.4	47.4
P-36	J-35	J-36	88	PVC	47.4	47.4
P-37	J-36	J-37	123	PVC	29.8	29.8
P-38	J-36	J-38	136	PVC	47.4	47.4
P-39	J-34	J-39	125	PVC	105.6	76.6
P-40	J-39	J-40	120	PVC	105.6	76.6
P-41	J-40	J-41	156	PVC	45	47.4
P-42	J-41	J-42	143	PVC	45	47.4
P-43	J-43	J-42	174	PVC	45	47.4
P-44	J-42	J-44	166	PVC	28.8	29.8
P-45	J-44	J-45	890	PVC	28.8	29.8
P-46	J-40	J-46	63	PVC	105.6	76.6
P-47	J-46	J-47	80	PVC	29.8	59.8
P-48	J-46	J-48	45	PVC	105.6	76.6
P-49	J-48	J-49	91	PVC	59.8	59.8
P-50	J-48	J-50	81	PVC	105.6	76.6
P-51	J-33	J-51	90	PVC	105.6	76.6
P-52	J-51	J-52	94	PVC	105.6	76.6
P-53	J-52	J-53	64	PVC	105.6	76.6
P-54	J-53	J-54	53	PVC	45	47.4
P-55	J-54	J-55	35	PVC	45	47.4
P-56	J-55	J-56	51	PVC	45	47.4
P-57	J-56	J-57	45	PVC	45	47.4
P-58	J-55	J-58	54	PVC	45	47.4

Nota: Se evidencia las variaciones entre los diámetros proporcionados por la junta administradora y los ajustados respecto a las presiones levantadas in situ. Elaborado por: Los autores.

3.4.4 Resultados

Una vez calibrados los diámetros de la red de abastecimiento, se generaron los resultados de presiones en los nudos utilizando el programa WaterCAD; la normativa establece que, en cualquier punto, la presión de llegada a la acometida domiciliaria no debe ser menor a 10 metros de columna de agua; como se muestra en la Tabla 24, en todos los puntos de evaluación, las presiones son superiores a la mínima indicada por la normativa, a excepción de los nudos J-24 y J-25, donde la presión fue de 3 y 0 metros de columna de agua, respectivamente, esta presión podría no ser suficiente para abastecer eficientemente a las viviendas del área, lo que podría resultar en una falta de suministro de agua, lo que evidencia el criterio manifestado por los moradores que fue referido en el numeral 1.2.1.

Tabla 24

Resultados obtenidos por el modelado para cada nudo.

Nudo	Elevación [m]	Demanda [lts/seg]	Presión [m H2o]
J-1	2881.98	0.01	13
J-2	2876.61	0.06	17
J-3	2874.25	0.01	18
J-4	2873.48	0.01	18
J-5	2872.85	0.00	19
J-6	2860.19	0.02	31
J-7	2873.35	0.02	18
J-8	2871.02	0.06	17
J-9	2871.63	2.78	15
J-10	2869.15	0.04	22
J-11	2870.85	0.03	20
J-12	2871.89	0.02	19
J-13	2871.24	0.02	20

J-14	2870.89	0.03	20
J-15	2870.12	0.01	22
J-16	2860.32	0.10	31
J-17	2854.73	0.11	35
J-18	2814.29	0.68	53
J-19	2804.06	0.07	54
J-20	2783.01	0.03	63
J-21	2773.64	0.21	58
J-22	2769.01	0.14	54
J-23	2796.01	0.08	22
J-24	2805.24	0.09	3
J-25	2805.00	0.22	0
J-26	2768.85	0.26	32
J-27	2766.01	0.04	35
J-28	2761.52	0.02	39
J-29	2809.49	0.13	33
J-30	2808.33	0.02	34
J-31	2809.98	0.02	32
J-32	2810.21	0.13	32
J-33	2808.98	0.01	33
J-34	2809.32	0.08	33
J-35	2805.04	0.10	37
J-36	2804.36	0.02	38
J-37	2802.18	0.10	40
J-38	2799.01	0.09	43
J-39	2808.98	0.12	33
J-40	2808.03	0.15	34
J-41	2803.53	0.13	38
J-42	2798.24	0.09	43
J-43	2802.58	0.02	39
J-44	2792.00	0.12	49
J-45	2790.47	0.10	49
J-46	2809.00	0.07	33
J-47	2814.64	0.06	28
J-48	2807.70	0.05	34
J-49	2820.50	0.09	22
J-50	2813.18	0.08	29
J-51	2809.52	0.02	33
J-52	2810.02	0.06	32
J-53	2810.56	0.06	32
J-54	2809.01	0.06	33
J-55	2807.53	0.09	35
J-56	2805.42	0.06	37
J-57	2802.18	0.03	40
J-58	2806.61	0.08	36

Nota. Se muestran las presiones, elevación y caudales de demanda en los nudos generadas por el modelado numérico. Elaborado por: Los autores.

En la Tabla 25 se detallan los resultados de velocidad y pérdidas de carga, obtenidos de la modelación numérica, en donde además se especifican: los diámetros, material y longitudes de las tuberías.

Al analizar la columna “diámetro”, observamos que las dimensiones presentadas son menores a las mínimas establecidas según la normativa EMAAPQ-2009, la cual establece que el diámetro debe ser de al menos 2 pulgadas; además, los resultados de la columna "Velocidad" también presentan un incumplimiento, ya que en su gran mayoría las velocidades fluctúan alrededor de 0,3 metros por segundo, mientras que la normativa establece que las velocidades mínima y máxima deben ser de 0,6 metros por segundo y 2,5 metros por segundo respectivamente; velocidades tan bajas pueden provocar sedimentación en los puntos más bajos de la red de abastecimiento, esto se debe a que las partículas sólidas, como: arenas, limos o sedimentos, que ingresan a las tuberías, podrían no tener suficiente energía cinética para mantenerse en movimiento provocando una obstrucción parcial o total de las tuberías en las zonas de baja velocidad.

Tabla 25

Resultados obtenidos por el modelado en tuberías.

Nudo	Longitud [m]	Nodo inicio	Nodo fin	Diámetro [mm]	Material	Pérdida de carga [m]	Velocidad [m/s]
P-1	301	R-1	J-1	105.6	PVC	2.84	1.06
P-2	139	J-1	J-2	105.6	PVC	1.31	1.05
P-3	66	J-2	J-3	105.6	PVC	0.7	1.05
P-4	52	J-3	J-4	59.8	PVC	1.02	1.08
P-5	125	J-4	J-5	59.8	PVC	0	0.01
P-6	246	J-5	J-6	13.9	PVC	0.58	0.14

P-7	31	J-4	J-7	59.8	PVC	0.68	1.07
P-8	192	J-7	J-8	59.8	PVC	3.34	1.01
P-9	81	J-8	J-9	59.8	PVC	1.36	0.99
P-10	307	J-7	J-10	59.8	PVC	0.02	0.05
P-11	193	J-10	J-11	59.8	PVC	0.01	0.04
P-12	274	J-11	J-12	59.8	PVC	0.01	0.03
P-13	165	J-12	J-13	59.8	PVC	0	0.02
P-14	159	J-13	J-14	59.8	PVC	0	0.01
P-15	161	J-3	J-15	105.6	PVC	0.73	0.7
P-16	227	J-15	J-16	105.6	PVC	1.03	0.7
P-17	301	J-16	J-17	105.6	PVC	1.33	0.69
P-18	731	J-17	J-18	70.2	PVC	21.98	1.53
P-19	386	J-18	J-19	70.2	PVC	9.45	1.35
P-20	1,114	J-19	J-20	46	PVC	12.25	0.65
P-21	518	J-20	J-21	37.8	PVC	13.9	0.94
P-22	161	J-21	J-22	29.8	PVC	9.09	1.21
P-23	118	J-22	J-23	29.8	PVC	4.91	1.01
P-24	310	J-23	J-24	29.8	PVC	10.24	0.89
P-25	107	J-24	J-25	29.8	PVC	2.68	0.76
P-26	313	J-25	J-26	28.8	PVC	3.75	0.49
P-27	232	J-26	J-27	28.8	PVC	0.1	0.09
P-28	292	J-27	J-28	16.8	PVC	0.32	0.09
P-29	1,514	J-19	J-29	76.6	PVC	15.55	0.89
P-30	205	J-29	J-30	36	PVC	0.01	0.02
P-31	112	J-29	J-31	36	PVC	0.12	0.14
P-32	54	J-31	J-32	36	PVC	0.05	0.12
P-33	55	J-29	J-33	76.6	PVC	0.16	0.42
P-34	23	J-33	J-34	76.6	PVC	0.05	0.32
P-35	92	J-34	J-35	47.4	PVC	0.1	0.18
P-36	88	J-35	J-36	47.4	PVC	0.05	0.12
P-37	123	J-36	J-37	29.8	PVC	0.16	0.14
P-38	136	J-36	J-38	47.4	PVC	0.01	0.05
P-39	125	J-34	J-39	76.6	PVC	0.12	0.23
P-40	120	J-39	J-40	76.6	PVC	0.1	0.21
P-41	156	J-40	J-41	47.4	PVC	0.33	0.26
P-42	143	J-41	J-42	47.4	PVC	0.17	0.18
P-43	174	J-43	J-42	47.4	PVC	0	0.01
P-44	166	J-42	J-44	29.8	PVC	0.86	0.31
P-45	890	J-44	J-45	29.8	PVC	1.18	0.14
P-46	63	J-40	J-46	76.6	PVC	0.01	0.08
P-47	80	J-46	J-47	59.8	PVC	0	0.02
P-48	45	J-46	J-48	76.6	PVC	0	0.05
P-49	91	J-48	J-49	59.8	PVC	0	0.03
P-50	81	J-48	J-50	76.6	PVC	0	0.02
P-51	90	J-33	J-51	76.6	PVC	0.02	0.1
P-52	94	J-51	J-52	76.6	PVC	0.02	0.09
P-53	64	J-52	J-53	76.6	PVC	0.01	0.08
P-54	53	J-53	J-54	47.4	PVC	0.06	0.17

P-55	35	J-54	J-55	47.4	PVC	0.03	0.14
P-56	51	J-55	J-56	47.4	PVC	0	0.05
P-57	45	J-56	J-57	47.4	PVC	0	0.02
P-58	54	J-55	J-58	47.4	PVC	0	0.04

Nota. Se muestran las velocidades en las tuberías generadas por el modelado numérico.

Elaborado por: Los autores.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

4.1 Descripción del sistema

Debido a las problemáticas derivadas del incumplimiento de los parámetros establecidos por la normativa EMAAP-Q, se llevó a cabo un rediseño para asegurar que los diámetros de las tuberías y las presiones del flujo cumplan con la normativa vigente, garantizando un suministro óptimo y continuo. El sistema de abastecimiento opera por gravedad, ya que todas las cotas a abastecer son inferiores a la de la fuente natural, lo que permite un flujo continuo sin necesidad de bombeo adicional.

4.2 Parámetros de diseño

4.2.1 *Periodo de diseño*

El período de diseño de los sistemas de distribución se basa en la vida útil de los materiales, la posibilidad de ampliaciones futuras, el mantenimiento regular y la demanda del servicio. La normativa EMAAP-Q (2008) recomienda un período mínimo de 25 años para garantizar la durabilidad y adaptabilidad del sistema a las necesidades cambiantes, siguiendo esta recomendación, se adoptó el período de diseño sugerido para asegurar la sostenibilidad y fiabilidad del sistema.

4.2.2 *Población futura*

Dado que el estudio está proyectado a 25 años, se calculó la población futura para el año horizonte 2049, para ello, se emplearon los métodos aritmético, geométrico y exponencial en cada uno de los nudos, cuyos resultados se presentan en la Tabla 26. Optando por un diseño conservador, se decidió adoptar como población futura la estimada mediante el método exponencial.

Tabla 26*Estimación de población futura.*

Método	i (%)	Pob. Futura [hab]
Aritmético	97.00	4060
Geométrico	0.97	4628
Exponencial	0.97	4659

Nota: Se muestra la estimación de la población futura para el año horizonte 2049.

Elaborado por: Los autores.

4.2.3 Dotación

La determinación de la dotación para una población específica se basó en diversos factores como el tamaño de la población, las características climáticas de la zona y el tipo de establecimiento. Las dotaciones adoptadas para el diseño del sistema se observan en la Tabla 27.

Tabla 27*Dotaciones adoptadas para el diseño.*

TIPO DE ESTABLECIMIENTO	UNIDAD	DOTACION
Escuelas y colegios	lts/estudiante/día	20
Talleres, industrias y agencias	lts/trabajador/jornal	80
Habitacional	lts/habitante/día	150

Nota. Se indican las dotaciones recomendadas que están en función al tipo de establecimiento. Elaborado por: Los autores.

En el caso de la zona urbana de la parroquia de Alóag, se ha considerado una dotación de 150 litros por habitante al día, ya que la población no supera los 5000 habitantes y se encuentra en un clima frío, esta dotación es adecuada para asegurar el abastecimiento de agua necesario para las actividades diarias de los residentes. Para los establecimientos industriales, se adoptó un jornal de 8 horas, lo que refleja el horario típico de operación de estas instalaciones. En cuanto a los sectores educativos, se consideró una duración de 7 horas por día, que es el tiempo promedio de duración de las actividades escolares.

4.2.4 Caudal de demanda

Para calcular el gasto de demanda se utilizaron los valores futuros de población, dotación y los coeficientes de variación de consumo. El factor K1 representa el consumo máximo promedio de agua por año como porcentaje, y K2 representa el consumo máximo diario de agua promedio como porcentaje, los valores adoptados para estos coeficientes fueron 1,4 y 2 respectivamente, según lo indicado en la Tabla 7 y Tabla 8.

La Tabla 28 muestra los caudales calculados, incluidos los caudales máximos horarios, estos últimos son particularmente relevantes ya que la normativa EMAAPS-Q estipula que el gasto de diseño de la red de suministro de agua debe corresponder al caudal máximo horario del año horizonte del proyecto, para garantizar la satisfacción en las necesidades de agua, incluyendo los periodos de mayor consumo.

Tabla 28

Variaciones de consumo.

