

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD OYAMBARO

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
TECNÓLOGAS EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**

MELANNY JOYCE ANAGUANO PILLALAZA

melanny.anaguano@epn.edu.ec

MARTHA ALEXIS GONZÁLEZ RIERA

martha.gonzalez@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. EDUARDO MAURICIO VÁSQUEZ FALCONES, MSC.

eduardo.vasquez@epn.edu.ec

CODIRECTORA: ING. PATRICIA HARO MSC PHD

patricia.haro@epn.edu.ec

Quito, noviembre 2021

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por las Srtas Anaguano Pillalaza Melanny Joyce y González Riera Martha Alexis como requerimiento parcial a la obtención del título de Tecnólogas en Agua y Saneamiento Ambiental bajo nuestra supervisión:

Ing. Eduardo Vázquez MSc

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Patricia Haro MSc PhD

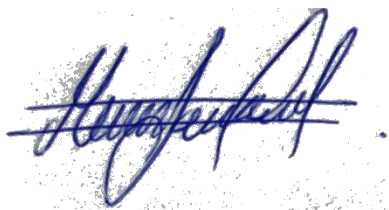
CODIRECTORA DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotras Anaguano Pillalaza Melanny Joyce con CI: 1725050650 y González Riera Martha Alexis con CI: 1724831563 declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 144 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación – COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entregamos toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.



Anaguano Pillalaza Melanny Joyce



González Riera Martha Alexis

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi abuelita Charo, por haber estado junto a mí dándome ánimos para lograr cumplir mis metas y ser mi soporte para jamás rendirme.

A mi tío Eddy quien ha sido como mi padre y la persona que me ha brindado su apoyo y cariño.

A mis hermanas Mayari y Lissy, que han sido mi motivación para continuar; sigan adelante que todo sacrificio tiene su recompensa.

Melanny Anaguano

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por no desampararme en toda mi vida y colmarme de sabiduría para lograr culminar mi carrera con éxito.

A la Escuela Politécnica Nacional, principalmente a la ESFOT, por brindarme esta oportunidad de ser parte de su comunidad.

A todos los profesores que he tenido durante la carrera, por impartirme sus conocimientos y enseñarme a amar lo que hago. Son unos excelentes profesionales, gracias.

Al Ing. Santiago Guerra MsC., quien ha sido mi tutor y guía en todo mi trayecto universitario.

Al Ing. Eduardo Vásquez MsC., por toda la paciencia y su ayuda que nos ha brindado para culminar este trabajo.

A mi amiga Martha González; con quien he vivido tantos buenos momentos, las traspasadas, los supletorios, las jaladas de semestre. Lo logramos amiga... El tiempo de Dios si fue perfecto.

Melanny Anaguano

DEDICATORIA

A mi madre por toda la paciencia comprensión apoyo y amor que me brindó durante toda mi vida estudiantil. Nunca dejaste que me rinda, gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba de todo lo que soy capaz.

A mi esposo Alejandro y a mis hijos Elliot y Liam, por ser el motor que me inspira cada día para seguir adelante y ser mejor. Son la razón de cada cosa que hago, los amo son lo más hermoso que tengo.

Martha González

AGRADECIMIENTO

A la ESFOT y a todos los miembros que la conforman, por tan gratos momentos y enseñanzas que me dejaron a lo largo de mi vida universitaria.

A mis hermanos Antonio y David por ser mis eternos compañeros de vida, por cuidarme y guiarme desde pequeña. Por todas las sonrisas y todo el apoyo incondicional que siempre me han dado.

Al Ing. Eduardo Vázquez MsC. por todos los conocimientos, consejos y sobre todo la paciencia que nos brindó para la elaboración del presente trabajo.

Al Ing. Santiago Guerra MsC por ser uno de los mejores profesores que he tenido, con una manera tan particular de impartir clases, a pesar de ser súper estricto, más que un profesor es un amigo más.

A Melanny quien fue mi primera amiga en la universidad, por todos los gratos momentos que nos llevamos juntas, por todas las amanecidas que nos pegamos estudiando, por fin lo logramos.

Martha González

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Introducción	1
1.1	Antecedentes	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Objetivo general.....	3
1.3.2	Objetivos específicos.....	3
1.4	Marco teórico.....	4
1.4.1	Calidad de agua.....	4
1.4.2	Cantidad de agua.....	7
1.4.3	Sistemas de abastecimiento.....	12
1.4.4	Potabilización de agua.....	14
1.4.5	Red de distribución	17
1.4.6	Simulación hidráulica en Epanet	18
2	Metodología.....	20
2.1	Descripción del sitio de estudio	20
2.2	Recopilación de información para la línea base.....	20
2.2.1	Catastro del sistema de abastecimiento	20
2.2.2	Levantamiento de puntos geo referenciados	20
2.2.3	Muestro y análisis in situ.....	21
2.2.4	Aforo de caudales	22
2.3	Determinación de la población.....	22
2.4	Cálculo de caudales.....	23
2.5	Simulación hidráulica con EPANET.....	23
2.5.1	Pérdidas de energía.....	25
2.5.2	Demanda de nodos en la red de distribución.....	25
2.6	Evaluación del sistema de abastecimiento.....	26
2.7	Propuesta de mejoras	26
2.7.1	Arreglo del sedimentador.....	26

2.7.2	Filtro lento de flujo ascendente.....	26
3	Resultados y Discusión	28
3.1	Descripción del sistema de abastecimiento	28
3.2	Recopilación de información para la línea base.....	28
3.2.1	Catastro del sistema de abastecimiento	28
3.2.2	Muestreo y análisis <i>in situ</i>	35
3.2.3	Aforo de caudales	38
3.3	Cálculo de la población futura.....	38
3.4	Cálculos de caudales	39
3.4.1	Cálculo del caudal actual 2 020.....	39
3.4.2	Cálculo de caudales futuros 2 050	40
3.5	Evaluación hidráulica del sistema.....	41
3.5.1	Conducción	41
3.5.2	Red de distribución	45
3.6	Propuestas de mejoras	48
3.6.1	Adaptación de una malla gruesa.....	48
3.6.2	Arreglo del sedimentador.....	48
3.6.3	Implementación de un filtro.....	52
3.6.4	Socialización con la comunidad	55
4	Conclusiones y Recomendaciones	57
4.1	Conclusiones.....	57
4.2	Recomendaciones	58
5	Referencias Bibliográficas.....	59
	ANEXOS	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Medición ultrasónica	12
Ilustración 2: Elementos de un sistema de abastecimiento.....	13
Ilustración 3: Filtro lento de arena	16
Ilustración 4: Filtro rápido de arena	17
Ilustración 8 : Ubicación de la comunidad Oyambaro	20
Ilustración 9: Esquema del sistema de abastecimiento y distribución de Oyambaro	28
Ilustración 10: Captación secundaria	29
Ilustración 11 : Tanque de captación	29
Ilustración 12 : Pantallas del tanque sedimentador	30
Ilustración 13: Vertedero triangular en el tanque sedimentador.....	30
Ilustración 14: Conducción	31
Ilustración 15: Tuberías de la conducción.....	32
Ilustración 16 : Válvula de desagüe	33
Ilustración 17: Válvula de aire	34
Ilustración 18 : Tanque distribuidor	34
Ilustración 19: Red de distribución	35
Ilustración 20 : Análisis in situ.	37
Ilustración 21: Aforo de caudal.....	38
Ilustración 22 : Simulación conducción dinámica	42
Ilustración 23: Simulación conducción dinámica velocidades	43
Ilustración 24: Simulación conducción estática	45
Ilustración 25 : Presiones de la simulación dinámica de la red de distribución	46
Ilustración 26: Caudales de la simulación dinámica de la red de distribución	46
Ilustración 27 : Simulación estática de la red de distribución	47
Ilustración 28: Vista en sección del tanque sedimentador actual.....	49
Ilustración 29: Vista en sección del tanque sedimentador con las pantallas extendidas	49
Ilustración 30: Vista en planta del sedimentador	50
Ilustración 31: Filtro propuesto para el caudal futuro.....	53
Ilustración 32: Filtro propuesto para el caudal futuro, vista en planta y corte A-A.....	53
Ilustración 33: Prototipo del filtro rápido.....	55
Ilustración 34: Reunión con la directiva de la Junta de Agua de Oyambaro.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: “Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico”	6
Tabla 2: “Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano”	7
Tabla 3: Velocidades máximas	14
Tabla 4: Relación velocidad de sedimentación y diámetros de partículas	15
Tabla 5: Coordenadas de los sitios muestreados	21
Tabla 6: Tasa de crecimiento poblacional de la parroquia Yaruquí	22
Tabla 7: Ecuaciones utilizadas para calcular la población futura	23
Tabla 8: Información proporcionada por la Junta de agua potable de Oyambaro 2020	23
Tabla 9: Coeficiente de rugosidad de Darcy Weisbach	25
Tabla 10: Criterios de diseño filtro lento de flujo ascendente	27
Tabla 11: Ubicación de las válvulas de desagüe	32
Tabla 12: Ubicación de las válvulas de aire	33
Tabla 13 : Análisis de parámetros en agua cruda	36
Tabla 14: Análisis de parámetros en agua potable	37
Tabla 15 : Comparación caudal aforado y caudal de concesión	38
Tabla 16: Población futura 2 050	39
Tabla 17: Caudales futuros año 2 050	41
Tabla 18: Evaluación de velocidades en el sistema de conducción	43
Tabla 19: Puntos que no cumplen con la presión mínima dinámica	47
Tabla 20: Nodos sobre presurizados	48
Tabla 21 : Cálculos del Sedimentador con el Caudal Actual	51
Tabla 22: Cálculos del sedimentador con el caudal futuro	52
Tabla 23: Cotización del filtro de flujo ascendente	54

RESUMEN

El presente estudio evalúa el comportamiento hidráulico del sistema de abastecimiento y distribución de Oyambaro, el cual se ve afectado por la calidad que posee su agua de consumo, puesto que en épocas de lluvia se presentan altos niveles de turbidez ocasionando molestias a los habitantes.

Para iniciar, se recopiló información de la línea base, donde se visitó la comunidad y se procedió a tomar muestras para análisis *in situ*. Además, se hizo un levantamiento topográfico, inspección y catastro de los elementos que conforman el sistema.

Con los datos obtenidos en el levantamiento topográfico se realizó un modelamiento hidráulico del sistema, con el fin de conocer las condiciones en las cuales trabaja y si estas cumplen con la normativa de diseño referente a velocidades y presiones.

Después de analizar el sistema se determinaron las siguientes propuestas de mejora: arreglo del sedimentador, implementación de un filtro lento o un filtro rápido y la adaptación de una malla gruesa que evite el paso de materiales.

Por último, estas propuestas fueron presentadas a la junta de agua potable de la comunidad de Oyambaro, con el fin de explicar de manera comprensible, solventando cualquier tipo de inquietud.

PALABRAS CLAVE: Turbidez, conducción, distribución, abastecimiento, modelamiento.

ABSTRACT

This study evaluates the hydraulic behavior of the Oyambaro supply and distribution system, which is affected by the quality of its drinking water, since during rainy seasons there are high levels of turbidity, causing discomfort to the inhabitants.

To begin with, baseline information was collected, where the community was visited, and samples were taken for *in situ* analysis. In addition, a topographic survey, inspection, and cadastre of the elements that make up the system were carried out.

With the data obtained from the topographic survey, a hydraulic modeling of the system was carried out to determine the conditions under which it works and whether they comply with the design regulations regarding velocities and pressures.

After analyzing the system, the following improvement proposals were determined: arrangement of the settling tank, implementation of a slow filter or a fast filter and the adaptation of a coarse mesh to prevent the passage of materials.

Finally, these proposals were presented to the drinking water board of the community of Oyambaro, to explain them in an understandable way, resolving any concerns.

KEY WORDS: Turbidity, conduction, distribution, supply, modeling.

1 INTRODUCCIÓN

Se considera al agua un eje de desarrollo para los seres humanos. Es indispensable para el uso cotidiano y las actividades antropogénicas realizadas por los asentamientos poblacionales. La calidad de agua para consumo debe cumplir con ciertos criterios físicos, químicos y biológicos. El dotar de agua potable eleva la calidad de vida de los individuos, con la correspondiente disminución se mejora cualquier tipo de riesgo sanitario al cual podrían exponerse si consumen agua con un tratamiento deficiente (Torres, Cruz, & Patiño, 2009).