Nudo	Caudal medio anual	Caudal máximo diario	Caudal máximo horario
	[m]	[lts/seg]	[m H2o]
J-1	0.02	0.03	0.05
J-2	0.08	0.11	0.22
J-3	0.02	0.03	0.05
J-4	0.01	0.01	0.03

J-5	1.04	1.46	2.92
J-6	0.03	0.04	0.08
J-7	0.03	0.04	0.08
J-8	0.08	0.11	0.22
J-9	1.74	2.43	4.86
J-10	0.05	0.08	0.15
J-11	0.04	0.05	0.10
J-12	0.03	0.04	0.08
J-13	0.03	0.04	0.08
J-14	0.05	0.06	0.13
J-15	0.01	0.01	0.03
J-16	0.13	0.18	0.35
J-17	0.14	0.20	0.40
J-18	0.25	0.35	0.70
J-19	0.09	0.12	0.25
J-20	0.04	0.05	0.10
J-21	0.27	0.37	0.74
J-22	0.18	0.25	0.50
J-23	0.11	0.15	0.30
J-24	0.12	0.16	0.33
J-25	0.28	0.39	0.77
J-26	0.33	0.46	0.92
J-27	0.01	0.02	0.04
J-28	0.03	0.04	0.08
J-29	0.16	0.22	0.45
J-30	0.01	0.02	0.04
J-31	0.03	0.04	0.08
J-32	0.16	0.22	0.45
J-33	0.02	0.03	0.05
J-34	0.10	0.14	0.28
J-35	0.13	0.19	0.37
J-36	0.03	0.04	0.08
J-37	0.13	0.18	0.35
J-38	0.12	0.16	0.33
J-39	0.15	0.21	0.42
J-40	0.19	0.26	0.53
J-41	0.17	0.24	0.47
J-42	0.12	0.16	0.33
J-43	0.03	0.04	0.08
J-44	0.15	0.21	0.42
J-45	0.13	0.18	0.35
J-46	0.09	0.12	0.25
J-47	0.08	0.11	0.22
J-48	0.06	0.09	0.18
J-49	0.12	0.16	0.33
J-50	0.10	0.14	0.28
J-51	0.01	0.02	0.04
J-52	0.08	0.11	0.22

J-53	0.07	0.10	0.20
J-54	0.07	0.10	0.20
J-55	0.19	0.27	0.54
J-56	0.07	0.10	0.20
J-57	0.04	0.05	0.10
J-58	0.10	0.14	0.28
Σ	8.09	11.32	22.65

Nota. Se muestran los caudales: medios anuales, máximos diarios y horarios de la red de abastecimiento presentes en cada nudo. Elaborado por: Los autores.

4.3 Modelación Hidráulica

4.3.1 *Análisis de la Configuración Actual del Sistema bajo Condiciones de Diseño*

Se llevó a cabo un análisis hidráulico utilizando el software WaterCAD, bajo el escenario de máximo consumo, esto se refiere al momento en el que todos los nodos presentan un Caudal Máximo Horario proyectado para un horizonte de 25 años; el objetivo de este análisis fue verificar los resultados de las variables de presión y velocidad bajo la configuración actual de la red de abastecimiento.

En la Tabla 29 se presentan los resultados generados por la modelación numérica respecto a las tuberías del sistema, al analizar la columna "Velocidad", se observó que varias velocidades están fuera del rango permisible indicado por la normativa; las velocidades menores a 0.6 metros por segundo pueden ser problemáticas, ya que podrían provocar la acumulación de sedimentos en los puntos con velocidades y cotas más bajas de la red, por otro lado, las velocidades que superan los 2.5 metros por segundo, pueden causar erosión en el material de las tuberías y sus accesorios, incrementando el riesgo de roturas y fugas.

Tabla 29*Reporte de tuberías con la configuración actual para el diseño.*

Nudo	Longitud [m]	Nodo inicio	Nodo fin	Diámetro [mm]	Material	Pérdida de carga [m]	Velocidad [m/s]
P-1	301	R-1	J-1	105.6	PVC	18.24	2.95
P-2	139	J-1	J-2	105.6	PVC	8.41	2.94
P-3	66	J-2	J-3	105.6	PVC	4.62	2.92
P-4	52	J-3	J-4	59.8	PVC	12.31	4.29
P-5	125	J-4	J-5	59.8	PVC	3.06	1.21
P-6	246	J-5	J-6	13.9	PVC	8.58	0.53
P-7	31	J-4	J-7	59.8	PVC	4.68	3.07
P-8	192	J-7	J-8	59.8	PVC	21.57	2.85
P-9	81	J-8	J-9	59.8	PVC	8.7	2.77
P-10	307	J-7	J-10	59.8	PVC	0.29	0.19
P-11	193	J-10	J-11	59.8	PVC	0.11	0.14
P-12	274	J-11	J-12	59.8	PVC	0.09	0.1
P-13	165	J-12	J-13	59.8	PVC	0.03	0.07
P-14	159	J-13	J-14	59.8	PVC	0.01	0.05
P-15	161	J-3	J-15	105.6	PVC	3	1.54
P-16	227	J-15	J-16	105.6	PVC	4.2	1.53
P-17	301	J-16	J-17	105.6	PVC	5.35	1.49
P-18	731	J-17	J-18	70.2	PVC	87.24	3.27
P-19	386	J-18	J-19	70.2	PVC	42.19	3.09
P-20	1,114	J-19	J-20	46	PVC	118.18	2.32
P-21	518	J-20	J-21	37.8	PVC	135.22	3.34
P-22	161	J-21	J-22	29.8	PVC	88.71	4.32
P-23	118	J-22	J-23	29.8	PVC	47.54	3.6
P-24	310	J-23	J-24	29.8	PVC	98.21	3.17
P-25	107	J-24	J-25	29.8	PVC	25.3	2.7
P-26	313	J-25	J-26	28.8	PVC	34.23	1.7
P-27	232	J-26	J-27	28.8	PVC	1.15	0.29
P-28	292	J-27	J-28	16.8	PVC	4.14	0.36
P-29	1,514	J-19	J-29	76.6	PVC	50.51	1.71
P-30	205	J-29	J-30	36	PVC	0.03	0.06
P-31	112	J-29	J-31	36	PVC	1.13	0.52
P-32	54	J-31	J-32	36	PVC	0.42	0.44
P-33	55	J-29	J-33	76.6	PVC	1.63	1.48
P-34	23	J-33	J-34	76.6	PVC	0.54	1.14
P-35	92	J-34	J-35	47.4	PVC	0.95	0.64
P-36	88	J-35	J-36	47.4	PVC	0.46	0.43
P-37	123	J-36	J-37	29.8	PVC	1.48	0.5
P-38	136	J-36	J-38	47.4	PVC	0.16	0.19
P-39	125	J-34	J-39	76.6	PVC	1.15	0.84
P-40	120	J-39	J-40	76.6	PVC	0.94	0.75
P-41	156	J-40	J-41	47.4	PVC	3.15	0.94
P-42	143	J-41	J-42	47.4	PVC	1.64	0.67
P-43	174	J-43	J-42	47.4	PVC	0.01	0.05
P-44	166	J-42	J-44	29.8	PVC	7.98	1.1
P-45	890	J-44	J-45	29.8	PVC	10.71	0.5

P-46	63	J-40	J-46	76.6	PVC	0.09	0.27
P-47	80	J-46	J-47	59.8	PVC	0.02	0.08
P-48	45	J-46	J-48	76.6	PVC	0.03	0.17
P-49	91	J-48	J-49	59.8	PVC	0.04	0.12
P-50	81	J-48	J-50	76.6	PVC	0.01	0.06
P-51	90	J-33	J-51	76.6	PVC	0.16	0.33
P-52	94	J-51	J-52	76.6	PVC	0.16	0.31
P-53	64	J-52	J-53	76.6	PVC	0.09	0.27
P-54	53	J-53	J-54	47.4	PVC	0.47	0.58
P-55	35	J-54	J-55	47.4	PVC	0.23	0.47
P-56	51	J-55	J-56	47.4	PVC	0.05	0.17
P-57	45	J-56	J-57	47.4	PVC	0	0.06
P-58	54	J-55	J-58	47.4	PVC	0.05	0.16

Nota. Se indican los resultados generados en el programa WaterCAD, en el escenario de máximo de consumo. Elaborado por: Los autores.

En la Figura 28 se presenta la red de abastecimiento con una colorimetría para identificar visualmente los resultados generados en el programa WaterCAD respecto a la variable de velocidad.

Figura 28

Esquema de las velocidades en los nudos con la configuración actual para el diseño.



Nota. Se presentan los nodos con una colorimetría para identificar las velocidades generadas con el programa WaterCAD en los nudos de la red de abastecimiento.

Elaborado por: Los autores.

En la Tabla 30 se presentan los resultados de la modelación numérica respecto a los parámetros de los nudos del sistema. Se observa que la columna "Presión" revela un problema significativo, ya que las presiones registradas son consistentemente menores a "0" metros de columna de agua en la mayoría de los nudos, este hallazgo evidencia que la configuración actual del sistema no es óptima para el abastecimiento de la población proyectada para el año horizonte del proyecto.

Tabla 30*Reporte de nudos con la configuración actual para el diseño.*

Nudo	Elevación [m]	Demanda [lts/seg]	Presión [m H2o]
J-1	2881.98	0.05	-3
J-2	2876.61	0.22	-6
J-3	2874.25	0.05	-8
J-4	2873.48	0.03	-19
J-5	2872.85	3.33	-22
J-6	2860.19	0.08	-18
J-7	2873.35	0.08	-24
J-8	2871.02	0.22	-43
J-9	2871.63	7.78	-53
J-10	2869.15	0.15	-20
J-11	2870.85	0.10	-22
J-12	2871.89	0.08	-23
J-13	2871.24	0.08	-22
J-14	2870.89	0.13	-22
J-15	2870.12	0.03	-7
J-16	2860.32	0.35	-1
J-17	2854.73	0.40	-1
J-18	2814.29	0.70	-48
J-19	2804.06	0.25	-80
J-20	2783.01	0.10	-177
J-21	2773.64	0.74	-302
J-22	2769.01	0.50	-386
J-23	2796.01	0.30	-460
J-24	2805.24	0.33	-568
J-25	2805.00	0.77	-593
J-26	2768.85	0.92	-591
J-27	2766.01	0.11	-589
J-28	2761.52	0.08	-589
J-29	2809.49	0.45	-135
J-30	2808.33	0.06	-134
J-31	2809.98	0.08	-137
J-32	2810.21	0.45	-138
J-33	2808.98	0.05	-137
J-34	2809.32	0.28	-137
J-35	2805.04	0.37	-134
J-36	2804.36	0.08	-134
J-37	2802.18	0.35	-133
J-38	2799.01	0.33	-129
J-39	2808.98	0.42	-138
J-40	2808.03	0.53	-138
J-41	2803.53	0.47	-137
J-42	2798.24	0.33	-133

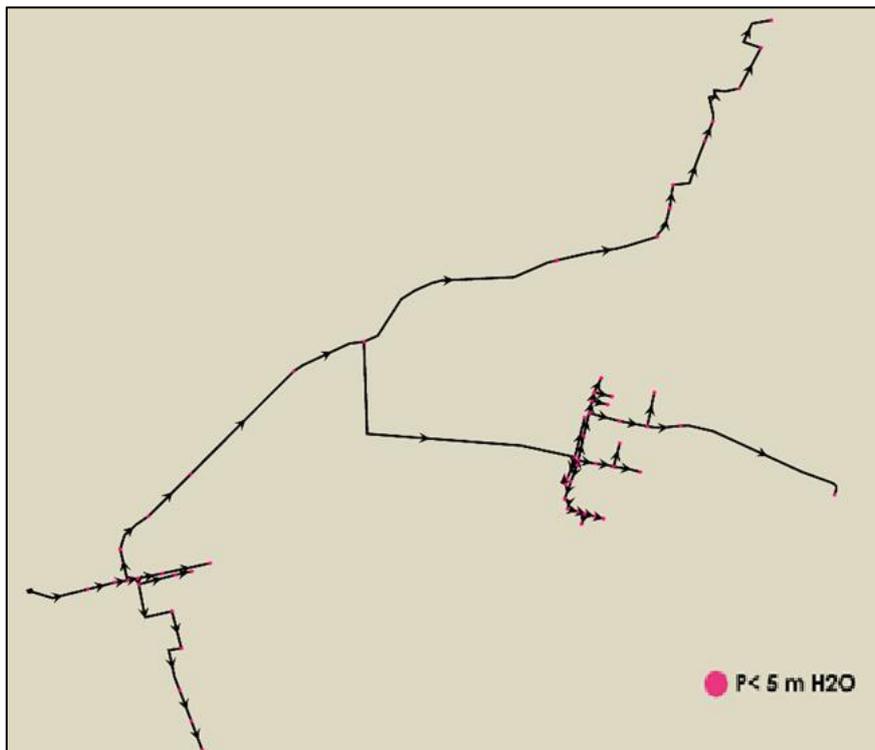
J-43	2802.58	0.08	-138
J-44	2792.00	0.42	-135
J-45	2790.47	0.35	-144
J-46	2809.00	0.25	-139
J-47	2814.64	0.22	-145
J-48	2807.70	0.18	-138
J-49	2820.50	0.33	-151
J-50	2813.18	0.28	-143
J-51	2809.52	0.06	-137
J-52	2810.02	0.22	-138
J-53	2810.56	0.20	-139
J-54	2809.01	0.20	-137
J-55	2807.53	0.25	-136
J-56	2805.42	0.20	-134
J-57	2802.18	0.10	-131
J-58	2806.61	0.28	-135

Nota. Se indica el reporte de nudos con la configuración actual. Elaborado por: Los autores.

En la Figura 29 se presenta la red de abastecimiento con una colorimetría para identificar visualmente los resultados generados en el programa WaterCAD respecto a la variable de presión.

Figura 29

Esquema de las presiones en los nudos con la configuración actual para el diseño.



Nota. Se presentan los nudos con una colorimetría para identificar las presiones generadas con el programa WaterCAD en los nudos de la red de abastecimiento. Elaborado por: Los autores.

4.3.2 Optimización de la Red de Abastecimiento bajo Condiciones de Diseño

Dado que se evidenció el incumplimiento de los parámetros establecidos por la normativa EMAAPS-Q bajo las condiciones actuales y de diseño, se llevó a cabo una optimización de la red de abastecimiento. Este proceso implicó la modificación de los diámetros de las tuberías que fueron escogidos en función a la oferta de los proveedores locales, el material a emplearse en todas las tuberías fue de PVC, debido a su durabilidad, ligereza, fácil instalación y bajo costo, además del cambio de sección transversal, se añadieron accesorios que mejoraron el rendimiento de la red, el objetivo principal de estas

modificaciones fue asegurar un funcionamiento óptimo del sistema de distribución de agua, garantizando un suministro continuo y eficiente que satisfaga las necesidades básicas de la población frente a los escenarios planteados de consumo.

4.3.2.1 Escenario uno: máximo consumo

Para el primer escenario de consumo visto en la Tabla 31, se adoptó un máximo gasto en la red de abastecimiento, esto significa que se consideró que todos los nudos están siendo abastecidos simultáneamente por el caudal de diseño, con el fin de analizar el comportamiento de la velocidad en las tuberías y la cantidad de presión presente en los nudos; este enfoque permitió evaluar la capacidad del sistema para manejar situaciones de alta demanda y asegurar que se mantengan los niveles adecuados de presión y flujo en toda la red.

La velocidad en el sistema de distribución se presenta de igual manera en la Tabla 31. Según la normativa EMAAPS-Q, la velocidad mínima recomendada es de 0.60 metros por segundo, y la velocidad máxima de diseño es de 2.5 metros por segundo, considerando un valor óptimo de 1.2 metros por segundo. En este estudio, las velocidades están dentro del rango permisible en la mayoría de las tuberías de la red de abastecimiento, sin embargo, las velocidades que incumplen este parámetro son menores al límite inferior, recordando que la problemática asociada a las bajas velocidades es la acumulación de sedimentos.

Tabla 31

Reporte de tuberías del escenario uno.

Nudo	Longitud [m]	Nodo inicio	Nodo fin	Diámetro [mm]	Material	Pérdida de carga [m]	Coefficiente de pérdidas locales	Velocidad [m/s]
P-1	301	R-1	J-1	153.6	PVC	2.46	0.39	1.24
P-2	139	J-1	J-2	153.6	PVC	1.12	0	1.24
P-3	66	J-2	J-3	153.6	PVC	0.55	0.35	1.23
P-4	52	J-3	J-4	72	PVC	3.05	1.11	2.14

P-5	125	J-4	J-5	72	PVC	1	0.39	0.74
P-6	246	J-5	J-6	45	PVC	0.02	0	0.05
P-7	31	J-4	J-7	69	PVC	1.02	0.74	1.52
P-8	192	J-7	J-8	69	PVC	4.81	0.39	1.36
P-9	81	J-8	J-9	69	PVC	1.87	0	1.30
P-10	307	J-7	J-10	45	PVC	1.12	1.78	0.34
P-11	193	J-10	J-11	37.8	PVC	0.91	0.98	0.35
P-12	274	J-11	J-12	37.8	PVC	0.78	1.19	0.26
P-13	165	J-12	J-13	37.8	PVC	0.27	0	0.19
P-14	159	J-13	J-14	37.8	PVC	0.11	0	0.12
P-15	161	J-3	J-15	144.8	PVC	0.72	0.39	0.85
P-16	227	J-15	J-16	144.8	PVC	0.99	0	0.85
P-17	301	J-16	J-17	131.4	PVC	2	0.18	1.00
P-18	731	J-17	J-18	131.4	PVC	4.58	0	0.97
P-19	386	J-18	J-19	131.4	PVC	2.19	0	0.92
P-20	1,114	J-19	J-20	58	PVC	37.59	0.76	1.43
P-21	518	J-20	J-21	58	PVC	16.62	0	1.39
P-22	161	J-21	J-22	58	PVC	3.46	0	1.11
P-23	118	J-22	J-23	58	PVC	1.82	0	0.92
P-24	310	J-23	J-24	58	PVC	3.81	0.8	0.81
P-25	107	J-24	J-25	45	PVC	3.28	0.18	1.14
P-26	313	J-25	J-26	45	PVC	3.63	2.4	0.65
P-27	232	J-26	J-27	45	PVC	0.06	0.39	0.08
P-28	292	J-27	J-28	45	PVC	0.03	1.6	0.05
P-29	1,514	J-19	J-29	103.2	PVC	12.28	1.78	0.97
P-30	205	J-29	J-30	45	PVC	0.01	0.76	0.03
P-31	112	J-29	J-31	45	PVC	0.4	1.11	0.33
P-32	54	J-31	J-32	45	PVC	0.14	0.39	0.28
P-33	55	J-29	J-33	67.6	PVC	3.4	1.91	2.07
P-34	23	J-33	J-34	67.6	PVC	0.68	0	1.47
P-34	92	J-34	J-35	45	PVC	1.13	0.74	0.48
P-35	88	J-35	J-36	45	PVC	1.24	0.53	0.71
P-36	123	J-36	J-37	45	PVC	0.58	0.39	0.48
P-37	136	J-36	J-38	45	PVC	0.21	0.74	0.22
P-38	125	J-34	J-39	45	PVC	0.21	0.39	0.21
P-39	120	J-39	J-40	67.6	PVC	2.1	0	1.08
P-40	156	J-40	J-41	59.8	PVC	2.95	0.18	1.22
P-41	143	J-41	J-42	45	PVC	4.08	0.72	1.04
P-42	174	J-43	J-42	45	PVC	2.05	0	0.74
P-43	166	J-42	J-44	45	PVC	0.01	0.39	0.05
P-45	890	J-44	J-45	45	PVC	1.52	0.39	0.22
P-46	63	J-40	J-46	59.8	PVC	0.26	0.39	0.45
P-47	80	J-46	J-47	45	PVC	0.06	0.53	0.14
P-48	45	J-46	J-48	59.8	PVC	0.08	0	0.28
P-49	91	J-48	J-49	45	PVC	0.14	0.53	0.21
P-50	81	J-48	J-50	45	PVC	0.09	0.18	0.18
P-51	90	J-33	J-51	67.6	PVC	0.53	0.35	0.59
P-52	94	J-51	J-52	67.6	PVC	0.53	0	0.58

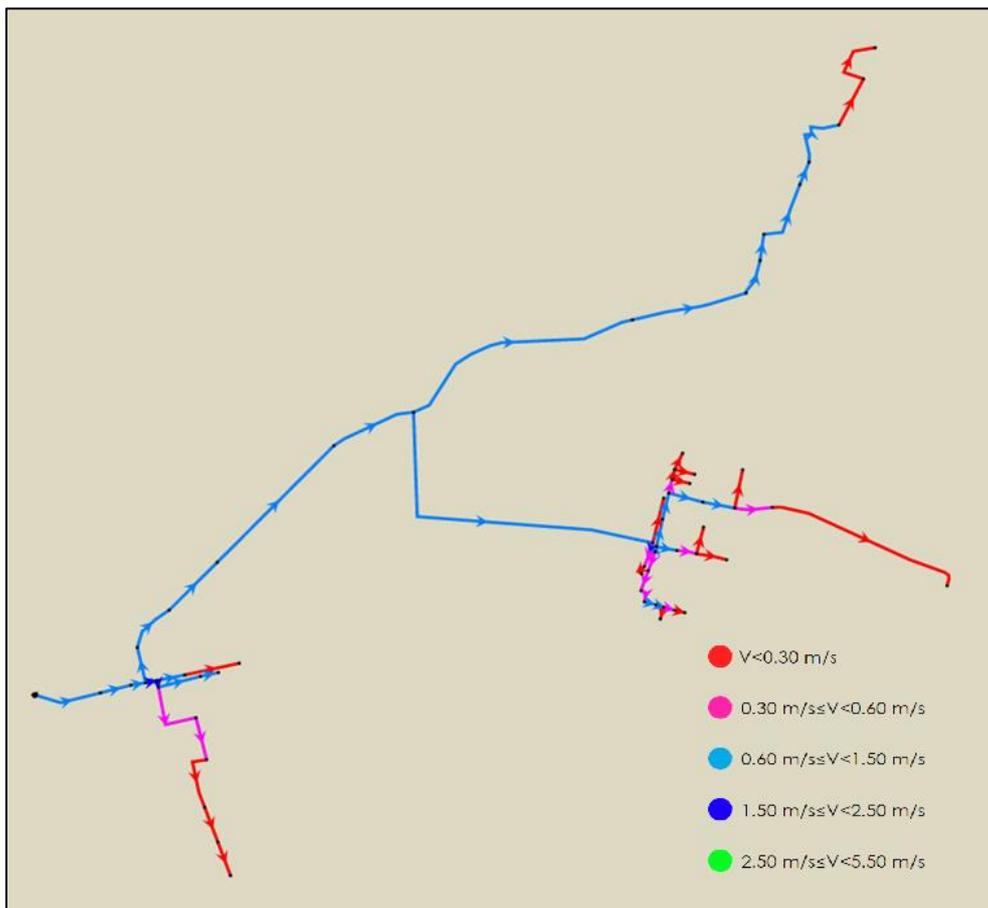
P-53	64	J-52	J-53	67.6	PVC	0.32	1.6	0.52
P-54	53	J-53	J-54	58	PVC	0.43	0.98	0.63
P-55	35	J-54	J-55	45	PVC	0.75	0.18	0.92
P-56	51	J-55	J-56	45	PVC	0.25	0.39	0.40
P-57	45	J-56	J-57	45	PVC	0.01	0	0.06
P-58	54	J-55	J-58	45	PVC	0.07	1.19	0.18

Nota. Se indican los resultados generados en el programa WaterCAD, del escenario de máximo de consumo. Elaborado por: Los autores.

En la Figura 30, se presenta la red de abastecimiento con una colorimetría para identificar visualmente los resultados generados en el programa WaterCAD respecto a la variable de velocidad bajo el escenario uno de consumo.

Figura 30

Esquema de las velocidades del escenario uno.



Nota. Se presentan las tuberías con una colorimetría para identificar las velocidades generadas con el programa WaterCAD bajo el escenario de máxima demanda. Elaborado por: Los autores.

A continuación, en la Tabla 32 se muestran los resultados de la modelación numérica al analizar los nudos del sistema, las presiones presentes en cada uno de los nudos cumplen con el parámetro de presiones recomendadas por la normativa EMAAPS-Q, dado que esta señala una presión mínima de 10 metros de columna de agua y una presión máxima, en lo posible, de 70 metros de columna de agua.

Tabla 32

Reporte de nudos con la configuración actual para el diseño bajo el escenario uno.

Nudo	Elevación [m]	Demanda [lts/seg]	Presión [m H2o]
J-1	2881.98	0.05	13
J-2	2876.61	0.22	17
J-3	2874.25	0.05	19
J-4	2873.48	0.03	17
J-5	2872.85	3.33	16
J-6	2860.19	0.08	29
J-7	2873.35	0.08	16
J-8	2871.02	0.22	13
J-9	2871.63	7.78	11
J-10	2869.15	0.15	19
J-11	2870.85	0.10	16
J-12	2871.89	0.08	15
J-13	2871.24	0.08	15
J-14	2870.89	0.13	15
J-15	2870.12	0.03	23
J-16	2860.32	0.35	31
J-17	2854.73	0.40	35
J-18	2814.29	0.70	71
J-19	2804.06	0.25	79
J-20	2783.01	0.10	62
J-21	2773.64	0.74	55
J-22	2769.01	0.50	56
J-23	2796.01	0.30	27
J-24	2805.24	0.33	14

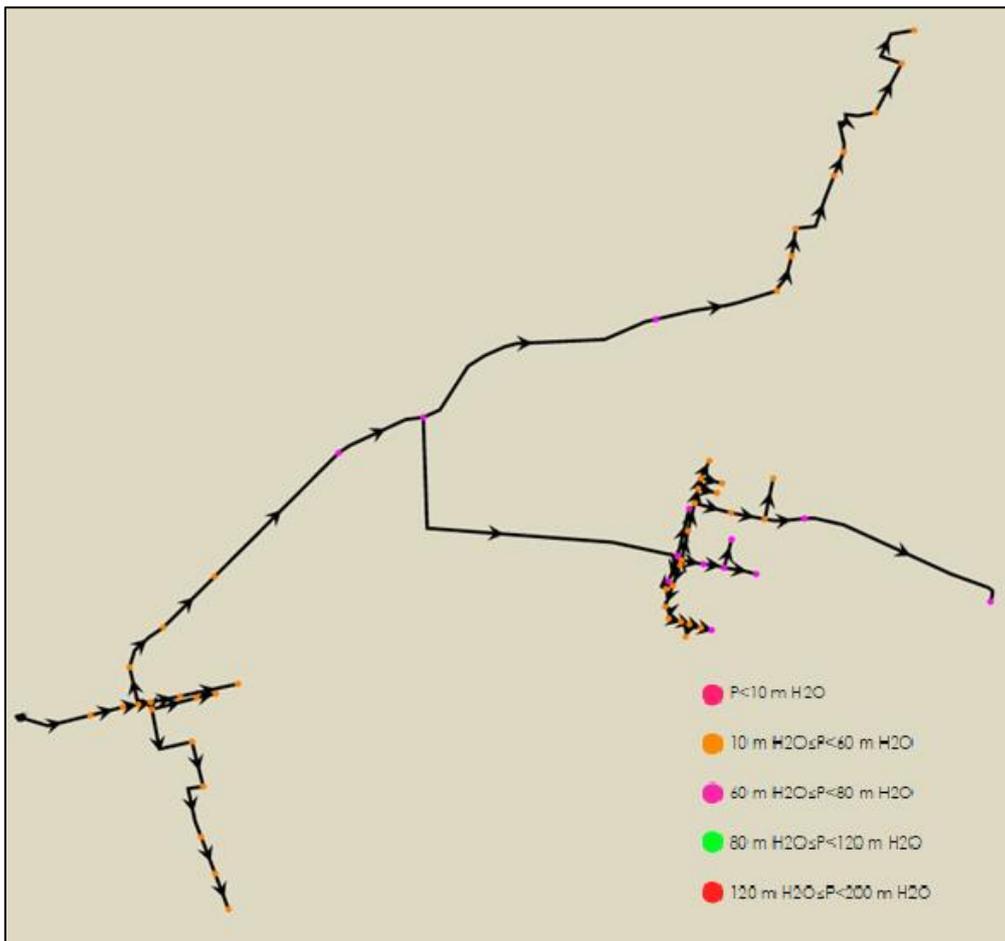
J-25	2805.00	0.77	11
J-26	2768.85	0.92	44
J-27	2766.01	0.11	47
J-28	2761.52	0.08	51
J-29	2809.49	0.45	61
J-30	2808.33	0.06	62
J-31	2809.98	0.08	60
J-32	2810.21	0.45	60
J-33	2808.98	0.05	58
J-34	2809.32	0.28	57
J-35	2805.04	0.37	60
J-36	2804.36	0.08	60
J-37	2802.18	0.35	62
J-38	2799.01	0.33	65
J-39	2808.98	0.42	55
J-40	2808.03	0.53	53
J-41	2803.53	0.47	54
J-42	2798.24	0.33	57
J-43	2802.58	0.08	53
J-44	2792.00	0.42	62
J-45	2790.47	0.35	62
J-46	2809.00	0.25	52
J-47	2814.64	0.22	46
J-48	2807.70	0.18	53
J-49	2820.50	0.33	40
J-50	2813.18	0.28	48
J-51	2809.52	0.06	57
J-52	2810.02	0.22	56
J-53	2810.56	0.20	55
J-54	2809.01	0.20	56
J-55	2807.53	0.25	57
J-56	2805.42	0.20	59
J-57	2802.18	0.10	62
J-58	2806.61	0.28	58

Nota. Se indican las presiones generadas en el programa WaterCAD, bajo el escenario de máximo de consumo. Elaborado por: Los autores.