Sin embargo, en Ecuador existen sectores rurales que carecen de servicios de agua potable, esto causa afectaciones en la salud, bienestar y desarrollo de las comunidades. La calidad de agua incide en el nivel de riesgo sanitario, ocasionando vulnerabilidad en los habitantes. Otra problemática que sufren las zonas rurales son los altos costos que representa la implementación de un sistema de tratamiento de agua, lo cual afecta directamente a los habitantes puesto que ellos cubren los gastos.

Adicionalmente las zonas rurales no cuentan con una entidad que aporte al manejo y guía del abastecimiento, potabilización y distribución de agua. No obstante, las zonas urbanas si poseen una empresa municipal encargada de todos los procesos que se requiere para brindar agua de calidad a los habitantes. Por esta razón se podría decir que los sectores urbanos poseen mejores condiciones sanitarias que algunas parroquias rurales. (Lárraga, 2016)

Oyambaro, una comunidad ubicada al nororiente de Pichincha se ve afectada por la calidad de agua potable que se suministra a sus pobladores, debido a que se presenta el aumento de turbiedad en épocas de lluvia. La turbiedad es un factor clave dentro de la calidad de agua, puesto que afecta su apariencia, haciéndola poco agradable al consumidor.

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar el comportamiento hidráulico del sistema de abastecimiento de la comunidad, mediante el uso de programas computacionales con el fin de proponer alternativas que se adapten al sistema. Además, se analizó la factibilidad de los procesos de sedimentación y filtración. Las operaciones unitarias propuestas fueron planteadas para un periodo horizonte de 30 años, estipulado según la guía técnica de diseño de la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EPMAPS).

1.1 Antecedentes

El agua es esencial para la existencia y el desarrollo, aporta al equilibrio del medio ambiente y a los seres que residen en él. Es, por tanto, un elemento fundamental para la sostenibilidad de la vida vegetal y animal del planeta (Vázquez, 2013).

El acceso a agua potable está ligado directamente a la salud humana y al desarrollo sustentable. Si bien, el agua potable es un recurso indispensable, en la actualidad todavía existe una gran cantidad de personas en el mundo que carecen de este recurso.

Alrededor de 2 200 millones de personas en todo el mundo no cuentan con servicios de agua potable gestionados de manera segura, 4 200 millones de personas no cuentan con servicios de saneamiento gestionados de manera segura y 3 000 millones carecen de instalaciones básicas para el lavado de manos (UNICEF, 2019).

Las poblaciones de zonas rurales son las más vulnerables, debido a que es más probable que carezcan de un servicio de agua potable por el simple hecho de vivir en estos sitios (OMS, 2017).

En la provincia de Pichincha, la comunidad Oyambaro de la parroquia Yaruquí, cuenta con un sistema básico de tratamiento de agua, no obstante, en época de lluvia la producción de agua potable en esta comunidad se ve alterada por la presencia de turbiedad. La turbiedad es una propiedad óptica que muestra la absorción de luz, a su vez es un parámetro físico de importancia sanitaria ya que el agua turbia disminuye la seguridad de los consumidores.

Es importante mencionar que la problemática también está ligada a dificultades operacionales y de mantenimiento, generada debido a que este sistema es antiguo y en la actualidad no cuenta con los planos correspondientes tanto del sistema de abastecimiento como de la planta de tratamiento. Por esta razón no existe una base de datos ni monitoreo que reflejen las condiciones de operación. El personal encargado realiza el trabajo de manera empírica, es decir no conoce especificaciones técnicas de operación y mantenimiento de los procesos de tratamiento (Armenta, 2012).

1.2 Justificación

El presente estudio se enfocó en analizar las falencias existentes en el sistema de agua potable de la comunidad de Oyambaro, con el fin de determinar posibles soluciones para erradicar los niveles de turbidez que se presentan especialmente en temporadas lluviosas y así poder entregar un suministro de agua de mejor calidad que cumpla con los límites permisibles para el consumo humano.

La turbiedad, el olor y el color afectan estéticamente al agua, convirtiéndola en inaceptable para el uso público. La presencia de turbidez también ha sido asociada con el riesgo microbiológico potencial en el agua para consumo humano (Pacheco, 2014).

Uno de los factores por los cuales podría incrementar la turbiedad es debido a que no se puede conocer con exactitud el cambio en la calidad del agua en las diferentes épocas del año.

La presencia excesiva de humedad o condiciones sumamente secas alteran la calidad del agua, intensos periodos de precipitación ponen en suspensión los sedimentos, incrementando la turbidez, color, carga bacteriana y otros contaminantes, por el arrastre de todo tipo de sedimento. Extensas precipitaciones pueden causar acumulación de compuestos orgánicos que podrían formar subproductos capaces de afectar los procesos de tratamiento (García, 2002).

Según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 referente a los requisitos de agua potable que permite analizar los componentes de contaminación en el agua distribuida a los habitantes de la comunidad, el agua potable debe cumplir con un límite máximo permitido de 5 NTU (INEN, 2014).

La Organización Mundial de la Salud (OMS), no determina un valor admisible de turbiedad basado en criterios de salud; por lo tanto, sugiere que el nivel de turbiedad en el agua tratada sea inferior de 0.1 NTU para una desinfección efectiva (Montoya, 2011).

Es necesario comprender el estado actual del sistema y sus componentes, para ello se debe conocer cómo trabaja el sistema de abastecimiento, si sus procesos son llevados a cabo de manera óptima y si reciben mantenimiento.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Proponer mejoras en el sistema de abastecimiento de agua potable de la comunidad Oyambaro.

1.3.2 Objetivos específicos

- Recopilar información de campo y datos existentes referentes al sistema de abastecimiento.
- Evaluar el funcionamiento hidráulico del sistema de abastecimiento y distribución de agua de la comunidad Oyambaro.
- Proponer mejoras al sistema de abastecimiento basándose en los resultados de los análisis in situ y en los cálculos hidráulicos.
- Socializar con la comunidad sobre la posible propuesta de mejora, por medio de charlas de inducción realizada por los autores del proyecto.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Calidad de agua

Incide en el cumplimiento de parámetros químicos, físicos y microbiológicos. Además, permite determinar el tipo de tratamiento requerido para reducir el riesgo sanitario que podría presentar el agua, dando afectaciones a la población a servir. (Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. 2009)

Los principales parámetros fisicoquímicos que se analizaron en el presente estudio para determinar el nivel de calidad de agua fueron: temperatura, turbiedad, sólidos disueltos totales (SST), conductividad, pH y oxígeno disuelto (OD).

Turbiedad

La turbiedad generalmente se da por la presencia de partículas en suspensión, las cuales ocasionan que el agua pierda su transparencia. Se considera un parámetro de gran importancia sanitaria, puesto que la presencia de turbidez en el agua la hace inaceptable para los consumidores. A su vez es importante mencionar que la turbidez puede proteger a los microorganismos en los procesos de desinfección, puesto que estimula su proliferación. (Marcoó, L., Azario, R., & Metzler, C. 2004)

Temperatura

La temperatura permite medir el grado térmico en el que se encuentra el agua. Además, posee una influencia directa en la calidad del agua, puesto que crea efectos significativos en la solubilidad del oxígeno afectando a parámetros como: el OD, la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO). (Cristóbal, J. 2018).

Conductividad

La conductividad permite determinar la cantidad de sales disueltas en el agua, cuya disociación genera iones que transportan energía eléctrica. Por otra parte, los valores de conductividad varían dependiendo de la temperatura, dado que la solubilidad de las sales cambia según la temperatura. (Solís, Y., Zuñiga, L., & Mora, D. 2018, marzo)

Sólidos disueltos totales

Los sólidos disueltos totales permiten cuantificar todos los compuestos orgánicos e inorgánicos que se encuentran disueltos en el agua. Dentro de los compuestos disueltos se pueden encontrar materiales como: bicarbonatos, carbonatos, sulfatos, cloruros, fosfatos,

calcio, nitratos, magnesio, sodio, iones orgánicos y otros iones. Además, los sólidos disueltos totales pueden afectar a la conductividad. (OPS/OMS. 2012)

pH

El pH determina la concentración de iones de hidrógeno disueltos en el agua, también permite conocer el grado de acidez o alcalinidad en una muestra de agua. A su vez es un parámetro de alta importancia en sistemas químicos y biológicos, puesto que valores extremadamente altos o bajos podrían originar reacciones drásticas. (OPS/OMS. 2012)

Oxígeno disuelto

La cantidad de oxígeno disuelto determina la diversidad de organismos presentes en el agua, por esta razón este parámetro es un indicador del nivel de contaminación de un cuerpo hídrico, puesto que si este se encuentra contaminado no será apto para la vida de organismos acuáticos. Existen condiciones que podrían afectar el nivel de oxígeno disuelto tal como lo es la temperatura, causante de elevados niveles de oxígeno disuelto en áreas donde hay numerosas plantas acuáticas. (Iriondo, A., & Agradados, J. 2004, septiembre)

1.4.1.1 Normativa vigente aplicada

TULSMA

El Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) asocia las leyes y políticas ambientales que se relacionan con la protección de recursos naturales.

El TULSMA engloba sus leyes ambientales dentro de seis libros, cada uno de ellos con sus respectivos anexos. Dentro del libro VI, anexo I se presenta normativa referente a: criterios de calidad de agua, uso del agua, límites permisibles, métodos y procedimientos para determinar la existencia de contaminantes en el agua.

Para este estudio, se utilizó la **Tabla 1** que se encuentra dentro del libro VI, anexo I. A continuación, se muestra un fragmento de la normativa.

Tabla 1: “Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico”

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Arsénico	As	mg/l	0,1
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	1000
Bario	Ba	mg/l	1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro	CN	mg/l	0,1
Cobre	Cu	mg/l	2
Color	Color real	Unidades de Platino Cobalto	75
Cromo hexavalente	Cr ^{VI}	mg/l	0,05
Fluoruro	F	mg/l	1,5
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	<4
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	<2
Hierro total	Fe	mg/l	1,0
Mercurio	Hg	mg/l	0,006
Nitratos	NO ₃	mg/l	50,0
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,2
Potencial Hidrógeno	pH	unidades de pH	6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,01
Selenio	Se	mg/l	0,01
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	500
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,2
Turbiedad	unidades nefelométricas de turbiedad	UNT	100,0

Nota: Podrán usarse aguas con turbiedades y coliformes fecales ocasionales superiores a los indicados en esta Tabla, siempre y cuando las características de las aguas tratadas sean entregadas de acuerdo con la Norma INEN correspondiente.

Act
Ve a

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2015)

Norma Técnica Ecuatoriana de Agua Para consumo Humano (INEN 1108:2020)

La norma INEN 1108 establece ciertos requisitos indispensables que el agua debe cumplir para ser apta al consumidor y se aplica en sistemas de abastecimiento, suministrada a través de sistemas de distribución. No obstante, esta norma excluye aguas purificadas, envasadas, minerales y purificadas de uso farmacéutico.

A continuación, se muestra la **Tabla 2**, fue utilizada en el estudio para corroborar el cumplimiento de los valores de turbidez.

Tabla 2: “Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano”

Parámetro	Unidad	Límite permitido ^b	Método de ensayo ^c
Arsénico	mg/L	0,01	Standard Methods 3114
Cadmio	mg/L	0,003	Standard Methods 3113
Cloro libre residual	mg/L	0,3 a 1,5	Standard Methods 4500 Cl ⁻
Cobre	mg/L	2,0	Standard Methods 3111
Color aparente	Pt-Co	15	Standard Methods 2120
Cromo (cromo total)	mg/L	0,05	Standard Methods 3113
Fluoruro	mg/L	1,5	Standard Methods 4500-F ⁻
Mercurio	mg/L	0,006	Standard Methods 3112
Nitratos (como NO ₃ ⁻)	mg/L	50,0	Standard Methods 4500-NO ₃ ⁻
Nitritos (como NO ₂ ⁻)	mg/L	3,0	Standard Methods 4500-NO ₂ ⁻
Plomo	mg/L	0,01	Standard Methods 3113
Turbiedad ^a	NTU	5	Standard Methods 2130

^a Se conoce también como *Turbidez*.
^b Los resultados obtenidos deben expresarse con el mismo número de cifras significativas de los límites permitidos, aplicando las reglas para redondear números indicadas en NTE INEN 52.
^c En el caso de que sean usados métodos de ensayo alternativos a los señalados, estos deben ser normalizados. En el caso de no ser un método normalizado, este debe ser validado.