En la Figura 31 se presenta la red de abastecimiento con una colorimetría para identificar visualmente los resultados generados en el programa WaterCAD respecto a la variable de presión bajo el escenario uno de consumo.

Figura 31

Esquema de las presiones bajo el escenario uno.



Nota. Se presentan los nodos con una colorimetría para identificar las presiones generadas con el programa WaterCAD en los nudos de la red de abastecimiento bajo el escenario uno de consumo. Elaborado por: Los autores.

4.3.2.2 Escenario dos: consumo residencial

En el segundo escenario de la modelación hidráulica, se analizaron las áreas residenciales en un estado donde las industrias y escuelas no operen, lo que es usual en los fines de semana o feriados. Este análisis permitió evaluar el comportamiento de la red de abastecimiento en condiciones de menor demanda, asegurando que el sistema siga

siendo eficiente y capaz de proporcionar un suministro adecuado de agua durante estos periodos.

Las velocidades presentadas en la Tabla 33 de algunas tuberías bajo este análisis de consumo, al igual que en el primer escenario, son relativamente menores a las especificadas en la normativa EMAAPS-Q, esta recomienda una velocidad mínima de 0.6 metros por segundo, ya que velocidades inferiores podrían ocasionar una acumulación de material sólido; para contrarrestar estas bajas velocidades, se implementó la inclusión de válvulas de purga ya que este tipo de válvulas permite la eliminación de sedimentos, como barro o arenilla, que se acumulan en las tuberías, estas se ubicaron en los puntos bajos del sistema para facilitar la limpieza en caso de taponamientos, la ubicación detallada de estas válvulas se presentan en el Anexo 3.

Tabla 33

Reporte de nudos con la configuración actual para el diseño bajo el escenario dos.

Nudo	Longitud [m]	Nodo inicio	Nodo fin	Diámetro [mm]	Material	Pérdida de carga [m]	Coefficiente de pérdidas locales	Velocidad [m/s]
P-1	301	R-1	J-1	153.6	PVC	1.08	0.39	0.79
P-2	139	J-1	J-2	153.6	PVC	0.49	0	0.78
P-3	66	J-2	J-3	153.6	PVC	0.24	0.35	0.77
P-4	52	J-3	J-4	72	PVC	0.06	1.11	0.23
P-5	125	J-4	J-5	72	PVC	0	0.39	0.02
P-6	246	J-5	J-6	45	PVC	0.02	0	0.05
P-7	31	J-4	J-7	69	PVC	0.03	0.74	0.22
P-8	192	J-7	J-8	69	PVC	0.02	0.39	0.06
P-9	81	J-8	J-9	69	PVC	0	0	0
P-10	307	J-7	J-10	45	PVC	1.12	1.78	0.34
P-11	193	J-10	J-11	37.8	PVC	0.91	0.98	0.35
P-12	274	J-11	J-12	37.8	PVC	0.78	1.19	0.26
P-13	165	J-12	J-13	37.8	PVC	0.27	0	0.19
P-14	159	J-13	J-14	37.8	PVC	0.11	0	0.12
P-15	161	J-3	J-15	144.8	PVC	0.66	0.39	0.81
P-16	227	J-15	J-16	144.8	PVC	0.9	0	0.81
P-17	301	J-16	J-17	131.4	PVC	1.83	0.18	0.95
P-18	731	J-17	J-18	131.4	PVC	4.17	0	0.92
P-19	386	J-18	J-19	131.4	PVC	1.99	0	0.87
P-20	1,114	J-19	J-20	58	PVC	36.88	0.76	1.42

P-21	518	J-20	J-21	58	PVC	16.3	0	1.38
P-22	161	J-21	J-22	58	PVC	3.37	0	1.1
P-23	118	J-22	J-23	58	PVC	1.77	0	0.91
P-24	310	J-23	J-24	58	PVC	3.68	0.8	0.79
P-25	107	J-24	J-25	45	PVC	3.15	0.18	1.11
P-26	313	J-25	J-26	45	PVC	3.39	2.4	0.63
P-27	232	J-26	J-27	45	PVC	0.02	0.39	0.05
P-28	292	J-27	J-28	45	PVC	0.02	1.6	0.05
P-29	1,514	J-19	J-29	103.2	PVC	11.96	1.78	0.94
P-30	205	J-29	J-30	45	PVC	0	0.76	0
P-31	112	J-29	J-31	45	PVC	0.4	1.11	0.33
P-32	54	J-31	J-32	45	PVC	0.14	0.39	0.28
P-33	55	J-29	J-33	67.6	PVC	2.93	1.91	1.91
P-34	23	J-33	J-34	67.6	PVC	0.68	0	1.47
P-34	92	J-34	J-35	45	PVC	1.13	0.74	0.48
P-35	88	J-35	J-36	45	PVC	1.24	0.53	0.71
P-36	123	J-36	J-37	45	PVC	0.58	0.39	0.48
P-37	136	J-36	J-38	45	PVC	0.21	0.74	0.22
P-38	125	J-34	J-39	45	PVC	0.21	0.39	0.21
P-39	120	J-39	J-40	67.6	PVC	2.1	0	1.08
P-40	156	J-40	J-41	59.8	PVC	2.95	0.18	1.22
P-41	143	J-41	J-42	45	PVC	4.08	0.72	1.04
P-42	174	J-43	J-42	45	PVC	2.05	0	0.74
P-43	166	J-42	J-44	45	PVC	0.01	0.39	0.05
P-45	890	J-44	J-45	45	PVC	1.52	0.39	0.22
P-46	63	J-40	J-46	59.8	PVC	0.26	0.39	0.45
P-47	80	J-46	J-47	45	PVC	0.06	0.53	0.14
P-48	45	J-46	J-48	59.8	PVC	0.08	0	0.28
P-49	91	J-48	J-49	45	PVC	0.14	0.53	0.21
P-50	81	J-48	J-50	45	PVC	0.09	0.18	0.18
P-51	90	J-33	J-51	67.6	PVC	0.3	0.35	0.43
P-52	94	J-51	J-52	67.6	PVC	0.31	0	0.43
P-53	64	J-52	J-53	67.6	PVC	0.17	1.6	0.37
P-54	53	J-53	J-54	58	PVC	0.22	0.98	0.42
P-55	35	J-54	J-55	45	PVC	0.33	0.18	0.58
P-56	51	J-55	J-56	45	PVC	0.25	0.39	0.4
P-57	45	J-56	J-57	45	PVC	0.01	0	0.06
P-58	54	J-55	J-58	45	PVC	0.07	1.19	0.18

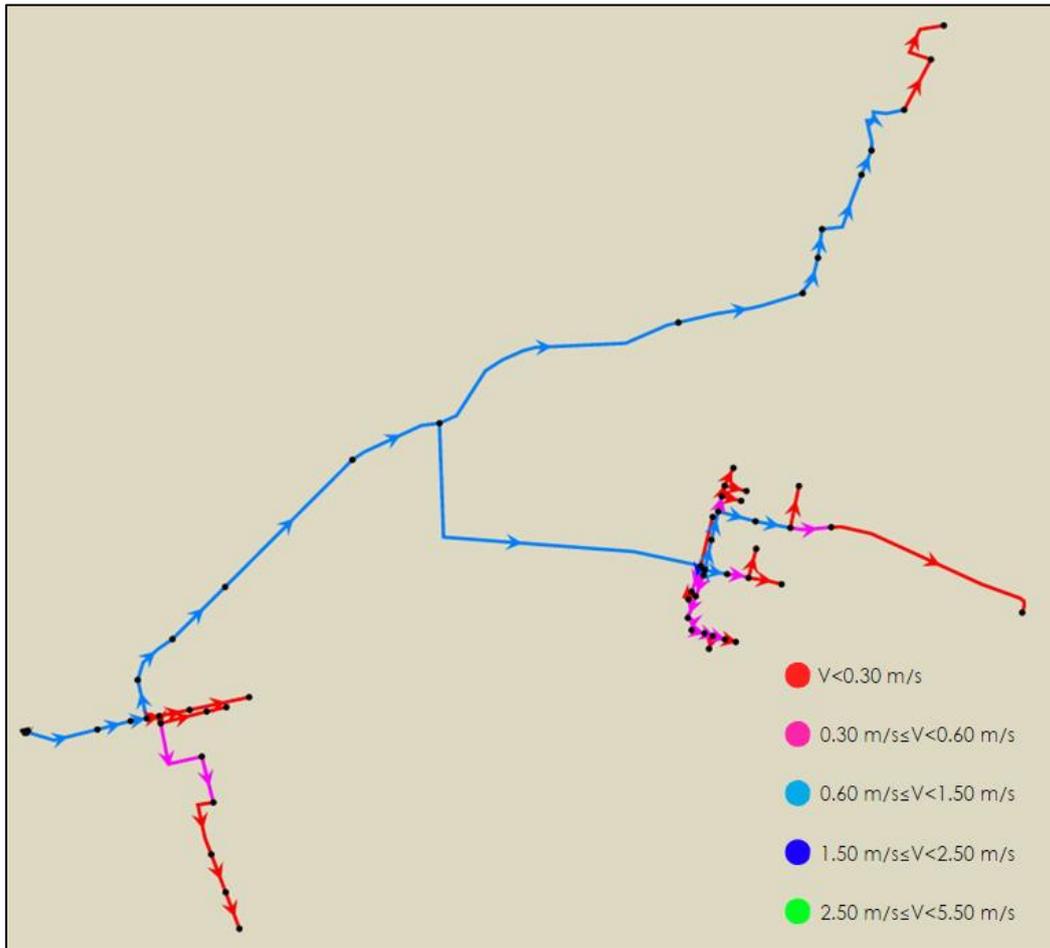
Nota. Se indican los resultados en las tuberías generados en el programa WaterCAD, bajo

el escenario numero dos. Elaborado por: Los autores.

En la Figura 32 se presenta un esquema de las velocidades correspondientes al escenario dos; este esquema utiliza una escala de colorimetría para identificar visualmente los resultados generados por el programa WaterCAD.

Figura 32

Esquema de las velocidades bajo el escenario dos.



Nota. Se presentan las tuberías con una colorimetría para identificar las velocidades generadas con el programa WaterCAD bajo el escenario dos. Elaborado por: Los autores.

Se presentan en la Tabla 34 los resultados de las presiones analizadas en los nudos bajo el escenario de consumo número dos vista en la Figura 33, se apreciaron que las presiones están dentro del rango recomendado por la normativa EMAAPS-Q, que establece un rango mínimo de 10 metros de columna de agua y un máximo de 70 metros

de columna de agua; sin embargo, en los nudos J-18 y J-19 se observaron excepciones a este rango. Para resolver este inconveniente, se utilizaron tuberías con un mayor revestimiento a fin de resistir las presiones elevadas en estos puntos.

Tabla 34

Reporte de nudos bajo el escenario dos.

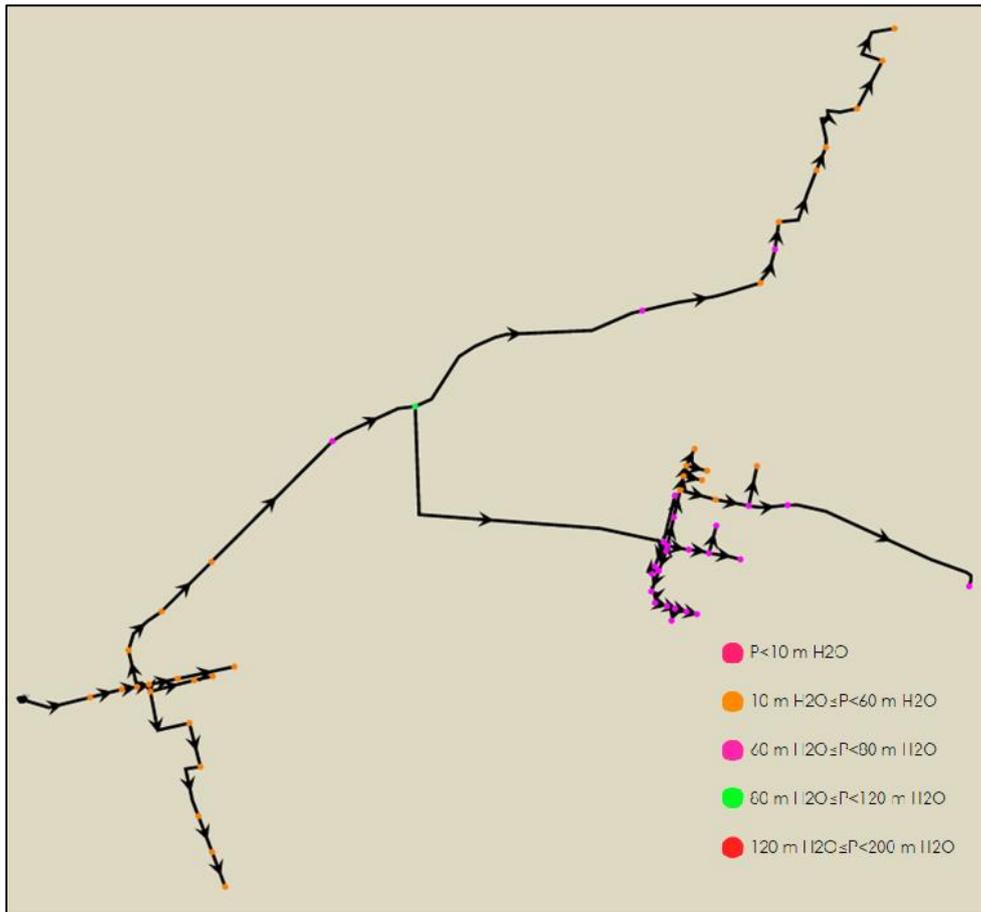
Nudo	Elevación [m]	Demanda [lts/seg]	Presión [m H2o]
J-1	2881.98	0.05	13
J-2	2876.61	0.22	17
J-3	2874.25	0.05	19
J-4	2873.48	0.03	17
J-5	2872.85	0.00	16
J-6	2860.19	0.08	29
J-7	2873.35	0.08	16
J-8	2871.02	0.22	13
J-9	2871.63	0.00	11
J-10	2869.15	0.15	19
J-11	2870.85	0.10	16
J-12	2871.89	0.08	15
J-13	2871.24	0.08	15
J-14	2870.89	0.13	15
J-15	2870.12	0.03	23
J-16	2860.32	0.35	31
J-17	2854.73	0.40	35
J-18	2814.29	0.70	71
J-19	2804.06	0.25	79
J-20	2783.01	0.10	62
J-21	2773.64	0.74	55
J-22	2769.01	0.50	56
J-23	2796.01	0.30	27
J-24	2805.24	0.33	14
J-25	2805.00	0.77	11
J-26	2768.85	0.92	44
J-27	2766.01	0.00	47
J-28	2761.52	0.08	51
J-29	2809.49	0.45	61
J-30	2808.33	0.00	62
J-31	2809.98	0.08	60
J-32	2810.21	0.45	60
J-33	2808.98	0.05	58
J-34	2809.32	0.28	57
J-35	2805.04	0.37	60
J-36	2804.36	0.08	60

J-37	2802.18	0.35	62
J-38	2799.01	0.33	65
J-39	2808.98	0.42	55
J-40	2808.03	0.53	53
J-41	2803.53	0.47	54
J-42	2798.24	0.33	57
J-43	2802.58	0.08	53
J-44	2792.00	0.42	62
J-45	2790.47	0.35	62
J-46	2809.00	0.25	52
J-47	2814.64	0.22	46
J-48	2807.70	0.18	53
J-49	2820.50	0.33	40
J-50	2813.18	0.28	48
J-51	2809.52	0.00	57
J-52	2810.02	0.22	56
J-53	2810.56	0.20	55
J-54	2809.01	0.20	56
J-55	2807.53	0.00	57
J-56	2805.42	0.20	59
J-57	2802.18	0.10	62
J-58	2806.61	0.28	58

Nota. Se indican las presiones generadas en el programa WaterCAD, bajo el escenario dos. Elaborado por: Los autores.