Fuente: (INEN 1108, 2020)

1.4.2 Cantidad de agua

El caudal es la cantidad de fluido que pasa por una sección transversal, en un determinado tiempo. Generalmente, este flujo volumétrico es calculado y determinado para su uso cotidiano, por ello es importante conocer la cantidad de habitantes a los cuales se abastecerá.

1.4.2.1 Estimación de la población

Método Geométrico

El método geométrico determina el crecimiento poblacional suponiendo que la tasa de crecimiento será proporcional a los últimos años o censos (Cumbal, R. 2013). En este método se ocupa la siguiente fórmula:

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

Ecuación 1: Método geométrico-población futura

Donde:

Pf: Población futura o proyectada (hab)

Pa: Población actual (hab)

r: Tasa de crecimiento geométrico (%)

n: Período de proyección (años)

Fórmula para calcular la tasa de crecimiento:

$$r = \left[\left(\frac{P_{cp}}{P_{ca}} \right)^{\frac{1}{T_{cp} - T_{ca}}} \right] - 1$$

Ecuación 2: Tasa de crecimiento poblacional

Donde:

Pcp: Población censo futuro siguiente (hab.)

Pca: Población censo actual o inicial (hab.)

r: Tasa de crecimiento geométrico (%)

Tca: Tiempo de censo actual o inicial (años)

Tcp: Tiempo de censo futuro siguiente (años)

Método Logarítmico

Consiste en que la población aumenta de manera proporcional, es decir la tasa de crecimiento es constante independientemente de que tan prolongado podría ser el tiempo de crecimiento. (Cumbal, R. 2013) A continuación la fórmula a utilizar para este método:

$$Pf = Pci \times e^{kg(tf - tci)}$$

Ecuación 3: Método logarítmico-población futura

Donde:

Pf: Población futura proyectada (hab)

Pci: Población del censo inicial (hab)

Kg: Tasa de crecimiento

tf: Año de la población futura proyectada (año)

tci: Año del censo inicial (año)

$$ka = \left(\frac{\ln(Pcp) - \ln(Pca)}{(tcp - tca)} \right)$$

Ecuación 4: Tasa de crecimiento del método lineal

Donde:

tcp: Año del censo posterior (año)

tca: Año del censo anterior (año)

pca: Población censo anterior (hab)

pcp: Población censo posterior (hab)

1.4.2.2 Consumo de agua

Periodo de Diseño

También denominado Periodo Horizonte, hace referencia a los años para los que está diseñada una obra, brindando un servicio eficiente por un determinado tiempo.

Dotación

Se expresa en unidades de medida *per cápita* de L/hab/d y “se refiere a la cantidad de agua concedida a cada habitante para su consumo en un día, considerando todos los consumos de los servicios y las pérdidas físicas en el sistema” (Comisión Nacional del Agua [Conagua], 2007).

Según la EPMAPS (2008); la dotación debe establecerse con la siguiente ecuación.

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{(1 - \%P)}$$

Ecuación 5: Cálculo de la dotación

Fuente: (EPMAPS, 2008)

Donde:

d_{bruta} : Dotación bruta o Dotación (L/hab/d)

d_{neta} : Dotación neta (L/hab/d)

$\%P$: Porcentaje de pérdidas

Caudal medio diario

Es el caudal que se consume aproximadamente durante el día, se calcula multiplicando la dotación por el número de moradores de una comunidad. Para transformar a unidades de (L/s) se debe dividir por el valor de 86400.

$$Q_{md} = \frac{(d_{bruta} \times Na)}{86400}$$

Ecuación 6: Cálculo del caudal medio diario

Fuente: (EPMAPS, 2008)

Donde:

Q_{md} : Caudal medio diario (L/s)

d_{bruta} : Dotación bruta o Dotación (L/hab/d)

Na : Número de habitantes

Caudal máximo diario

También denominada demanda máxima diaria, “es el gasto máximo registrado durante 24 horas en el transcurso de un año” (EPMAPS, 2008). Se calcula mediante la multiplicación entre el Qmd por el coeficiente de mayoración o de consumo máximo diario.

$$QMD = Qmd \times k1$$

Ecuación 7: Cálculo del caudal máximo diario

Fuente: (EPMAPS, 2008)

Donde:

QMD: Caudal máximo diario (L/s)

Qmd: Caudal medio diario (L/s)

k1: Coeficiente de consumo máximo diario.

Caudal máximo horario

“Es el consumo máximo registrado durante una hora en un periodo de un año, sin tener en cuenta el caudal de incendio”. (EPMAPS, 2008).

Es el producto del QMD por el coeficiente de mayoración o de consumo máximo horario.

$$QMH = QMD \times k2$$

Ecuación 8: Cálculo del caudal máximo horario

Fuente: (EPMAPS, 2008)

Donde:

QMH: Caudal máximo horario (l/s)

QMD: Caudal máximo diario (l/s)

k2: Coeficiente de consumo máximo horario.

1.4.2.3 Medidor ultrasónico por tiempo de tránsito

Este método de medición se basa en enviar una onda sonora de un transductor a otro, es decir se transmiten y reciben señales a lo largo de una diagonal determinada en una sección de tubería. La diferencia de tiempos entre ir y volver de un transductor a otro permite determinar la velocidad del fluido (Loza, D. 2019).

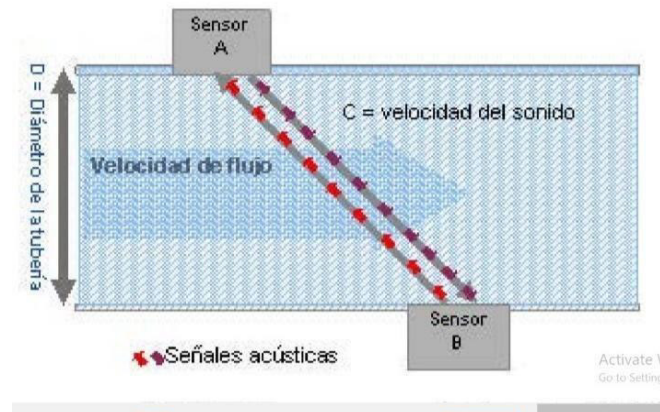


Ilustración 1: Medición ultrasónica

Fuente: (Loza, D. 2019)

1.4.3 Sistemas de abastecimiento

“Se basa en un conjunto de elementos que son importantes para captar, conducir, tratar, almacenar y distribuir el agua desde fuentes subterráneas o superficiales hacia los consumidores” (Cárdenas D., & Patiño F., 2010 p.10).

En función del relieve terrestre en que se encuentra ubicada la población a abastecer, se determina qué tipo de sistema de abastecimiento es el más idóneo a diseñar y posteriormente a utilizar, ya sea un sistema por bombeo o gravedad.

Este último sistema mencionado, funciona por acción de la fuerza de gravedad. La fuente de abastecimiento se sitúa en cotas elevadas y el agua desciende hacia las zonas a beneficiar (Lossio, M., 2012).

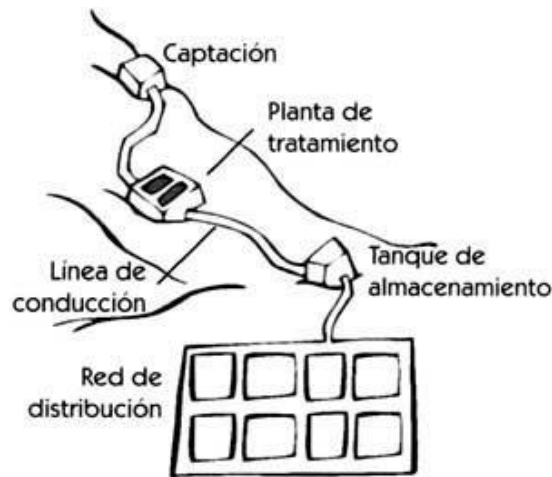


Ilustración 2: Elementos de un sistema de abastecimiento

Fuente: (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2000)

1.4.3.1 Obras de Captación

Son estructuras que extraen agua de fuentes subterráneas o superficiales para suministrar a redes de agua potable, desarrollar sistemas de riego, generar energía; entre otros fines. Los tipos de captación dependen del lugar donde proviene el agua; pueden ríos, manantiales, lagos, embalses, pozos profundos o someros (Corcho, F., & Duque, J. 2005).

Captación tipo manantial

Es una captación subterránea formada por la saturación en zonas donde ocurre infiltración dependiendo de las características hidrológicas y la formación del cuerpo hídrico (Coello & Crespo, s.f.).

1.4.3.2 Conducción

Es el traslado de agua potable o tratada mediante un tramo de tubería desde la captación hacia el tanque distribuidor.

Para que la conducción de agua recorra el trayecto por acción de la gravedad sin presentar inconvenientes en el sistema, esta debe cumplir con los criterios de velocidad y presión estipulados por el ente regulador con el fin de evitar daños futuros en las tuberías.

Velocidad

Según la EPMAPS (2008) señala que “la velocidad mínima corresponde al caudal medio del año inicial del periodo de diseño y será en lo posible superior a 0,60 m/s en agua cruda” (p.59).

Por otra parte, el valor de la velocidad máxima depende del caudal de diseño y del material de la tubería tal mencionados en la

Tabla 3: Velocidades máximas

CUADRO 5.4 VELOCIDADES MÁXIMAS	
Material del Recubrimiento Interior	Velocidad Máxima (m/s)
PVC, GRP, PE	6.0
Mortero o concreto centrifugado	4.0
Recubrimiento epóxico	6.0

Referencia: Norma RAS-2000, Título B. República de Colombia.

Fuente: (EPMAPS, 2008)

Presión

En un sistema de abastecimiento por gravedad influye mucho la presión, debido a que pueden presentarse problemas como despresurización de las tuberías, golpes de ariete o cortes en la línea piezométrica. Por consiguiente, se debe tener como mínimo una presión de 5,0 m.c.a.

Cabe mencionar que la presión máxima no se encuentra bajo normativa, únicamente se debe considerar que el material de la tubería soporte las presiones de trabajo que se presentaran en la conducción.

1.4.3.3 Almacenamiento

Se denomina tanque de almacenamiento a aquella estructura cilíndrica que tiene como objetivo almacenar agua para distribuir a una población con el fin de cumplir sus necesidades de consumo “con las presiones de servicio adecuadas, y en la cantidad necesaria que compense las variaciones de la demanda; asimismo, debe contar con un volumen adicional para suministrar en casos de emergencia” (Laín et al., 2011. p. 57).

1.4.4 Potabilización de agua

Es la implementación de procesos u operaciones unitarias que contribuyen a cambiar y mejorar la calidad del agua cruda para volverla consumible, sin presentar riesgos a la salud.

1.4.4.1 Sedimentación

Es una operación que sirve para remover las partículas en suspensión gracias a la fuerza de gravedad. Es considerada un tratamiento primario, pero se requiere de otros tratamientos adicionales para la producción de agua potable.

Se considera si un sedimentador es eficiente cuando remueve partículas superiores a 0.05 mm e inferiores a 0.2 mm.

Tabla 4: Relación velocidad de sedimentación y diámetros de partículas

Material	φ Limite de las partículas (cm)	# de Reynolds	Vs	Régimen
Grava	>1.0	>10 000	100	Turbulento
Arena Gruesa	0.100	1 000	10.0	Transición
	0.080	600	8.3	
	0.050	180	6.4	
	0.050	27	5.3	
	0.040	17	4.2	
	0.030	10	3.2	
	0.020	4	2.1	
0.015	2	1.5		
Arena Fina	0.010	0.8	0.8	Laminar
	0.008	0.5	0.6	
	0.006	0.24	0.4	
	0.005	1.0	0.3	
	0.004	1.0	0.2	
	0.003	1.0	0.13	
	0.002	1.0	0.06	
	0.001	1.0	0.015	

Fuente: (OPS, 2005).