Figura 33

Esquema de las presiones bajo el escenario dos.



Nota. Se presentan las tuberías con una colorimetría para identificar las presiones generadas con el programa WaterCAD bajo el escenario dos. Elaborado por: Los autores.

4.4 Elaboración de Planos

Se elaboraron planos georreferenciados del abastecimiento de agua potable, que representan la configuración actual y propuesta de la red de abastecimiento, estos incluyen cortes transversales, cortes longitudinales y detalles de las uniones, estos son realizados mediante herramientas de Diseño Asistido por Computadora (CAD), el objetivo de estos planos es proporcionar el detalle de la disposición y estructura de la red de abastecimiento.

CONCLUSIONES

Ante la necesidad de realizar un estudio detallado que aborde una correcta identificación de las tuberías y válvulas existentes en el sistema, para evaluar y analizar su funcionamiento se realizó el presente trabajo de investigación, en el cual se establecen las siguientes conclusiones:

Cabe destacar que la falta de precisión en algunos de los datos proporcionados por la Junta Administradora de Agua Potable “Agua Nueva” ha afectado la exactitud del modelo, este hecho pone en evidencia la incertidumbre de dichos datos y resalta la importancia de contar con un mapeo y registro de la configuración de la red de abastecimiento.

El levantamiento detallado y la modelación hidráulica de la red permitió crear un registro actualizado de la infraestructura, facilitando la planificación de futuras mejoras, así como la corrección de problemas operativos actuales.

Las presiones en puntos desfavorables dentro del sistema no se ajustaban a los criterios de diseño establecidos por la EMAAP-Q (2009), incumpliendo así los requisitos mínimos de presiones, sin embargo, al reconfigurar la red y proyectar este escenario a un periodo de diseño de 25 años, los resultados generados en el programa WaterCAD, cumplen con la normativa, garantizando la eficiencia del sistema.

Se identificaron zonas con posibles problemas operativos debido a la variación de velocidades, por lo cual estas zonas necesitarán atención para evitar la acumulación de sedimentos y asegurar un flujo continuo del sistema.

La aplicación del método de corrección basado en las presiones medidas in situ permitió ajustar los diámetros y lograr una correcta caracterización del modelo, esto fue

especialmente importante debido a la falta de un registro detallado de la configuración de la red de distribución de agua potable.

La modelación realizada indica que la configuración actual no será óptima dentro de 25 años, por lo tanto, se llevó a cabo el diseño respectivo para abordar esta futura ineficiencia.

RECOMENDACIONES

Incluso en ausencia de planos específicos de la red de abastecimiento, es importante disponer de algún tipo de documentación que permita verificar y corroborar la configuración del sistema; misma que, garantiza fiabilidad de los datos recopilados.

Implementar un plan de mantenimiento regular para la red de distribución, enfocándose en las zonas con posibles problemas operativos para asegurar el buen funcionamiento del sistema a largo plazo.

Considerar la reconfiguración de la red para optimizar el flujo y minimizar las pérdidas de presión, asegurando así una distribución más eficiente del agua potable.

Considerar que para el diseño de la red es fundamental contar con la mayor cantidad de información posible para planificar futuras expansiones, considerando el crecimiento poblacional y las demandas futuras, asegurando que la infraestructura esté preparada para atender estas necesidades sin comprometer la calidad del servicio.

Dentro de sistema es necesario instalar válvulas de purga en tramos donde las velocidades del flujo son bajas y no cumplen con la normativa establecida; a su vez, se deben colocar válvulas de aire en los puntos elevados más desfavorables para garantizar un funcionamiento óptimo del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Water Works Association [AWWA]. (2011). *Water Quality y Treatment: A Handbook on Drinking Water (6ta ed.)*. McGraw-Hill.
- Calero Almeida, V. A. (2012). *Modelo hidráulico para el estudio del vertedero a vortice* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana] Web of Science, SCOPUS y Scielo. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1846/6/UPS-ST000834.pdf>
- Carbajal, Á., & González, M. (01 de junio de 2016). *Propiedades y funciones biológicas del agua*.
https://www.researchgate.net/publication/303699571_Propiedades_y_funciones_biologicas_del_agua
- Castillo Sarango, D. J., & Hidalgo Robalino, D. H. (2006). *Diseño del sistema de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales para la cabecera cantonal Malimpia ubicada en el cantón Quinidé, provincia de Esmeraldas* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional] PIVOTTM, E-Brary y PQ-Central. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/495>
- Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable [EMAAP]. (2009). *Normas de diseño de sistemas de agua potable para la EMAAP-Q (1ra ed.)*.
- Flores, R. O. (2011). *Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (1ra ed.)*. Bogotá: Ediciones de la U.
- García, S., & Cecilia, D. (2015). *Propuesta de diseño de la captación, línea de aducción, desarenador y línea conducción del rio Mogoticos, para la red alterna del sistema de acueducto de la cabecera municipal de San Gil*,

- Santander* [Tesis de pregrado, Universidad La Gran Colombia] Koha.
<https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/4379>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Rumiñahui [GADMC-RUMIÑAHUI]. (2020). *Acometidas de agua potable para viviendas*.
<https://www.gob.ec/gadmc-ruminahui/tramites/acometidas-agua-potable-viviendas>
- Gobierno Parroquial de Alóag. (2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2020-2023*.
http://sitp.pichincha.gob.ec/repositorio/disenio_paginas/archivos/Actualizaci%C3%B3n%20PDOT%20Al%C3%B3ag%202020-2023.pdf
- International Reference Centre for Community Water Supply and Sanitation [IRCWASH]. (1981). *Small Community Water Supplies*.
<https://www.ircwash.org/sites/default/files/201-83SM-2725.pdf>
- Kent, K. M. (1972). Travel time, time of concentration and lag. En *National Engineering Handbook: Hydrology [Manual Nacional de Ingeniería: Hidrología]*. Irrigation TOOLBOX.
<https://irrigationtoolbox.com/NEH/Part%20630%20Hydrology/neh630-ch15.pdf>
- Ludwigson, M. (2020). *Tanques de almacenamiento de agua [PDF]*. SunCam.
<file:///C:/Users/Usuario/Downloads/379.pdf>
- Magne Ayllón, F. M. (2008). *Abastecimiento, diseño y construcción de sistemas de agua potable modernizando el aprendizaje y enseñanza en la asignatura de Ingeniería Sanitaria I* [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Simón] ELSEVIER Scopus. <http://www.fcyt.umss.edu.bo/materias/>

Santamaría Peña, J., & Sanz Mendez, T. (2005). *Manual de prácticas de topografía y cartografía*. Universidad de La Rioja.

<https://publicaciones.unirioja.es/catalogo/online/topografia.pdf>

Thales Navigation. (2002). *Guía del sistema para medición RTK*.

<https://www.ecomexico.net/proyectos/soporte/ASHTECH%20-%20SPECTRA/Z%20EXTREME/Manuals/Spanish/630844%20ZX%20RTK%20Spanish.pdf>

Tuesca, R., Ávila, H., Sisa, A., & Pardo, D. (2015). *Fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano: Análisis de de tendencia de variables para consolidar mapas de riesgo. El caso de los municipios ribereños del departamento del Atlántico*. Universidad del Norte.

https://www.google.com.ec/books/edition/Fuentes_de_abastecimiento_de_agua_para_c/6BnSCgAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=Fuentes+de+abastecimiento+de+agua+para+consumo+humano+An%C3%A1lisis+de+tendencia+de+variables+para+consolidar+mapas+de+riesgo.+El+Caso+de+Los+Mun

UNEPAR-KfW-IRC. (1994). *El sistema de agua y sus componentes* .

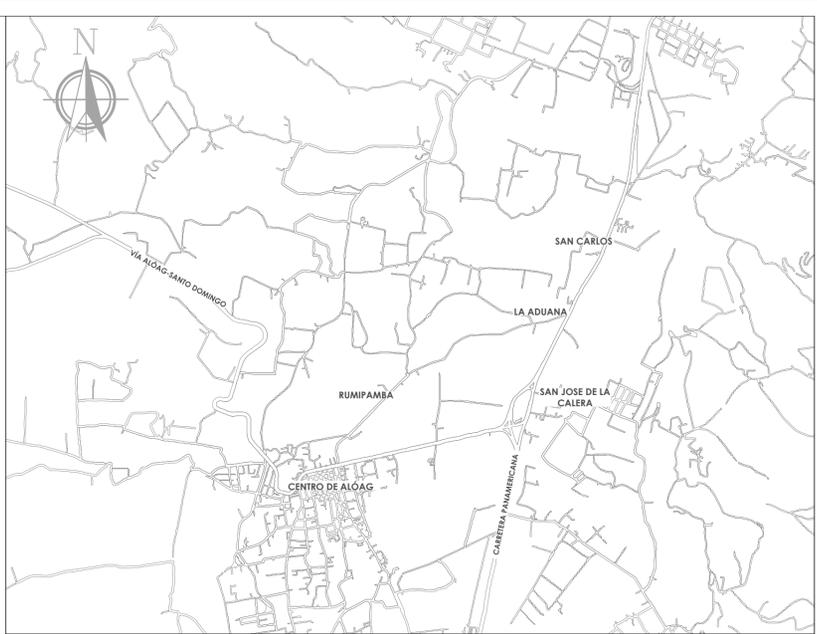
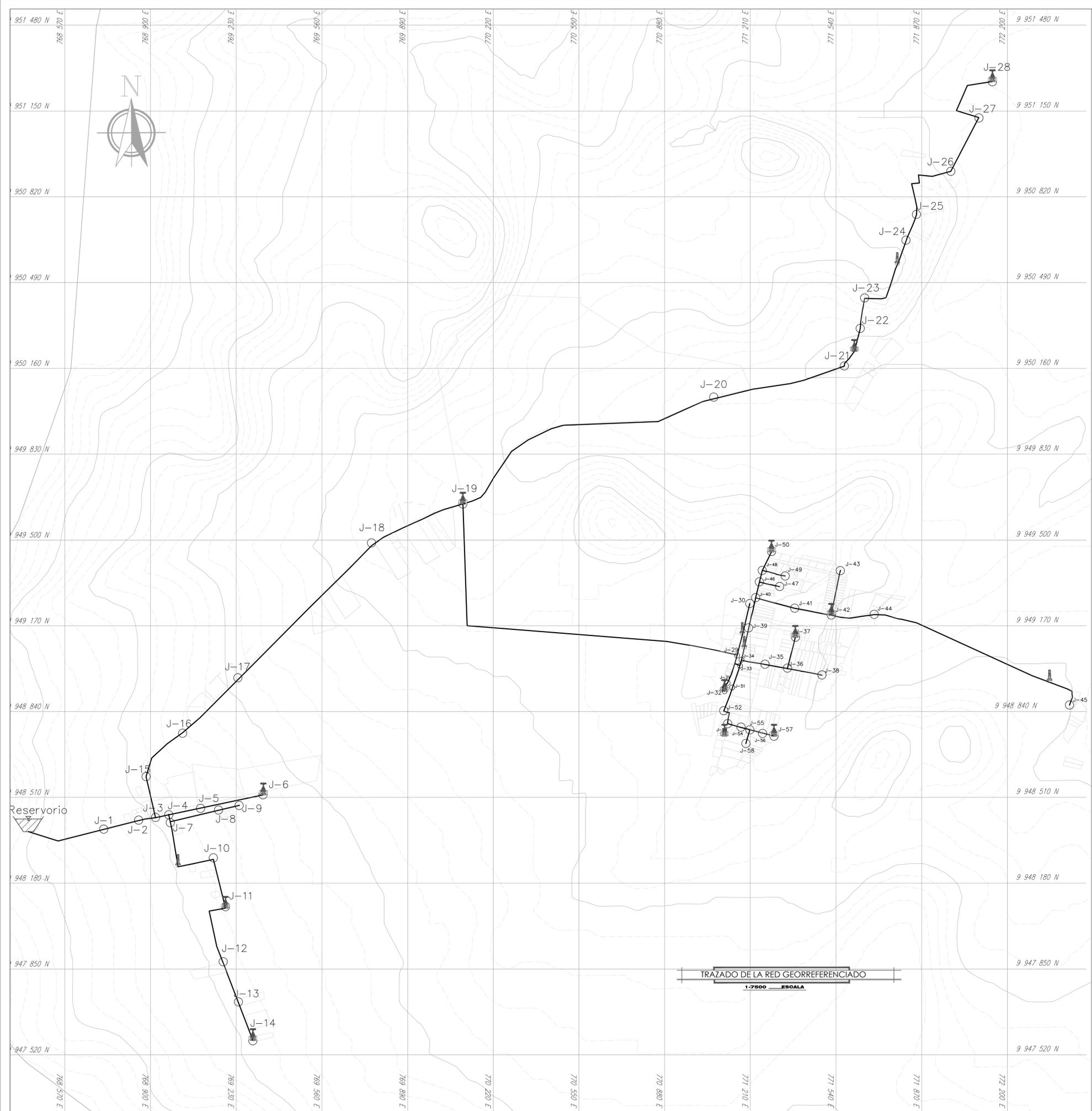
<https://es.ircwash.org/sites/default/files/204.1-94MO-14-12557.pdf>

ANEXOS

Proyectos de investigación vinculados

“Normas de diseño de sistema de agua potable para la EMAAP-Q” (01-AP-AMAAPQ-2008)

Las normas de diseño para el presente trabajo de titulación están basadas para que cumplan en base a los procedimientos generales según la normativa. Estas normas aseguran que los sistemas se diseñen y se construyan de manera eficiente, garantizando un funcionamiento óptimo y una gestión adecuada del mismo.