Velocidad de sedimentación

La velocidad de sedimentación depende del tipo de partículas suspendidas que se van a precipitar y de las características hidráulicas del sedimentador.

$$Vs = \frac{Vf}{L} \times h$$

Ecuación 9: Velocidad de sedimentación

Donde:

L: Longitud de recorrido (m)

Vf: Velocidad de flujo (m/s)

Vs: Velocidad de sedimentación (m/s)

h: Altura (m)

1.4.4.2 Filtración

La filtración es una operación unitaria donde las partículas atraviesan un medio de porosidad para ser removidas. De acuerdo con Berdonces (2008), este proceso es óptimo para disminuir los niveles de materiales en suspensión y a su vez filtrar productos perjudiciales. (p. 70)

Para que esta operación tenga una alta efectividad de adsorción y remoción de partículas depende principalmente del lecho filtrante, la tasa de filtración, número y tamaño de los filtros, dureza del floculo y la temperatura (Ojeda, 2015).

Esta operación unitaria tiene como finalidad conseguir agua de buena calidad sin necesidad de utilizar productos químicos para su potabilización.

Tipos de filtro

Se pueden clasificar en dos tipos, dependiendo de la velocidad de filtración a través de medio granular en filtro lento o rápido.

Filtro Lento de arena

Según la Organización Panamericana de la Salud (2005), son tanques con lechos filtrantes conformados por capas de arena y grava fina, con un sistema perforado de tubos para recolectar el agua que fue filtrada.

Su principio de funcionamiento se basa en formar una capa biológica donde se producen procesos de degradación biológica y química con el fin de reducir la materia filtrada a formas más simples. Por consiguiente, el agua fluye muy despacio. (Blacio., D. & Palacios., J. 2011).

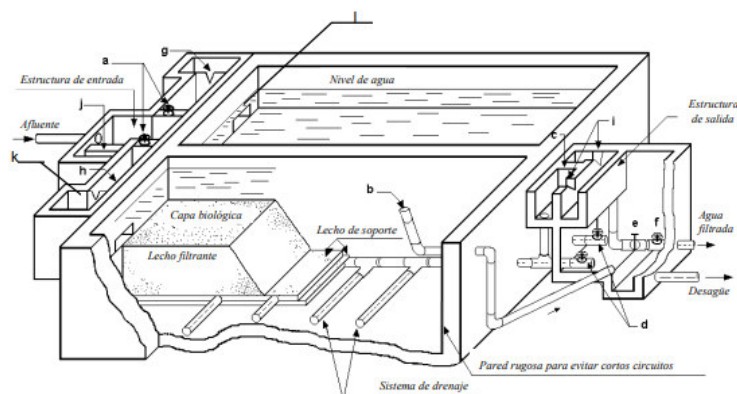


Ilustración 3: Filtro lento de arena

Fuente: (OPS, 2005).

Filtro Rápido

El filtro rápido tiene una velocidad de filtración mayor a la velocidad del filtro lento, de ahí su nombre. Existen varios tipos de filtros como lo son: de flujo ascendente, descendente o mixto;

y, según su número de lechos filtrante, pueden ser de uno o varios tipos de material (arena, antracita, grava). (Campos, 2000).

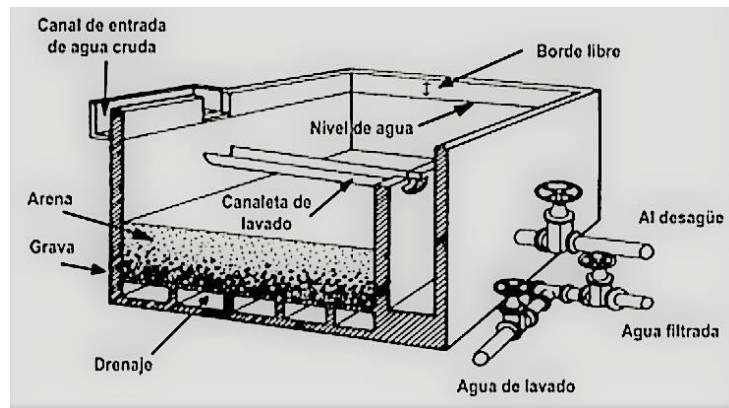


Ilustración 4: Filtro rápido de arena

Fuente: Barrios et al, 2009

Para aumentar su eficacia, es recomendable utilizar más de dos tipos de material filtrante de diferentes tamaños para que cumpla con su función de remoción de materia orgánica. Por lo general, requiere de mantenimiento cada 8 o 30 días, el cual puede variar dependiendo del material filtrante y su tipo. (Espinoza & Intriago, 2021).

1.4.5 Red de distribución

Es un conjunto de tuberías que permite el transporte de agua potable, desde el tanque de almacenamiento hacia los sitios de consumo; ya sea por bombeo o gravedad en condiciones de calidad y cantidad favorables.

Presión

Según la normativa de diseño de la EPMAPS (2008), “una red de distribución para zonas rurales trabaja con presiones mínimas de 10 m.c.a y presiones máximas de hasta 60 m.c.a.”

Velocidad

“El límite máximo de velocidad en las tuberías matrices de distribución es de 3 m/s” (EPMAPS, 2008).

Diámetros mínimos de tubería

Justificando con anterioridad, se acepta un diámetro mínimo de 50 mm en las tuberías de las redes menores de distribución para parroquias (EPMAPS, 2008).

1.4.6 Simulación hidráulica en Epanet

Es un programa computacional de la Agencia Norteamericana de Medio Ambiente, que permite realizar simulaciones hidráulicas conformadas por nudos, tuberías, válvulas, bombas, embalses o tanques de almacenamiento. Determina la cantidad de caudal que circula por las tuberías, el valor de las presiones, la altitud en la que se encuentran los tanques y la concentración química presente en el agua, discretizado en múltiples intervalos de tiempo (IIAMA, 2021).

Además, este programa se puede configurar según las necesidades del programador; pues trabaja con las ecuaciones de Chezy-Manning, Darcy-Weisbach y Hazen Williams; siendo estas las más utilizadas para los cálculos hidráulicos.

Ecuación de Darcy Weisbach

Calcula la pérdida de presión o pérdida de carga hidráulica que ocurre dentro de un tramo de tubería producto de la fricción del flujo hidráulico laminar, turbulento o transicional.

$$hf = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 10: Ecuación de Darcy-Weisbach

Donde:

hf: Pérdida de carga debida a la fricción (m)

f: Factor de fricción de Darcy

L: Longitud de la tubería (m)

v: Velocidad del flujo (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

1.4.6.1 Tipos de simulación

Simulación estática

Consiste en un sistema presurizado, no posee flujo de agua y permite determinar presiones de trabajo de las tuberías.

Simulación dinámica

Se basa en un sistema presurizado con flujo igual al caudal medio diario o máximo horario dependiendo de la zona de estudio. Permite determinar las características hidráulicas de flujo como son: presiones, velocidades, pérdidas de carga.

2 METODOLOGÍA

2.1 Descripción del sitio de estudio

Oyambaro pertenece a la parroquia de Yaruquí en Pichincha y está localizado en la Latitud: -0.2° y Longitud: -78.3166667° . Presenta un clima templado, que favorece el crecimiento de flores, por ello es considerado un sector estratégico para la producción de flores de exportación.

El sistema de abastecimiento de agua de Oyambaro cuenta con dos captaciones, una superficial y otra subterránea, suministrando de agua potable a 394 familias, conformadas aproximadamente por 5 miembros, es decir abastece a 1 970 habitantes.

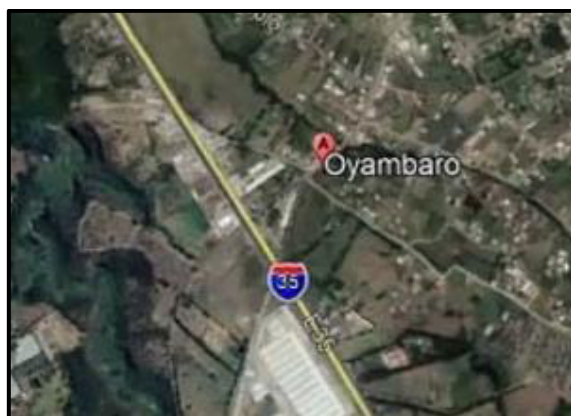


Ilustración 5 : Ubicación de la comunidad Oyambaro

2.2 Recopilación de información para la línea base

2.2.1 Catastro del sistema de abastecimiento

Se visitó la comunidad de Oyambaro con el fin de conocer los componentes que posee el sistema de abastecimiento, su ubicación y el estado en el que se encuentran dichos elementos.

Se realizó un recorrido desde la captación hasta la entrada al tanque de distribución, en este trayecto se efectuó un levantamiento geo referenciado, además se observó el estado de cada elemento con el fin de conocer si este se encuentra en funcionamiento o no.

2.2.2 Levantamiento de puntos geo referenciados

El levantamiento de puntos geo referenciados se realizó en dos visitas debido al extenso recorrido de las redes de conducción y distribución de agua. Se utilizó el GPS modelo Garmin y se realizó el recorrido con la guía y ayuda del operador de la planta.

En la primera toma de datos se efectuó el recorrido hacia la fuente de captación, lugar donde se empezó a tomar las coordenadas. Para iniciar se encendió el GPS y se esperó a que se estabilicen las señales satelitales del equipo, posteriormente se tomaron las mediciones de la línea de conducción y los puntos importantes donde se ubican válvulas de aire, válvulas de desagüe, cambios de diámetro en la tubería y pasos de quebrada.

El levantamiento de la red de distribución se inició desde el tanque de distribución de agua y se procedió a tomar puntos a lo largo de la red principal y redes secundarias de distribución, también se tomó datos de válvulas de aire y desagüe y, cambios de diámetro en la tubería.

2.2.3 Muestro y análisis in situ

Para los análisis *in situ* se utilizó el multiparámetro de modelo Horiba que proporciona la medición de los siguientes parámetros: temperatura, pH, OD, turbiedad, conductividad y SST.

Además, se usó el turbidímetro de modelo Hach para corroborar los datos de la turbidez obtenidos anteriormente con el multiparámetro.

Los puntos donde se llevó a cabo el muestreo están detallados en la siguiente tabla:

Tabla 5: Coordenadas de los sitios muestreados

Puntos de muestreo	Latitud	Longitud	Elevación
Captación 1	0°14'01,48"S	78°18'41,72"W	2 813
Tanque de captación	0°14'01,04"S	78°18'41,67"W	2 808
Captación 2	0°14'00,48"S	78°18'41,35"W	2 800
Entrada al tanque de distribución	0°12'29,82"S	78°19'00,39"W	2 723

Para el muestreo se procedió a curar la jarra dos veces con la misma agua del punto de análisis. Seguidamente, se llenó el balde y se introdujo la sonda del multiparámetro, se esperó hasta que se estabilicen las medidas del equipo y por último se registraron los datos obtenidos.

Posteriormente, para ratificar los valores de turbidez se tomó una muestra representativa y se la colocó en la celda del turbidímetro. Finalmente, se esperó a que se estabilicen los datos y se los registraron.

2.2.4 Aforo de caudales

Se visitó la fuente de abastecimiento donde se procedió a tomar la primera medición de caudal aguas abajo de la fuente de captación. Para ello se utilizó un medidor ultrasónico encargado de cuantificar los caudales, gracias a su principio de funcionamiento que permite medir la velocidad del fluido mediante ondas ultrasónicas.

En la visita de campo se consultó con el operador de la planta acerca de las dimensiones y características de la tubería de conducción. Las características mencionadas fueron: tubería de diámetro 160mm de material PVC. Estos datos fueron fundamentales, pues se utilizaron para ingresarlos en el software. Una vez ingresados los datos requeridos, el equipo determinó la distancia entre transductores (115mm) se procedió a medir y marcar en la tubería la distancia antes mencionada.

Después, se procedió a conectar en la parte superior del equipo las salidas de las sondas, según su distintivo correspondiente. Con mucho cuidado se separaron los transductores para colocarles gel transmisor y se los situó en los puntos marcados anteriormente. Finalmente se procedió a registrar el dato obtenido.

2.3 Determinación de la población

Para calcular la población futura se utilizó una tasa de crecimiento del periodo 1990-2010 de la parroquia Yaruquí, puesto que no existen datos referentes a censos en la comunidad Oyambaro. El Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC) fue el medio por el cual se obtuvo información referente al crecimiento poblacional.

Tabla 6: Tasa de crecimiento poblacional de la parroquia Yaruquí

Parroquia	Año	Tasa de crecimiento
Yaruquí	1990 – 2001	5.49 %
	2001 – 2010	2.87 %

Fuente: (INEC, 2020)

El valor de tasa de crecimiento utilizada para calcular la población futura fue de 2.87 %, se empleó en la **Ecuación 1** y la **Ecuación 3** que corresponden a las fórmulas de crecimiento

geométrico y logarítmico respectivamente, para un periodo de proyección dentro de los próximos 30 años.

Tabla 7: Ecuaciones utilizadas para calcular la población futura

Método Geométrico	$Pf = Pa \times (1 + r)^n$
Método Logarítmico	$Pf = Pci \times e^{kg}(tf - tci)$

2.4 Cálculo de caudales

El valor de la dotación se obtuvo mediante la normativa de EPMAPS dando una cifra de consumo de 130 L/hab/d, para ello se tomaron en cuenta las condiciones atmosféricas y el número de residentes de la comunidad.

Tabla 8: Información proporcionada por la Junta de agua potable de Oyambaro 2020

Datos actuales Oyambaro 2020	
Familias	394
Habitantes aproximados por familia (hab)	5
Habitantes actuales aproximado (hab)	1 970

Con la información de la **Tabla 8** se calculó el Qmd, QMD y QMH, con el que funciona el sistema en la actualidad. Para ello se empleó la **Ecuación 6**, **Ecuación 7** y **Ecuación 8** respectivamente.

Una vez calculado el valor de la población futura, se utilizaron las ecuaciones mencionadas anteriormente con el fin de determinar el Qmd, QMD y QMH que se utilizarían para un periodo de horizonte de 30 años normado por la EPMAPS.

2.5 Simulación hidráulica con EPANET

Una vez tomados los puntos georeferenciados, se descargaron en el ordenador los datos obtenidos en campo utilizando el programa MapSource que permite leer en el computador la información proporcionada por el GPS.

Después, se organizó la información en una hoja de cálculo con el fin de guardarla en un block de notas para ingresar los datos al software topográfico Civil 3D. En este programa se unió cada tramo con la ayuda de una polilínea para realizar los perfiles.

A continuación, se utilizó el software Epacad puesto que, este permite exportar los datos obtenidos en Civil 3D. Cabe destacar que Epacad solo lee archivos en formato dwg.

Finalmente, se efectuó la simulación hidráulica en el programa Epanet, permitiendo conocer el comportamiento hidráulico del sistema y sus componentes. Se llevaron a cabo dos tipos de simulaciones; estática y dinámica tanto para la conducción como para la red de distribución. Es importante mencionar que en los modelos realizados se conservaron los valores de tuberías, rugosidad, diámetros y cotas presentes actualmente en el sistema de abastecimiento.

- Simulación dinámica del sistema de abastecimiento: Se colocaron los datos de las cotas desde la fuente de captación hasta el tanque distribuidor y la información de las tuberías como: los tramos, el material, coeficiente de rugosidad y el estado en las que trabajan. En este caso, se programó a estado abierto con el fin de obtener la velocidad y el caudal que circula por todo el sistema de abastecimiento, según la simulación hidráulica.
- Simulación estática del sistema de abastecimiento: Para esta simulación se conservaron los datos registrados anteriormente; sin embargo, en la última tubería de la conducción se modificó el estado actual a estado cerrado para determinar el valor de las presiones máximas con las que trabaja el sistema.
- Simulación estática de la red de distribución: Se utilizaron los datos de las tuberías y nodos que conforman la red, a excepción del valor de la demanda base, para conocer las presiones estáticas máximas con las que trabaja el sistema.
- Simulación dinámica de la red de distribución: Se determinó la demanda base para cada nodo con el método de las longitudes equivalentes, se calculó el caudal unitario, que consiste en la división del QMH entre la suma de todas las longitudes que conforman la red. Posteriormente, el caudal unitario se multiplicó por la distancia de cada tramo para obtener el valor de las presiones dinámicas.

2.5.1 Pérdidas de energía

Se configuró el programa para que trabaje con los datos establecidos por la ecuación de Darcy Weisbach y se determinen las pérdidas de energía existentes; puesto que, es utilizada en tuberías circulares a presión independientemente de la condición de flujo.

Tabla 9: Coeficiente de rugosidad de Darcy Weisbach

CUADRO 5.2 COEFICIENTES DE RUGOSIDAD BSOLUTA - FÓRMULA DE DARCY-WEISBACH		
Clase de tubería y revestimiento interno	COEFICIENTE K_s (mm)	
	Factibilidad líneas expresas (1)	Diseño detallado líneas expresas (2)
PVC	0.120	0.060
Polietileno de alta densidad	0.120	0.060
GRP (Fibra de vidrio)	0.120	0.060
Acero con revestimiento interno de coal-tar, en- amel o epoxi	0.120	0.060
CCP (Concrete cylinder pipe)	0.240	0.120
Hierro dúctil y acero con revestimiento interno en mortero de cemento	0.240	0.120

Referencia: Norma RAS-2000, Título B. República de Colombia.

Notas:

(1) En los estudios de factibilidad, las rugosidades propuestas incluyen provisión para las pérdidas locales y en consecuencia no se incluyen por separado.

(2) En los diseños definitivos, las rugosidades consideradas son para el cálculo de pérdidas por fricción únicamente. Las pérdidas locales se calculan separadamente.

Polietileno: Corresponde a polietileno de alta densidad, que es el único aceptado en sistemas de agua potable a presión

GRP: Glass Reinforced Pipe, Tubería de Fibra de vidrio

CCP: (Concrete Cylinder Pipe), Tubería de concreto con cilindro de acero.

Fuente: (EPMAPS, 2008)

Para la simulación se utilizó un valor de 0.120 mm, debido que en este factor K_s ya están incluidas las pérdidas por accesorios. Esta cifra se tomó teniendo en cuenta la clase de tubería y su revestimiento interno. Además, el modelamiento se consideró como un estudio de factibilidad, por ello no se realizó el cálculo de perdidas locales por separado.

2.5.2 Demanda de nodos en la red de distribución

Para la simulación de la red se determinó la demanda en cada uno de los nodos de manera que se realice una repartición adecuada de caudal.

Primero se realizó la suma de todas las longitudes de los tramos que conforman la red de distribución, seguidamente se procedió a emplear la siguiente ecuación:

$$q_i = \frac{QM_H}{\Sigma \text{longitudes}}$$

Ecuación 11 : Caudal unitario

Posteriormente se multiplicó el caudal unitario por la longitud de cada tramo.

2.6 Evaluación del sistema de abastecimiento

Una vez realizada la simulación en el software Epanet, se evaluó hidráulicamente el comportamiento del flujo en el sistema de conducción y distribución, para ello se tomó en cuenta la normativa de diseño de sistemas de agua potable para la EPMAPS.

En la conducción se evaluó la capacidad de flujo del sistema y el cumplimiento de velocidades según la normativa de la EPMAPS.

En el sistema de distribución se valoraron las presiones mínimas y máximas con las cuales está trabajando el sistema tanto dinámica como estáticamente.

2.7 Propuesta de mejoras

Las propuestas de mejora se efectuaron con base al levantamiento de obras que posee el sistema, también se tomaron en cuenta las evaluaciones hidráulicas realizadas. Además, se analizaron los requerimientos de la comunidad, considerando aspectos clave como la accesibilidad y el presupuesto económico que poseen para implementar las mejoras planteadas.

2.7.1 Arreglo del sedimentador

Actualmente el sedimentador no está cumpliendo con su propósito de diseño; puesto que en su interior tiene pantallas distribuidas a lo largo del tanque, con el fin de que el efluente realice un recorrido de manera horizontal y así pueda precipitar materia en los bordes de las pantallas. Sin embargo, presenta dificultades en su funcionamiento debido a que estas pantallas no llegan al fondo de la solera, haciendo que los sedimentos salgan del tanque hacia la tubería de conducción y por consiguiente provoquen acumulación de partículas a lo largo del trayecto y aumente la turbiedad.

Por esta razón se analizó la factibilidad de modificar dicho tanque extendiendo las pantallas que este posee para que así cumpla con su principio de funcionamiento.

Para el análisis de esta propuesta se tomó en cuenta la longitud de recorrido, la velocidad de flujo y la velocidad de sedimentación que presentaría el tanque en caso de implementar esta mejora.

2.7.2 Filtro lento de flujo ascendente

Para el dimensionamiento del filtro se analizaron los datos referentes al sistema y a la comunidad como: velocidades, caudales y poblaciones futuras. Posteriormente en base a los

datos mencionados se buscó bibliografía referente a un filtro que requiera poco mantenimiento y sea de fácil operación.

El dimensionamiento del filtro se realizó tomando en cuenta las consideraciones del manual de diseño, operación y mantenimiento de César Marrón.

Tabla 10: Criterios de diseño filtro lento de flujo ascendente

PARÁMETRO	VALORES	
Número de prefiltros	≥ 2	
Tasa de filtración (caudal/área) (m/h)	≤ 1,5	
Capas	espesor (m)	tamaño (mm)
capa 1 (grava)	0,1 - 0,3	19,0 - 38,0
capa 2 (grava)	0,2 - 0,4	6,4 - 12,7
capa 3 (grava)	0,3 - 0,5	2,4 - 4,8
capa 4 (grava)	0,3 - 0,5	1,4 - 2,0
Espesor total del lecho (m)	≥ 1,2	
Altura de agua sobre la superficie del lecho (m)	≥ 0,4	
Altura del borde libre (m)	0,2 - 0,4	
Pendiente del fondo (%)	≥ 12,5%	
Separación entre losas/ladrillos (mm)	20 - 30	
Ancho de losas/ladrillos (cm)	10 - 15	
Velocidad de descarga de lavado (m/min)	1	
Velocidad en el canal de lavado (m/s)	1,5	

Fuente: (Marrón, 2000)

Es importante mencionar que el diseño del filtro se realizó porque inicialmente la directiva lo solicitó, sin tener en cuenta la factibilidad de este sistema, puesto que se debe analizar el comportamiento hidráulico del sistema, topografía y costos.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Descripción del sistema de abastecimiento

El sistema de abastecimiento cuenta con trayecto aproximado de 4 kilómetros desde la fuente de captación hasta el tanque distribuidor. Actualmente los elementos que se encontraron durante el recorrido están en ópticas condiciones de operación.

Elementos del sistema:

- Puntos de Captación
- Tanque de captación
- Sedimentador
- Válvulas de aire
- Válvulas de desagüe
- Tanque de distribución
- Tuberías

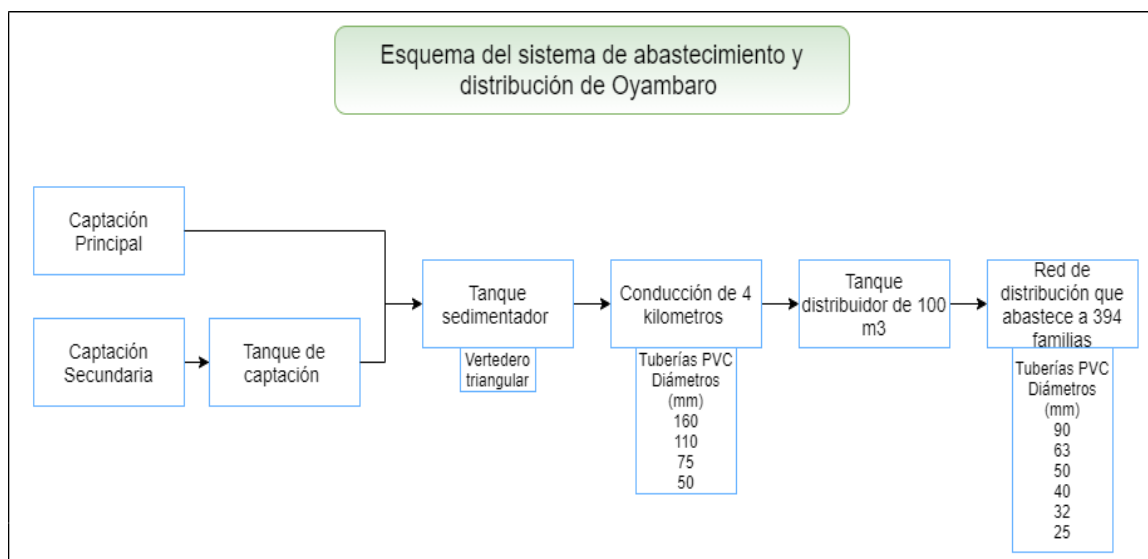


Ilustración 6: Esquema del sistema de abastecimiento y distribución de Oyambaro

3.2 Recopilación de información para la línea base

3.2.1 Catastro del sistema de abastecimiento

Puntos de captación

El sistema consta de dos puntos de captación tipo manantial contruidos en hormigón que se encuentran en buen estado.