UBICACIÓN

ESCALA _____ REFERENCIAL

SIMBOLOGÍA	
	Reservorio
	Nudo
	Línea de abastecimiento
	Lote
	Curva de nivel menor
	Curva de nivel mayor
	Válvula de aire
	Válvula de purga

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

Causa: PROYECTO DE TITULACIÓN

Contiene: TRAZADO GEORREFERENCIADO DE LA RED

Ubicación: PROVINCIA DE PICHINCHA, CANTON MEJIA, PARROQUIA ALOAG

Escala: INDICADA

Fecha: JULIO 2024

Revisó:

Lámina:

1/6

Elaboró:

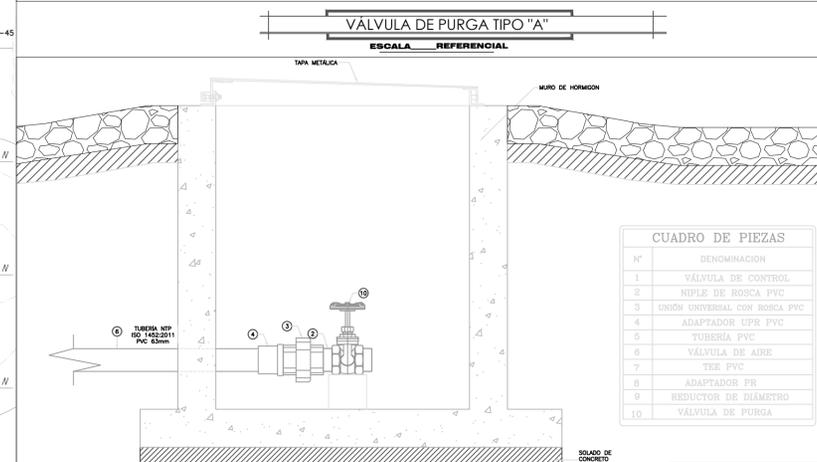
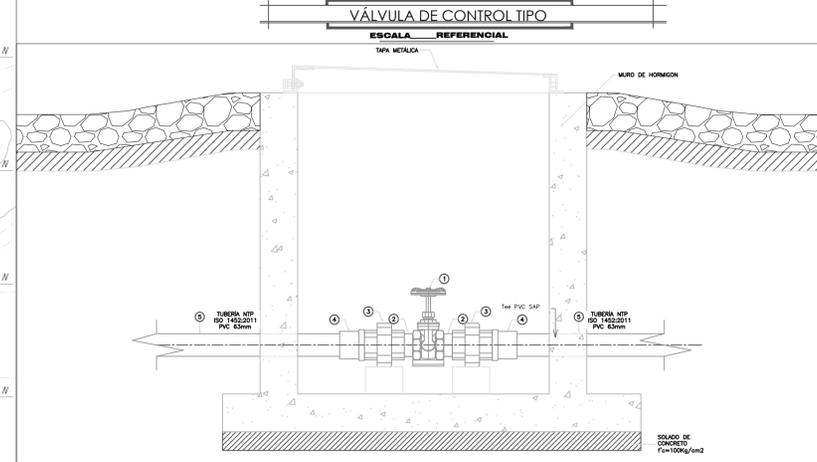
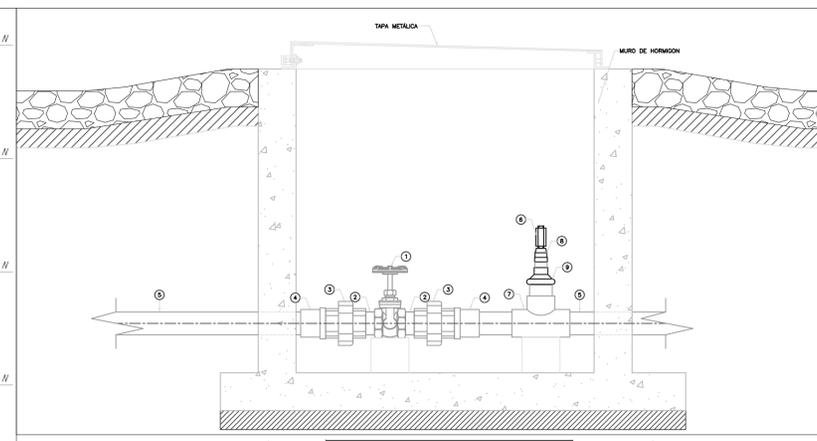
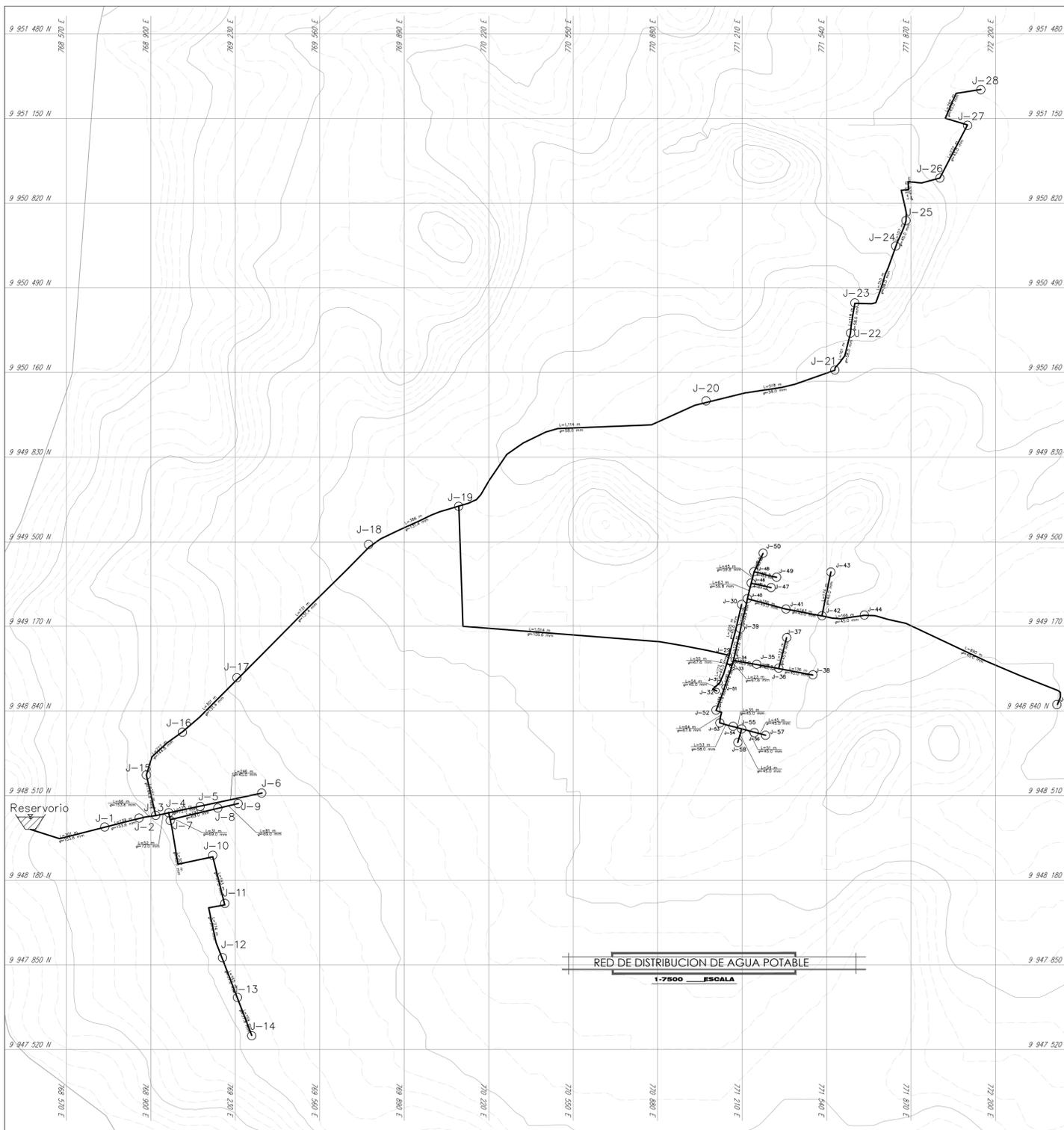
STALIN ALEJANDRO LÓPEZ CUYO
C.I.: 172470205-3

Elaboró:

JHEINER JAIR MORALES IZA
C.I.: 172470205-3

ING. CARLOS ALEXANDRO BOHORQUEZ BARBA
C.I.:

TRAZADO DE LA RED GEORREFERENCIADO
1:7500 ESCALA

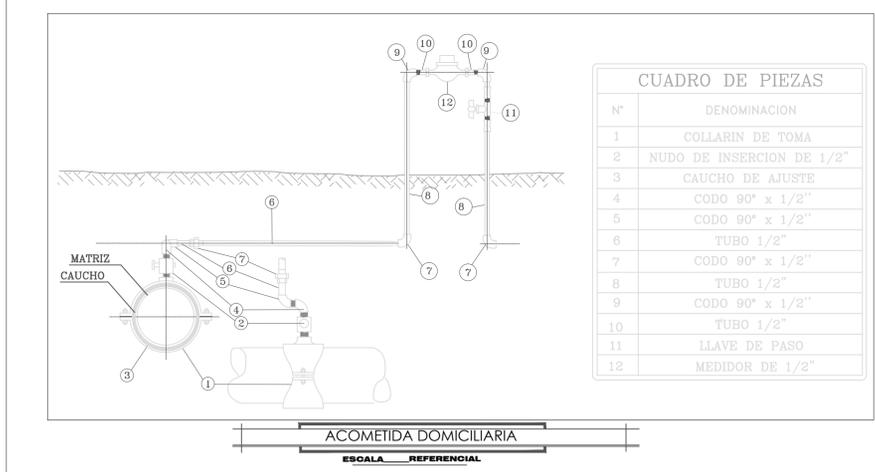


DATOS DEL PROYECTO		
CONCEPTO	UNIDAD	PROYECTO (2049)
Población actual (2024)	hab	3414
Población futura (2049)	hab	4665
Dotación	lts/hab/día	150
Factor de día máximo	--	1.4
Factor de hora máximo	--	2
Caudal medio diario	lts/seg	9.22
Caudal máximo diario	lts/seg	12.90
Caudal máximo horario	lts/seg	25.80
Caudal de diseño	lts/seg	25.80
Fuente de abastecimiento	---	Vertiente Llugshi
Tipo de fuente de abastecimiento	--	Afloramiento
Caudal medio de la fuente	lts/seg	80.60
Longitud línea de conducción	m	322
Diámetro tubería de conducción	mm	105.6
Conducción	--	A gravedad
Distribución	--	A gravedad
Desinfección	--	Por cloración
Servicio	--	Toma domiciliaria

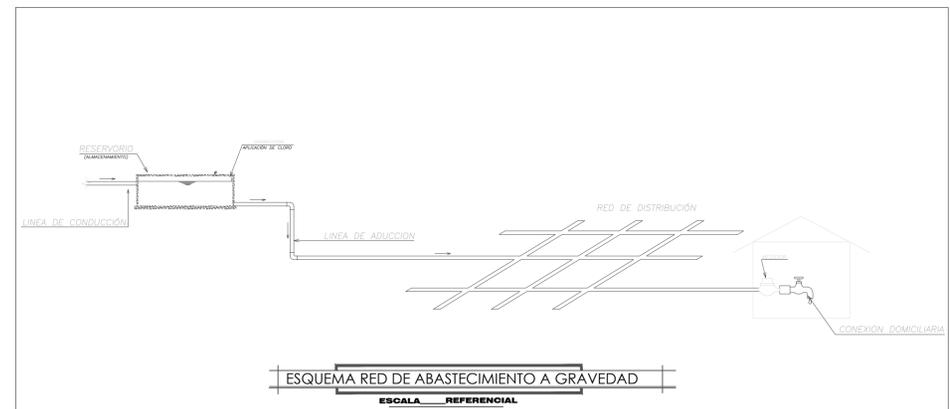
NOTAS:
 -Acolaciones y elevaciones en metros.
 -Se indican los diámetros propuestos para satisfacer la demanda de la población futura al año horizonte del 2049
 -La cifra de la cota pervalece sobre la medida dibujada a escala
 -El formato de impresión es A1

MEDIDAS CONSTRUCTIVAS:
 -Se derivará con collarín de toma cuando el diámetro de la red general tenga un diámetro mayor que 3 veces el diámetro de la acometida, caso contrario se debe instalar una T en la red y derivar con un accesorio de reducción, según corresponda.
 -Cuando la acometida principal del predio alimente a un sistema interior contraincendios con dos o más bocas contra incendio equipadas (BCIE), el diámetro mínimo de la acometida será de 60 mm.
 -Las acometidas de suministro deberán tener un diámetro nominal mayor que 16 mm
 -Para asegurar el adecuado funcionamiento del sistema de purga, la configuración debe ser la siguiente:
 1.-Instalar una válvula de control para regular el caudal que entra en el lavado.
 2.-Instalar una válvula de aire.
 3.-Instalar una válvula de purga.
 Nota: Para los framos continuos, se debe seguir el esquema de la válvula de purga tipo "A". En los framos donde no haya continuidad, se debe seguir el esquema de la válvula de purga tipo "B".