En la **Ilustración 7** se observa la captación secundaria, por lo general se utiliza en épocas de verano debido a la reducción de caudal en la captación principal.



Ilustración 7: Captación secundaria

Tanque de captación

Este tanque está ubicado aguas abajo de la captación secundaria, se encuentra en buen estado, no presenta grietas. Sin embargo, se evidenció la presencia de organismos vivos.



Ilustración 8 : Tanque de captación

Sedimentador

El tanque sedimentador se encuentra aproximadamente a 30 m aguas abajo desde la fuente de captación. Sus dimensiones son: 2.30 m de largo y 1.50 m de ancho. El caudal que ingresa pertenece a las 2 captaciones; primaria y secundaria.

Además, en el interior del tanque sedimentador, como se observa en la **Ilustración 9**, cuenta con 6 pantallas que no llegan hasta el fondo del tanque, por esta razón se reduce su efectividad, presentando un flujo con una velocidad mayor en la zona del fondo del tanque generando la resuspensión de partículas sedimentadas. Por consiguiente, las partículas pasan a los próximos elementos del sistema de abastecimiento por lo que no se presenta una adecuada eficiencia en la remoción del sedimento y esto causa la turbiedad del agua. Adicional, podría generar un desgaste acelerado de los elementos de la conducción, almacenamiento y distribución.



Ilustración 9 : Pantallas del tanque sedimentador

Al final del sedimentador existe un vertedero triangular que lo separa del tanque de carga. En la **Ilustración 10** se aprecia partículas precipitadas; en este tanque no debería existir sedimento puesto que, esta materia sale junto con el efluente hacia la tubería de conducción dirigiéndose al tanque de almacenamiento y posteriormente a la red de distribución provocando a la larga el desgaste de tuberías e inconvenientes en los componentes.



Ilustración 10: Vertedero triangular en el tanque sedimentador

Sin embargo, el vertedero retiene una cantidad mayor de partículas que el propio sedimentador.

Conducción

El tipo de conducción del abastecimiento de Oyambaro es a gravedad, conformado por tuberías de material PVC y válvulas de aire y desagüe que se encuentran ubicadas a lo largo del trayecto



Ilustración 11: Conducción

Tuberías de conducción

La conducción está conformada por tuberías de PVC marca rival; trabaja con 4 diferentes diámetros que son: 160mm, 110mm, 75mm y 50mm. Es importante mencionar que la tubería de 50mm constantemente tiene fisuras.



Ilustración 12: Tuberías de la conducción

Válvulas de desagüe

Las válvulas de desagüe se colocan en los puntos bajos de la conducción y evitan el retorno del caudal cuando hay un aumento de nivel y permite que el agua fluya en caso de que disminuya el nivel.

El sistema cuenta con 4 válvulas de desagüe, ubicadas en puntos estratégicos indicados en la siguiente tabla.

Tabla 11: Ubicación de las válvulas de desagüe

ID Nodo	Elevación (m)	Abscisas
Válvula de desagüe 1 (VD1)	2808	0+052
Válvula de desagüe 2 (VD2)	2792	0+894
Válvula de desagüe 3 (VD3)	2775	1+259
Válvula de desagüe 4 (VD4)	2751	3+717

La apertura de estas válvulas la realizan una vez semanalmente en temporadas de lluvia y una vez al mes en verano. Actualmente todas las válvulas de desagüe se encuentran en correcto funcionamiento. No obstante, se requiere implementar más válvulas de desagüe en ciertas zonas.



Ilustración 13 : Válvula de desagüe

Válvulas de aire

El sistema posee 17 válvulas de aire en los puntos elevados de la conducción tal y como se muestra en la **Tabla 12** para evitar golpes de ariete provocados por la formación de bolsas de aire que impiden el flujo de agua.

Tabla 12: Ubicación de las válvulas de aire

ID Nodo	Cota (m)	Abcisas
Válvula de aire (VA1)	2803	0+033
Válvula de aire (VA2)	2807	0+118
Válvula de aire (VA3)	2805	0+259
Válvula de aire (VA4)	2802	0+385
Válvula de aire (VA5)	2801	0+453
Válvula de aire (VA6)	2799	0+613
Válvula de aire (VA7)	2798	0+701
Válvula de aire (VA8)	2797	0+757
Válvula de aire (VA9)	2796	0+803
Válvula de aire (VA10)	2796	0+923
Válvula de aire (VA11)	2792	1+053
Válvula de aire (VA12)	2793	1+180
Válvula de aire (VA13)	2789	1+325

Válvula de aire (VA14)	2795	1+506
Válvula de aire (VA15)	2792	1+579
Válvula de aire (VA16)	2759	2+826
Válvula de aire (VA17)	2746	3+558

Todas se encuentran en buen estado y en funcionamiento. Sin embargo, algunas válvulas no están ubicadas de manera correcta, puesto que no están situadas en lugares donde se presentan puntos altos del perfil de la conducción.



Ilustración 14: Válvula de aire

Tanque de distribución

La entrada al tanque distribuidor es el punto donde termina la conducción. Este tanque posee un volumen de 100 m³ e ingresa un caudal aproximado de 4 L/s, es de hormigón y tiene una tubería de salida a la red de distribución de 90 mm. En el tanque se realiza la desinfección de manera empírica colocando pastillas de cloro. Además, se le da mantenimiento cada mes. Actualmente se encuentra en buen estado.



Ilustración 15 : Tanque distribuidor

Tuberías de distribución

La red de distribución está conformada por tuberías de 90mm, 63mm, 50mm, 40mm, 32mm y 25mm. Estas tuberías aparentemente se encuentran en buen estado ya que no se han presentado fallas en el sistema.

Sin embargo, según la normativa de diseño de la EPMAPS, los tramos con diámetros de 40mm, 32mm y 25mm no están permitidos en la red de distribución. Para parroquias se puede aceptar diámetros mínimos de 50 mm justificando las causas.



Ilustración 16: Red de distribución

3.2.2 Muestreo y análisis *in situ*

En la

Tabla 13 se presentan los valores de los parámetros medidos *in situ* con la ayuda del siguiente equipamiento: Multiparámetros Hach, turbidímetro.

Tabla 13 : Análisis de parámetros en agua cruda

Parámetros	Captación 1	Tanque de captación	Captación 2	TULSMA
Turbiedad (NTU)	17.2	4.43	2.15	100
pH	7.23	6.71	6.77	6 - 9
Temperatura (°C)	14.09	13.96	14.04	-
Conductividad (ms/cm)	0.142	0.146	0.143	-
Sólidos disueltos totales (mg/l)	92	95	93	-
Oxígeno Disuelto (mg/l)	6.77	6.38	6.76	-
Oxígeno Disuelto (%)	65.8	61.8	65.6	-

Se identificó que en la captación 1 existen niveles elevados de turbiedad con respecto a los otros puntos de muestreo, siendo estos valores de 17.2 NTU para la captación 1; 4.5 NTU en el tanque de captación y 1.36 NTU en la captación 2. Si bien, se determinó esta diferencia respecto a los puntos mencionados, estos valores no superan los límites máximos permisibles establecidos en la tabla 1 del anexo 1 del texto unificado de la legislación ambiental (TULSMA).

En la presente tabla se comparan los valores medidos in situ con la normativa INEN 1108:2020.

Tabla 14: Análisis de parámetros en agua potable

Parámetros	Tanque distribuidor	INEN 1108 2020
Turbiedad (NTU)	2.38	5
pH	6.91	6.5 - 8
Temperatura (°C)	16.72	-
Conductividad (ms/cm)	0.155	-
Sólidos disueltos totales (mg/L)	101	-
Oxígeno Disuelto (mg/L)	7.27	-
Oxígeno Disuelto (%)	74.8	-

El parámetro más relevante para el presente estudio es la turbiedad; como se observa en la **Tabla 14**, el agua potabilizada del tanque distribuidor presentó un valor de turbidez de 2.38 NTU, esta cifra al igual que su pH de 6.91, se encuentran dentro del rango establecido por la normativa INEN 1108:2020; por lo tanto se considera apta para su consumo.



Ilustración 17 : Análisis in situ.

Cabe mencionar que no se realizó una caracterización completa de agua debido a que la comunidad no tiene conocimientos técnicos y solicitaron únicamente un análisis enfocado en la turbiedad. El presente proyecto se centra en establecer mejoras para solucionar el problema de turbidez.

3.2.3 Aforo de caudales

A continuación, se presentan los valores del caudal de concesión y el caudal medido in situ.

Tabla 15 : Comparación caudal aforado y caudal de concesión

Caudal	Valor	Unidades
Caudal de Concesión	4.2	L/s
Caudal Medido por el método ultrasónico	4.31	L/s

El caudal medido en la visita técnica fue de 4.31 L/s, este valor es muy cercano y coincide con el caudal de concesión de la comunidad. No obstante, el operador encargado de la planta mencionó que en épocas de lluvia el caudal tiende a aumentar aproximadamente a 5.6 L/s.

Es importante mencionar, que la medición del caudal se realizó en temporada de verano.



Ilustración 18: Aforo de caudal

3.3 Cálculo de la población futura

El método utilizado para el cálculo de la población futura fue el geométrico, debido a que es el que más se adapta a las condiciones y características de la comunidad, dando un incremento aproximado de 4 604 habitantes para el año 2 050.

Tabla 16: Población futura 2 050

Método Geométrico	
$Pf = Pa \times (1 + r)^n$	
Pf: Población futura (hab)	4 604
Pa: Población actual (hab)	1 970
n: periodo (años)	30
r: Tasa de crecimiento (%)	2.87

3.4 Cálculos de caudales

3.4.1 Cálculo del caudal actual 2 020

3.4.1.1 Caudal medio diario actual

Para determinar el caudal actual, se aplicó la fórmula expresada en la **Ecuación 6** El valor de la dotación se tomó según indica la guía técnica de la EPMAPS.

$$Q_{md} = \frac{(d_{bruta} \times Na)}{86400}$$

Donde:

d_{bruta} : 130 L/hab/d

Na: 1970 hab

$$Q_{md} = \frac{(130 \times 1970)}{86400} = 2.964 \text{ L/s}$$

3.4.1.2 Caudal máximo diario actual

Se utilizó la **Ecuación 7** para calcular el Q_{md} utilizando el coeficiente de mayoración estipulado por la EPMAPS.

$$QMD = Qmd \times k1$$

Donde:

Qmd: 2.964 L/s

k1: 1.4

$$QMD = 2.96 \times 1.4 = 4.149 \text{ L/s}$$

3.4.1.3 Caudal máximo horario actual

Se calculó el QMH actual, por medio del coeficiente de mayoración estipulado por la guía técnica de diseño de la EPMAPS y el uso de la **Ecuación 8**.

$$QMH = QMD \times k2$$

Donde:

QMD: 4.149 L/s

k2: 1.6

$$QMH = 4.144 \times 1.6 = 6.638 \text{ L/s}$$

3.4.2 Cálculo de caudales futuros 2 050

El caudal futuro que se calculó fue de 6.93 L/s, se observa que dentro de 30 años se requerirá un aumento en el caudal de concesión, con la finalidad de abastecer de manera eficiente a la población futura.

Tabla 17: Caudales futuros año 2 050

Población futura (hab)	4 604
Periodo de diseño (años)	30
Caudal medio diario (L/s)	6.93
Caudal máximo diario (L/s)	9.70
Caudal máximo horario (L/s)	15.52

3.5 Evaluación hidráulica del sistema

Se realizaron dos simulaciones, una estática y una dinámica; para conocer el estado y funcionamiento de la conducción y de la red de distribución. Además, los resultados obtenidos por los modelamientos se compararon con la normativa de diseño para obras hidráulicas de la EPMAPS.

3.5.1 Conducción

En la presente simulación se programó el software Epanet ingresando datos referentes al material y los diámetros de las tuberías con las que actualmente trabaja el sistema. A su vez se configuró el software para utilizar la fórmula de Darcy-Weisbach con un coeficiente de rugosidad de 0.12, este coeficiente depende del material de la tubería, en este caso fue de PVC.

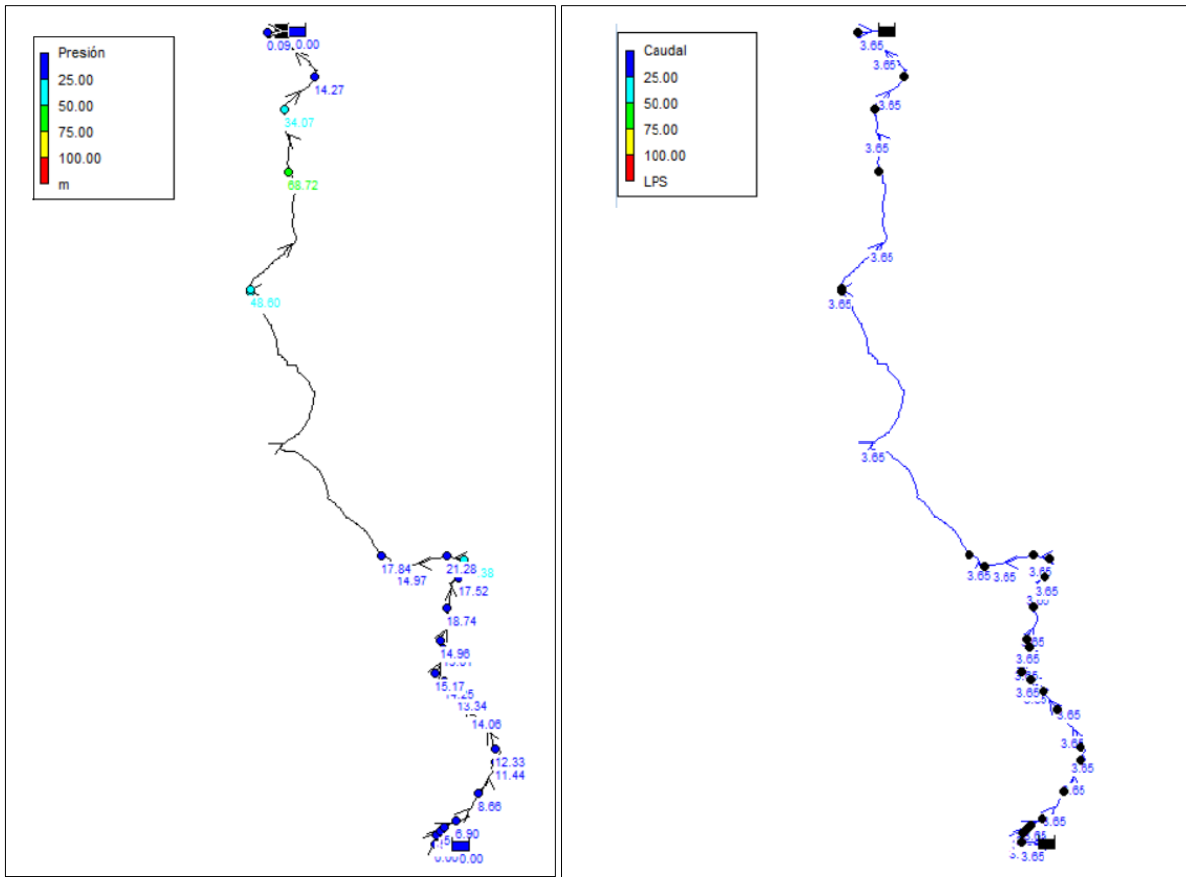


Ilustración 19 : Simulación conducción dinámica

El caudal obtenido en la simulación es de 3.65 L/s, este valor es aproximado al caudal aforado en la visita técnica el cual fue de 4.31 L/s. Una de las posibles razones por la cual los caudales no son precisos podría ser debido a que no se tomaron con exactitud los puntos donde las tuberías cambian de diámetro, puesto que estas se encontraban enterradas, por ello el caudal de la simulación es aproximado.

La siguiente ilustración se presentan los valores de velocidad con los que se transporta el caudal para determinar si cumplen con la normativa de diseño de la EPMAPS o existe algún inconveniente a lo largo de la conducción.

Como se observa la simulación hidráulica muestra que desde el inicio de la conducción hasta aproximadamente el kilómetro 2.78 las velocidades que se presentan son inferiores a la establecida por la normativa de diseño de la EPMAPS, ya que no se encuentra dentro del rango de 0.6 m/s a 6 m/s.

En los tramos donde la velocidad es muy baja, no se realiza una respectiva autolimpieza, por esta razón el material en suspensión se sedimenta generando desgaste y pérdidas en la capacidad de la tubería. Cuando el caudal incrementa en época de lluvia (invierno), las velocidades aumentan y arrastran el sedimento acumulado hacia el tanque de almacenamiento y posteriormente a la distribución llegando a las viviendas que se sirven del sistema

Para tener una correcta autolimpieza del sistema en épocas de lluvia, se recomendó operar constantemente la válvula de desagüe que se localiza aguas abajo del sedimentador. Esta válvula permite limpiar tanto la tubería como el tanque de carga. Los encargados del sistema acataron esta recomendación y obtuvieron resultados favorables con respecto a la disminución de la turbiedad.

Probablemente, el motivo por el cual la velocidad es muy baja en los dos primeros tramos de la conducción se debe a que esta sección tiene tuberías con diámetros de 160 mm y 110 mm. La posible razón por la que se utilizaron diámetros grandes es por las condiciones topográficas del terreno, puesto que la zona inicial de la conducción presenta una superficie plana, por ello no existe la carga hidráulica suficiente para transportar el flujo.

A su vez, el uso de tuberías con diámetros menores en la primera sección provocaría el aumento de las pérdidas de carga, ocasionando que no exista un flujo adecuado en la conducción.

En la **Ilustración 21**, se observa los valores de presión registrados por la simulación estática del sistema.

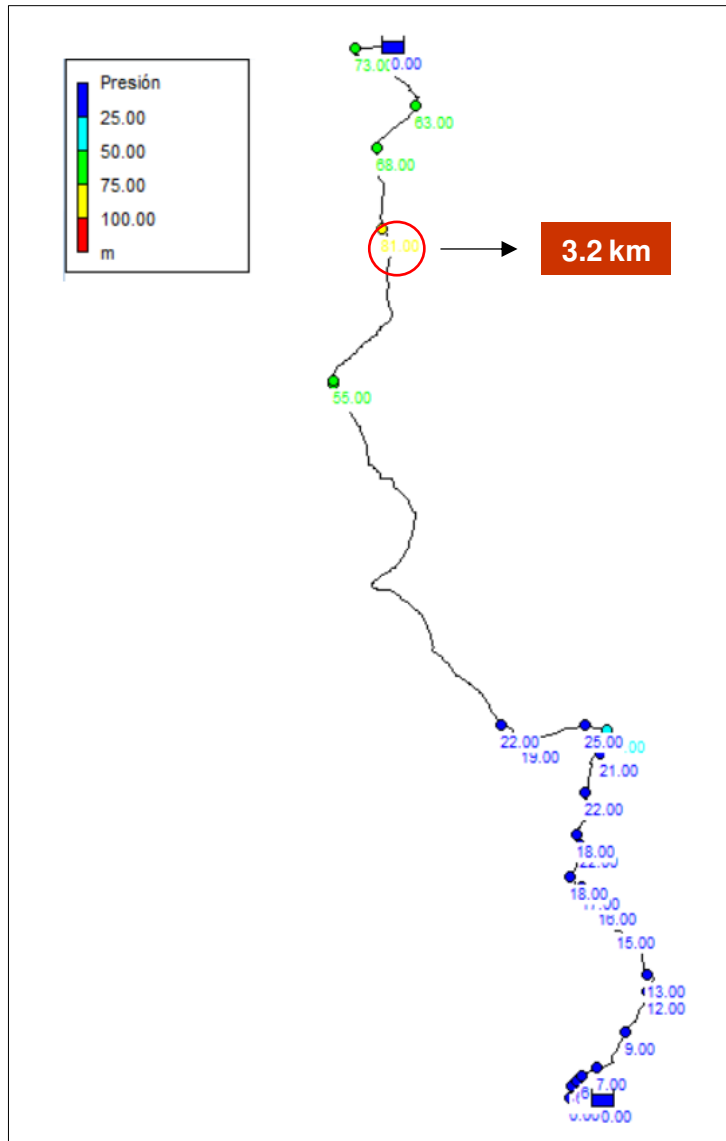


Ilustración 21: Simulación conducción estática

Se identificó que existe un punto crítico ubicado en el kilómetro 3.2, donde presenta una presión de trabajo aproximadamente de 0.81 MPa. Junto con el 30% correspondiente al factor de seguridad, se determinó que en este tramo se requiere una tubería que soporte 1MPa para evitar roturas por sobrecarga de presión o fallas por el golpe de Ariete.

3.5.2 Red de distribución

Para esta simulación se consideraron todos los hogares que son abastecidos por el tanque distribuidor, con el fin de conocer las presiones de trabajo del sistema y a su vez evaluar el cumplimiento de normativa.

Tabla 19: Puntos que no cumplen con la presión mínima dinámica

ID Nodo	Presión Dinámica (m)
n24	8.1
n25	-25.86
n32	9.32
n39	1.96
n58	8.25

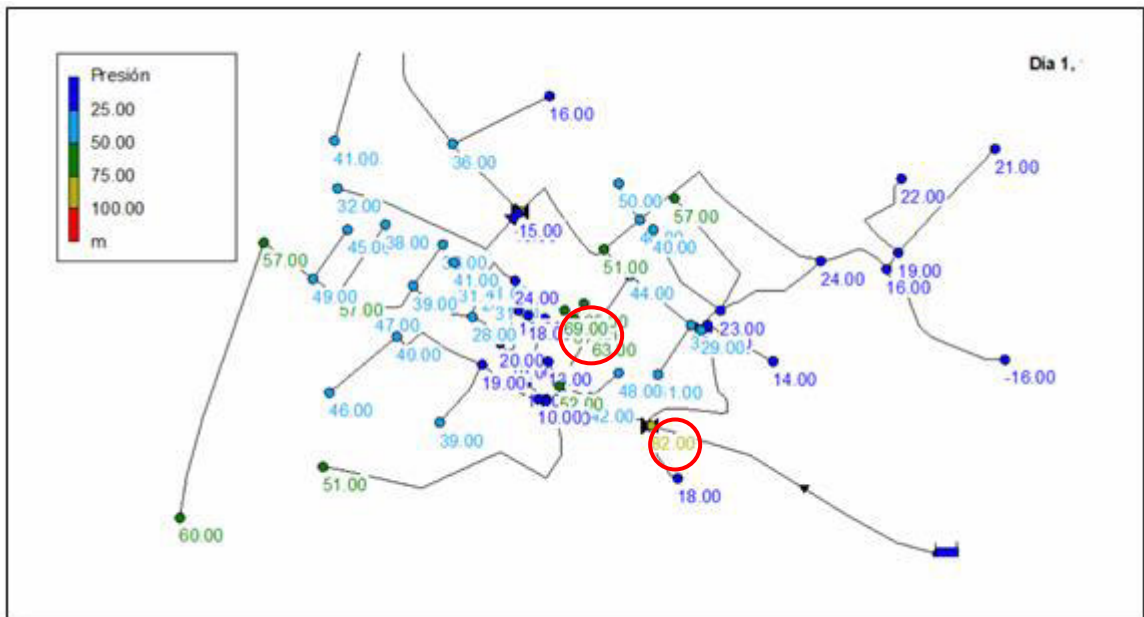


Ilustración 24 : Simulación estática de la red de distribución

En la simulación estática se determinó que en los puntos identificados de la **Tabla 20** no cumplen con el límite de presión máximo normado de 60 m.c.a, ocasionando daños en el sistema como roturas. Por lo general se presentan estos niveles de presión en horas de la noche, cuando hay consumo nulo, cercano a cero.