Nº	DENOMINACION
1	VÁLVULA DE CONTROL
2	NIPLE DE ROSCA PVC
3	UNION UNIVERSAL CON ROSCA PVC
4	ADAPTADOR UPR PVC
5	TUBERÍA PVC
6	VÁLVULA DE AIRE
7	TEE PVC
8	ADAPTADOR FR
9	REDUCTOR DE DIÁMETRO
10	VÁLVULA DE PURGA



Nº	DENOMINACION
1	COLLARIN DE TOMA
2	NUDO DE INSERCIÓN DE 1/2"
3	CAUCHO DE AJUSTE
4	CODO 90° x 1/2"
5	CODO 90° x 1/2"
6	TUBO 1/2"
7	CODO 90° x 1/2"
8	TUBO 1/2"
9	CODO 90° x 1/2"
10	TUBO 1/2"
11	LLAVE DE PASO
12	MEDIDOR DE 1/2"



UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

Causa: PROYECTO DE TITULACIÓN

Contiene: RED DE DISTRIBUCIÓN, COMETIDA DOMICILIARIA, VALVULAS

Ubicación: PROVINCIA DE PICHINCHA, CANTON MEJIA, PARROQUIA ALÓAG

Escala: INDICADA

Lámina: 2/6

Elaboró: STALIN ALEJANDRO LÓPEZ CUYO
C.I.: 172470205-3

Fecha: JULIO 2024

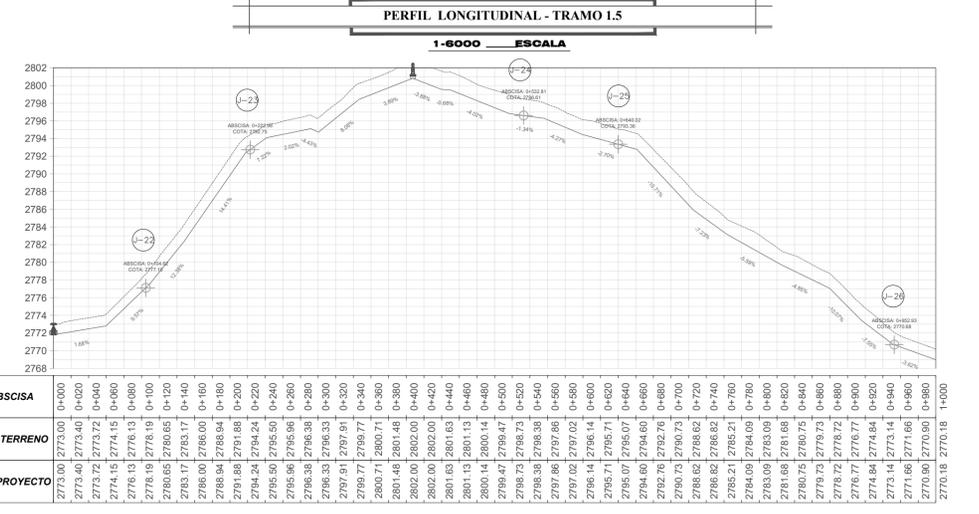
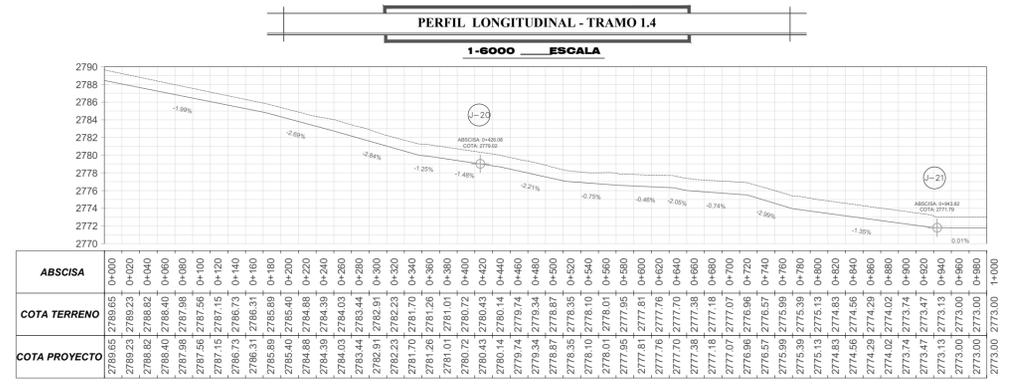
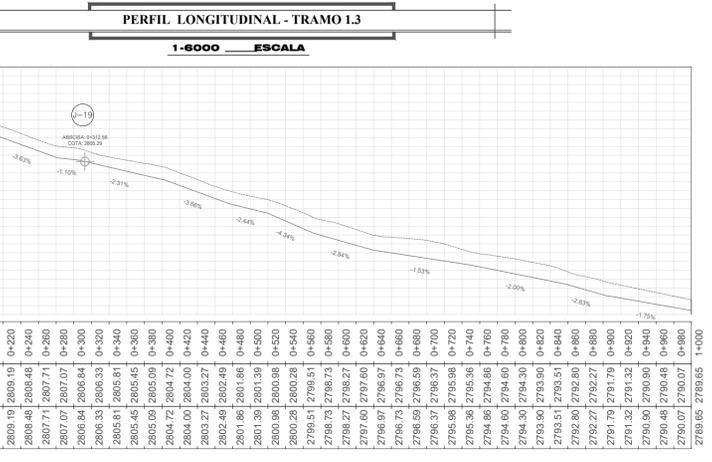
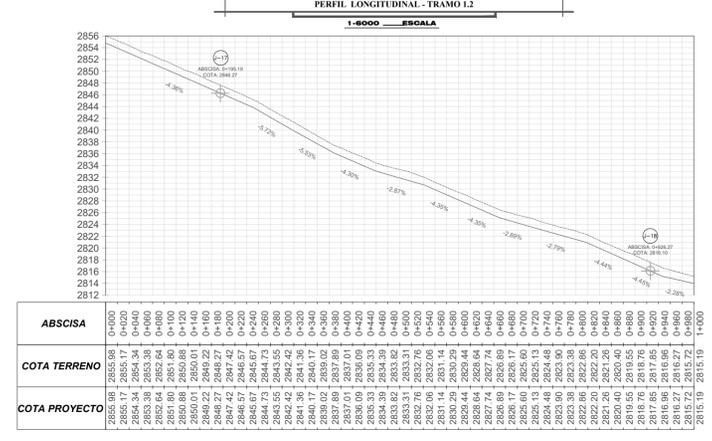
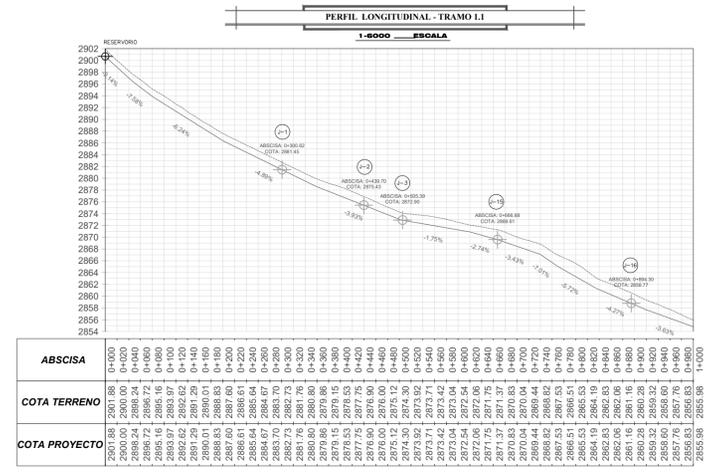
Revisó:

ING. CARLOS ALEXANDRO BOHORQUEZ BARBA
C.I.:

JHEINER JAIR MORALES IZA
C.I.: 172470205-3



TRAZADO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN - TRAMOS ESC-1:1000



SIMBOLOGÍA	
	Reservorio
	Nudo
	Linea de abastecimiento
	Perfil Terreno
	Perfil de tubería
	Válvula de aire
	Válvula de purga

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

Causa: PROYECTO DE TITULACIÓN

Contiene: TRAZADO DE LA RED GEORREFERENCIADO

Ubicación: PROVINCIA DE PICHINCHA, CANTON MEJIA, PARROQUIA ALÓAG

Escala:
INDICADA

Fecha:
JULIO 2024

Revisó:

Lámina:
3/6

Elaboró:

STALIN ALEJANDRO LÓPEZ CUYO
C.I.: 172470205-3

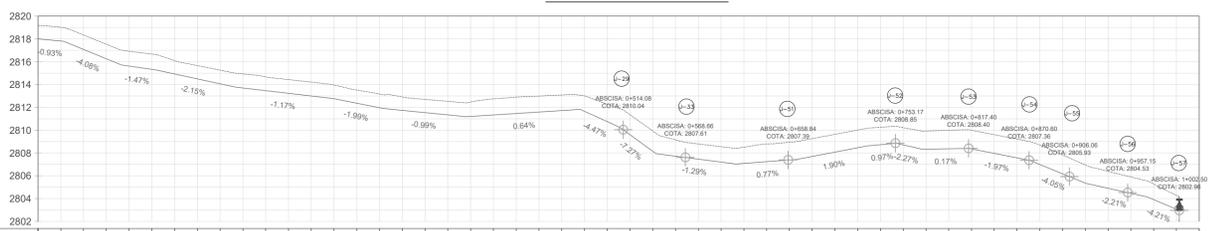
Elaboró:

JHEINER JAIR MORALES IZA
C.I.: 210112264-2

ING. CARLOS ALEXANDRO BOHORQUEZ BARBA
C.I.:

PERFIL LONGITUDINAL - TRAMO 5.2

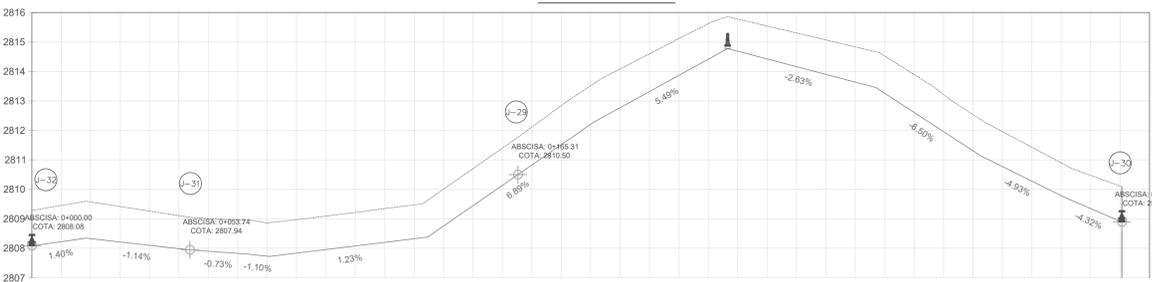
1-6000 ESCALA



ABSCISA	COTA TERRENO	COTA PROYECTO
2819.20	2819.20	0+000
2819.03	2819.03	0+020
2818.95	2818.95	0+040
2818.54	2818.54	0+060
2818.92	2818.92	0+080
2818.67	2818.67	0+100
2818.10	2818.10	0+120
2815.66	2815.66	0+140
2815.26	2815.26	0+160
2814.63	2814.63	0+180
2814.67	2814.67	0+200
2814.44	2814.44	0+220
2814.22	2814.22	0+240
2813.96	2813.96	0+260
2813.52	2813.52	0+280
2813.17	2813.17	0+300
2812.92	2812.92	0+320
2812.70	2812.70	0+340
2812.53	2812.53	0+360
2812.46	2812.46	0+380
2812.74	2812.74	0+400
2812.90	2812.90	0+420
2812.99	2812.99	0+440
2813.08	2813.08	0+460
2813.01	2813.01	0+480
2812.26	2812.26	0+500
2811.35	2811.35	0+520
2809.93	2809.93	0+540
2809.79	2809.79	0+560
2809.55	2809.55	0+580
2809.70	2809.70	0+600
2808.94	2808.94	0+620
2809.26	2809.26	0+640
2809.63	2809.63	0+660
2809.63	2809.63	0+680
2810.26	2810.26	0+700
2810.21	2810.21	0+720
2810.22	2810.22	0+740
2810.22	2810.22	0+760
2809.92	2809.92	0+780
2809.99	2809.99	0+800
2809.99	2809.99	0+820
2809.61	2809.61	0+840
2809.22	2809.22	0+860
2809.63	2809.63	0+880
2809.55	2809.55	0+900
2808.95	2808.95	0+920
2808.39	2808.39	0+940
2805.90	2805.90	0+960
2805.28	2805.28	0+980
2804.28	2804.28	1+000

PERFIL LONGITUDINAL - TRAMO 7

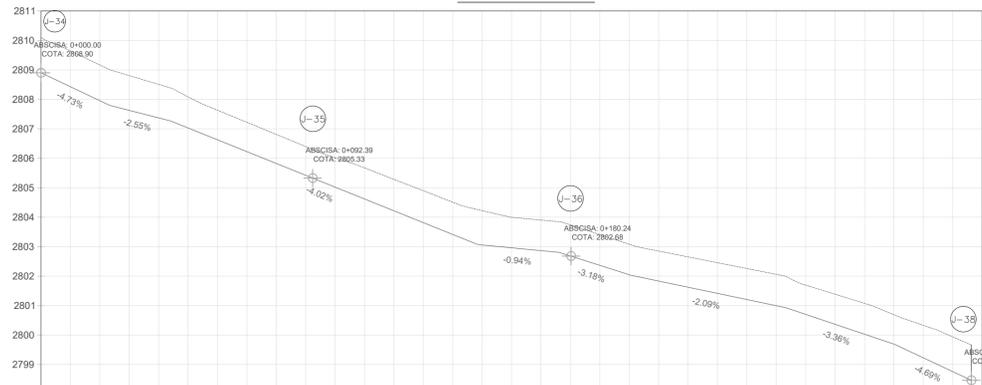
1-6000 ESCALA



ABSCISA	COTA TERRENO	COTA PROYECTO
2809.28	2809.28	0+000
2809.45	2809.45	0+010
2809.57	2809.57	0+020
2809.42	2809.42	0+030
2809.26	2809.26	0+040
2809.11	2809.11	0+050
2809.00	2809.00	0+060
2808.97	2808.97	0+070
2808.86	2808.86	0+080
2808.97	2808.97	0+090
2809.09	2809.09	0+100
2809.22	2809.22	0+110
2809.35	2809.35	0+120
2809.47	2809.47	0+130
2810.00	2810.00	0+140
2810.70	2810.70	0+150
2811.40	2811.40	0+160
2812.11	2812.11	0+170
2812.84	2812.84	0+180
2813.51	2813.51	0+190
2814.08	2814.08	0+200
2814.60	2814.60	0+210
2815.12	2815.12	0+220
2815.62	2815.62	0+230
2815.78	2815.78	0+240
2815.54	2815.54	0+250
2815.50	2815.50	0+260
2815.07	2815.07	0+270
2814.63	2814.63	0+280
2814.52	2814.52	0+290
2813.69	2813.69	0+300
2813.22	2813.22	0+310
2812.54	2812.54	0+320
2811.96	2811.96	0+330
2811.43	2811.43	0+340
2810.90	2810.90	0+350
2810.47	2810.47	0+360
2810.11	2810.11	0+370
2810.11	2810.11	0+380

PERFIL LONGITUDINAL - TRAMO 9

1-6000 ESCALA



ABSCISA	COTA TERRENO	COTA PROYECTO
2810.10	2810.10	0+000
2809.64	2809.64	0+010
2809.17	2809.17	0+020
2808.81	2808.81	0+030
2808.51	2808.51	0+040
2808.08	2808.08	0+050
2807.63	2807.63	0+060
2807.22	2807.22	0+070
2806.81	2806.81	0+080
2806.40	2806.40	0+090
2806.02	2806.02	0+100
2805.67	2805.67	0+110
2805.29	2805.29	0+120
2804.90	2804.90	0+130
2804.51	2804.51	0+140
2804.22	2804.22	0+150
2803.80	2803.80	0+160
2803.74	2803.74	0+170
2803.41	2803.41	0+180
2803.08	2803.08	0+190
2802.85	2802.85	0+200
2802.65	2802.65	0+210
2802.46	2802.46	0+220
2802.26	2802.26	0+230
2802.06	2802.06	0+240
2801.69	2801.69	0+250
2801.39	2801.39	0+260
2801.08	2801.08	0+270
2800.69	2800.69	0+280
2800.33	2800.33	0+290
2799.84	2799.84	0+300
2799.84	2799.84	0+310
2799.84	2799.84	0+320

PERFIL LONGITUDINAL - TRAMO 10

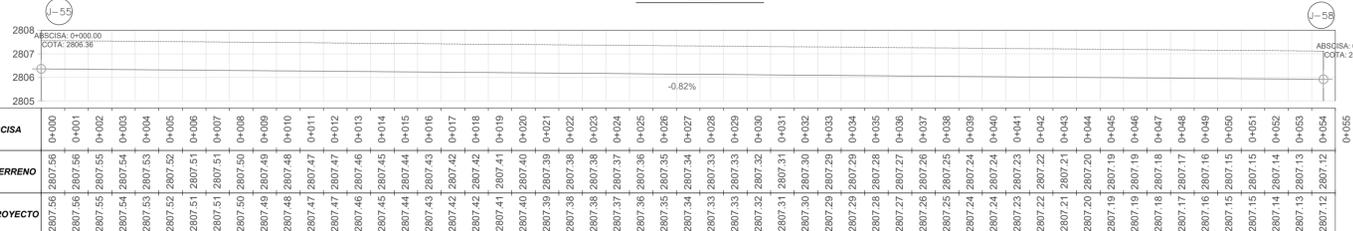
1-6000 ESCALA



ABSCISA	COTA TERRENO	COTA PROYECTO
2803.70	2803.70	0+000
2803.72	2803.72	0+010
2803.71	2803.71	0+020
2803.70	2803.70	0+030
2803.69	2803.69	0+040
2803.68	2803.68	0+050
2803.67	2803.67	0+060
2803.67	2803.67	0+070
2803.66	2803.66	0+080
2803.65	2803.65	0+090
2803.64	2803.64	0+100
2803.63	2803.63	0+110
2803.62	2803.62	0+120
2803.61	2803.61	0+130
2803.61	2803.61	0+140
2803.60	2803.60	0+150
2803.59	2803.59	0+160
2803.57	2803.57	0+170
2803.56	2803.56	0+180
2803.55	2803.55	0+190
2803.54	2803.54	0+200
2803.54	2803.54	0+210
2803.52	2803.52	0+220
2803.51	2803.51	0+230
2803.49	2803.49	0+240
2803.47	2803.47	0+250
2803.46	2803.46	0+260
2803.44	2803.44	0+270
2803.42	2803.42	0+280
2803.41	2803.41	0+290
2803.39	2803.39	0+300
2803.38	2803.38	0+310
2803.35	2803.35	0+320
2803.34	2803.34	0+330
2803.32	2803.32	0+340
2803.31	2803.31	0+350
2803.30	2803.30	0+360
2803.29	2803.29	0+370
2803.28	2803.28	0+380
2803.27	2803.27	0+390
2803.26	2803.26	0+400
2803.26	2803.26	0+410
2803.25	2803.25	0+420
2803.25	2803.25	0+430
2803.24	2803.24	0+440
2803.23	2803.23	0+450
2803.21	2803.21	0+460
2803.20	2803.20	0+470
2803.19	2803.19	0+480
2803.18	2803.18	0+490
2803.16	2803.16	0+500
2803.14	2803.14	0+510
2803.13	2803.13	0+520
2803.12	2803.12	0+530
2803.11	2803.11	0+540
2803.11	2803.11	0+550
2803.10	2803.10	0+560
2803.09	2803.09	0+570
2803.08	2803.08	0+580
2803.07	2803.07	0+590
2803.07	2803.07	0+600
2803.06	2803.06	0+610
2803.06	2803.06	0+620
2803.06	2803.06	0+630
2803.06	2803.06	0+640
2803.04	2803.04	0+650
2803.04	2803.04	0+660
2803.03	2803.03	0+670
2803.02	2803.02	0+680
2803.01	2803.01	0+690
2803.01	2803.01	0+700
2802.99	2802.99	0+710
2802.98	2802.98	0+720
2802.97	2802.97	0+730
2802.96	2802.96	0+740
2802.96	2802.96	0+750
2802.96	2802.96	0+760
2802.96	2802.96	0+770
2802.95	2802.95	0+780
2802.95	2802.95	0+790
2802.94	2802.94	0+800
2802.94	2802.94	0+810
2802.93	2802.93	0+820
2802.93	2802.93	0+830
2802.92	2802.92	0+840
2802.91	2802.91	0+850
2802.90	2802.90	0+860
2802.90	2802.90	0+870
2802.90	2802.90	0+880
2802.89	2802.89	0+890
2802.88	2802.88	0+900
2802.88	2802.88	0+910
2802.87	2802.87	0+920
2802.86	2802.86	0+930
2802.86	2802.86	0+940
2802.85	2802.85	0+950
2802.84	2802.84	0+960
2802.84	2802.84	0+970
2802.83	2802.83	0+980
2802.83	2802.83	0+990
2802.82	2802.82	1+000
2802.82	2802.82	1+010

PERFIL LONGITUDINAL - TRAMO 6

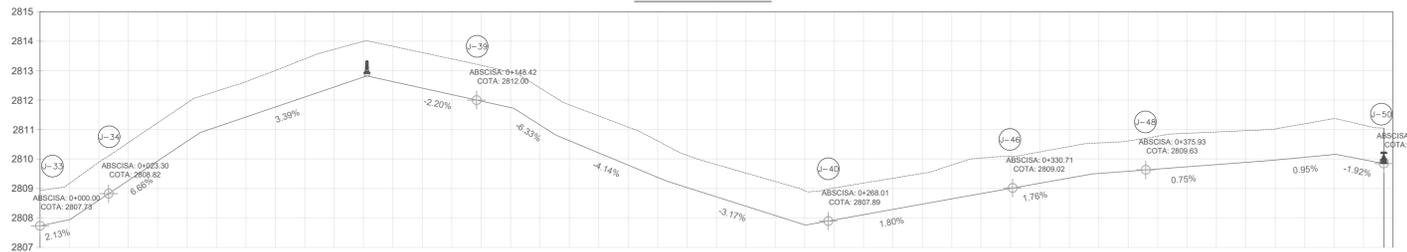
1-6000 ESCALA



ABSCISA	COTA TERRENO	COTA PROYECTO
2807.56	2807.56	0+000
2807.56	2807.56	0+010
2807.55	2807.55	0+020
2807.54	2807.54	0+030
2807.53	2807.53	0+040
2807.52	2807.52	0+050
2807.51	2807.51	0+060
2807.50	2807.50	0+070
2807.49	2807.49	0+080
2807.48	2807.48	0+090
2807.47	2807.47	0+100
2807.46	2807.46	0+110
2807.45	2807.45	0+120
2807.44	2807.44	0+130
2807.43	2807.43	0+140
2807.42	2807.42	0+150
2807.42	2807.42	0+160
2807.41	2807.41	0+170
2807.40	2807.40	0+180
2807.39	2807.39	0+190
2807.38	2807.38	0+200
2807.37	2807.37	0+210
2807.36	2807.36	0+220
2807.35	2807.35	0+230
2807.34	2807.34	0+240
2807.33	2807.33	0+250
2807.32	2807.32	0+260
2807.31	2807.31	0+270
2807.30	2807.30	0+280
2807.29	2807.29	0+290
2807.29	2807.29	0+300
2807.28	2807.28	0+310
2807.27	2807.27	0+320
2807.26	2807.26	0+330
2807.25	2807.25	0+340
2807.24	2807.24	0+350
2807.23	2807.23	0+360
2807.22	2807.22	0+370
2807.21	2807.21	0+380
2807.20	2807.20	0+390
2807.19	2807.19	0+400
2807.18	2807.18	0+410
2807.17	2807.17	0+420
2807.16	2807.16	0+430
2807.15	2807.15	0+440
2807.15	2807.15	0+450
2807.14	2807.14	0+460
2807.13	2807.13	0+470
2807.12	2807.12	0+480
2807.12	2807.12	0+490
2807.11	2807.11	0+500

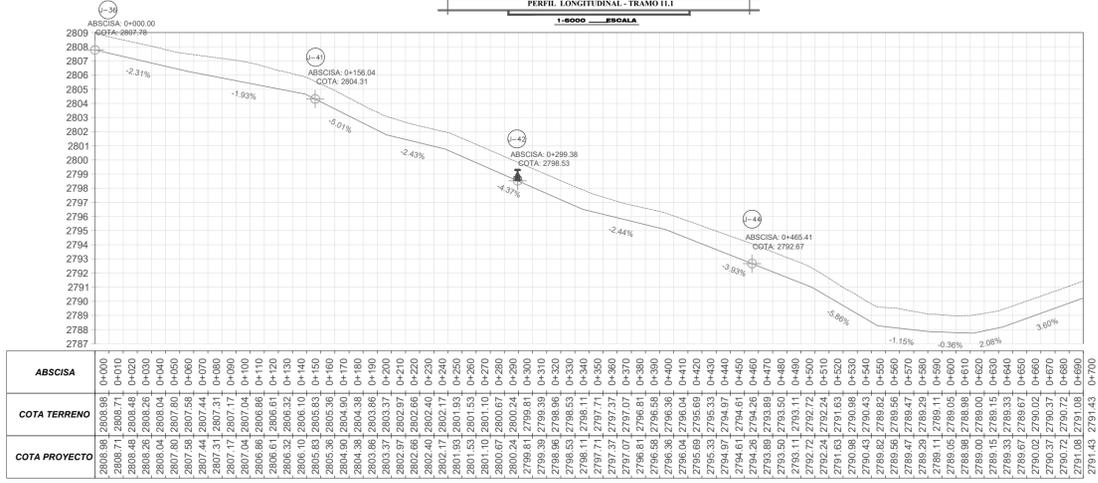
PERFIL LONGITUDINAL - TRAMO 8

1-6000 ESCALA

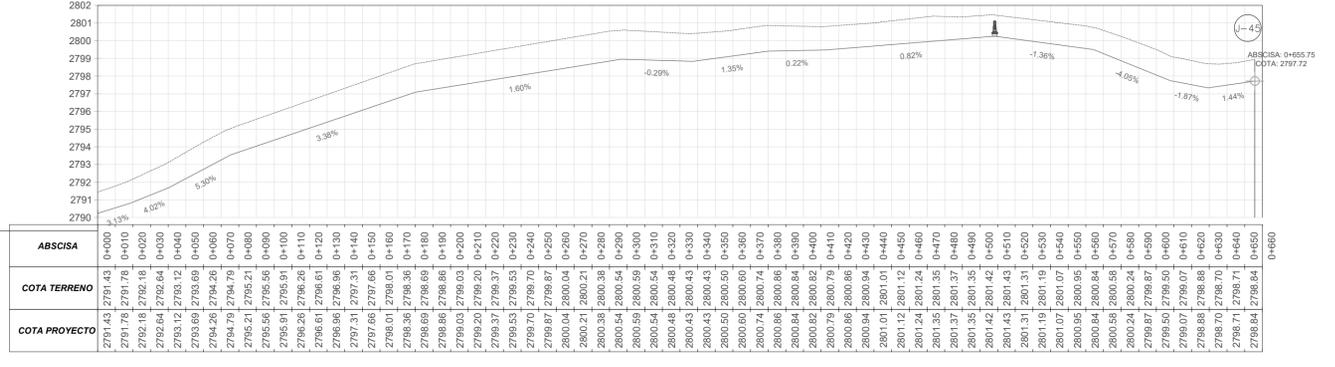


ABSCISA	COTA TERRENO	COTA PROYECTO
2808.93	2808.93	0+000
2809.17	2809.17	0+010
2809.89	2809.89	0+020
2810.55	2810.55	0+030
2811.23	2811.23	0+040
2811.90	2811.90	0+050
2812.30	2812.30	0+060
2812.62	2812.62	0+070
2813.00	2813.00	0+080
2813.39	2813.39	0+090
2813.72	2813.72	0+100
2813.99	2813.99	0+110
2813.82	2813.82	0+120
2813.61	2813.61	0+130
2813.40	2813.40	0+140
2813.18	2813.18	0+150
2812.95		

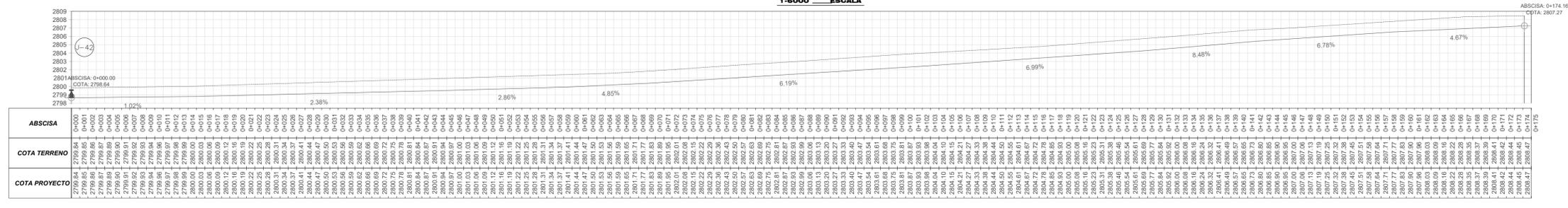
PERFIL LONGITUDINAL - TRAMO I.1
1:6000 ESCALA



PERFIL LONGITUDINAL - TRAMO II.2
1:6000 ESCALA



PERFIL LONGITUDINAL - TRAMO 12
1:6000 ESCALA



PERFIL LONGITUDINAL - TRAMO 13
1:6000 ESCALA