Tabla 20: Nodos sobre presurizados

ID nodo	Presión Estática (m)
n48	67
n49	65
n50	63
n63	69
2	61
6	79
7	82

3.6 Propuestas de mejoras

Con el propósito de mejorar el sistema de abastecimiento y brindar un servicio de buena calidad a los moradores, se determinaron las siguientes opciones: adaptación de una malla gruesa, arreglo del tanque sedimentador, filtro rápido y filtro de flujo ascendente.

3.6.1 Adaptación de una malla gruesa

Esta propuesta de mejora consiste en colocar una malla gruesa al inicio del tanque de captación que evite el paso de animales, ramas y hojas a las otras fases del sistema. Sin embargo, esto requeriría de un mantenimiento frecuente con el fin de evitar la acumulación de materiales.

3.6.2 Arreglo del sedimentador

Aguas abajo de la captación de Oyambaro existe un tanque sedimentador, en la actualidad esta estructura no cumple la función de su diseño, puesto que las seis pantallas que posee; observadas en la **Ilustración 25**, no llegan hasta el fondo.

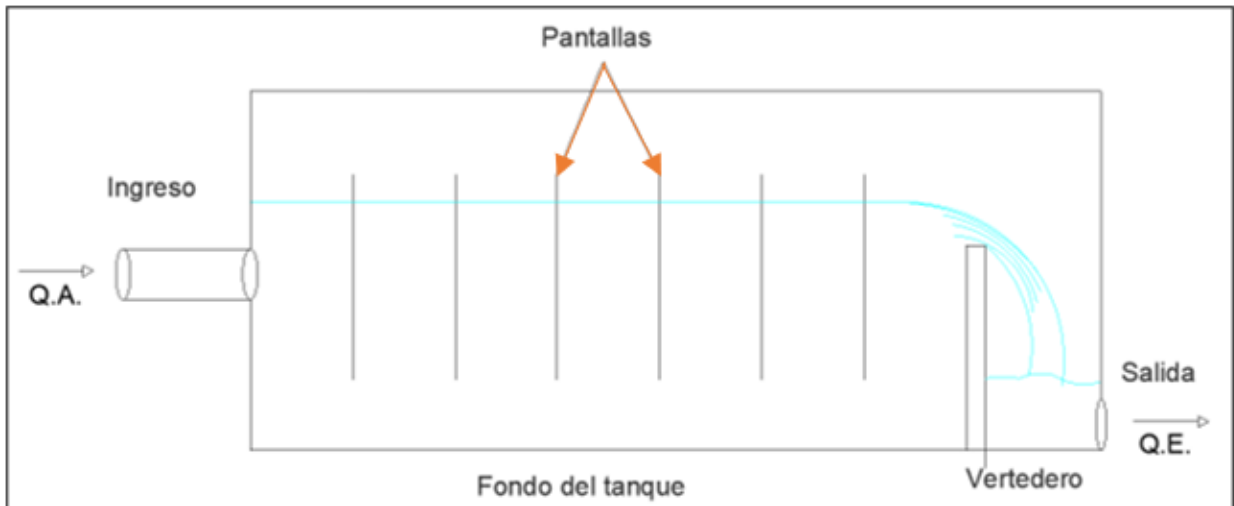


Ilustración 25: Vista en sección del tanque sedimentador actual

A continuación, en la **Ilustración 26** e **Ilustración 27** se observa la misma estructura del tanque sedimentador en diferentes vistas con la modificación propuesta de las pantallas.

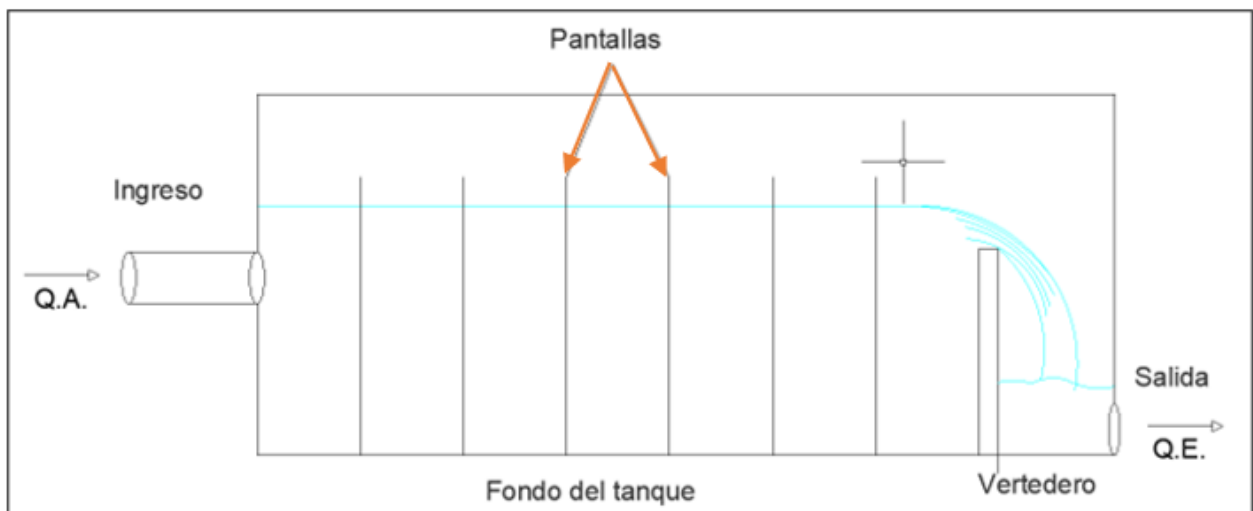


Ilustración 26: Vista en sección del tanque sedimentador con las pantallas extendidas

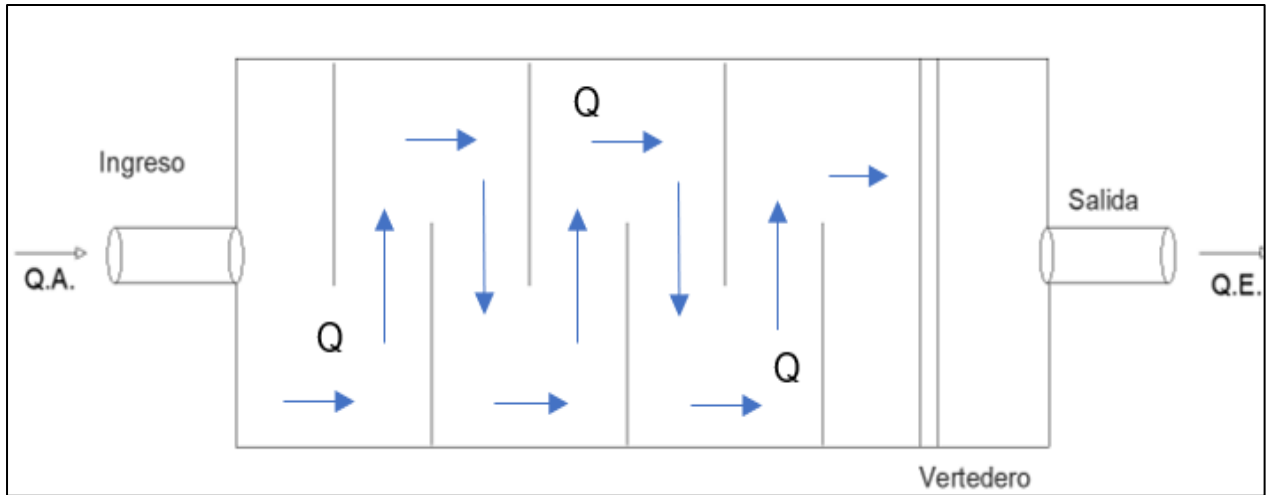


Ilustración 27: Vista en planta del sedimentador

Velocidad de flujo con el caudal actual

Para calcular la velocidad del flujo se utilizó la **Ecuación 9**.

$$v_f = \frac{Q}{A}$$

$$v_f = \left(\frac{0.00286 \text{ m}^3/\text{s}}{1.05 \text{ m} \times 0.4 \text{ m}} \right)$$

Donde:

Q: 0.00286 m³ / s

A: 1.05 m × 0.4 m

Dando como resultado una velocidad de flujo de 0.00706 m/s.

$$v_f = 0.00706 \text{ m/s}$$

Velocidad de sedimentación con el caudal actual

Con la velocidad de flujo calculada se procedió a determinar el valor de la velocidad de sedimentación.

$$v_s = \left(\frac{0.00706 \text{ m/s}}{6 \text{ m}} \times 1.9 \text{ m} \right) \times 100$$

Donde:

L: 6 m

Vf: 0.00706 m / s

h: 1.9 m

Obteniendo un valor de velocidad de sedimentación de 0.22349 cm/s

$$Vs = 0.22349 \text{ cm/s}$$

En la **Tabla 21** se presentan los resultados obtenidos de los cálculos realizados anteriormente.

Tabla 21 : Cálculos del Sedimentador con el Caudal Actual

Cálculos del Tanque Sedimentador con el Caudal Actual		
Velocidad de flujo	0.00706	m/s
Longitud de Recorrido	6.00	m
Velocidad de sedimentación	0.223	cm/s
Partículas sedimentables	0.004	cm

Con esta alternativa de mejora, al extender las pantallas del tanque hasta la solera de este, se obtendría una velocidad de sedimentación de 0.223 cm/s; permitiendo que partículas con un diámetro de 0,004 cm se sedimenten en el fondo del tanque reduciendo significativamente la turbiedad.

Velocidad de flujo con el caudal futuro

Se empleó la misma **Ecuación 9** para determinar la velocidad de flujo y sedimentación futuros; teniendo en cuenta los valores correspondientes.

$$Vf = \left(\frac{0.00552 \text{ m/s}}{1.05\text{m} \times 0.4\text{m}} \right) = 0.01314\text{m/s}$$

Q: 0.00552 m³ / s

A: 1.05 m × 0.4 m

Velocidad de sedimentación con el caudal futuro

$$Vs = \left(\frac{0.01314 \text{ m/s}}{6 \text{ m}} \times 1.9 \text{ m} \right) \times 100 = 0.41619 \text{ cm/s}$$

Donde:

L: 6 m

Vf: 0.01314 m / s

h: 1.9 m

Se realizaron los cálculos con el caudal futuro para analizar la factibilidad de este proceso hasta el 2050. Se obtuvo una velocidad de sedimentación de 0.416 cm/s; gracias a este valor se podrían sedimentar partículas con un diámetro de 0.006 cm.

Tabla 22: Cálculos del sedimentador con el caudal futuro

Cálculos del Tanque Sedimentador con el Caudal Futuro		
Velocidad de flujo	0.01314	m/s
Longitud de Recorrido	6.000	m
Velocidad de sedimentación	0.416	cm/s
Partículas sedimentables	0.006	cm

Al realizar la extensión de pantallas se requerirá un mantenimiento adicional, ya que el sedimento se acumulará en el fondo, por lo tanto, se debe vaciar el tanque y realizar mantenimiento más frecuentemente para eliminar los sedimentos que se encuentren en el fondo del sedimentador, se debe evaluar la periodicidad del mantenimiento en función de los sedimentos atrapados ya sea en verano o invierno.

3.6.3 Implementación de un filtro

- **Filtro lento de flujo ascendente**

De acuerdo con las características hidráulicas que presenta el sistema, se determinó que una opción viable es implementar un filtro lento de flujo ascendente. Esta operación unitaria trabaja para aguas con un nivel de turbidez inferior a 50 NTU, una velocidad de filtración que depende de la calidad de agua y se encuentra en un rango de 1 a 1.5 m/h.

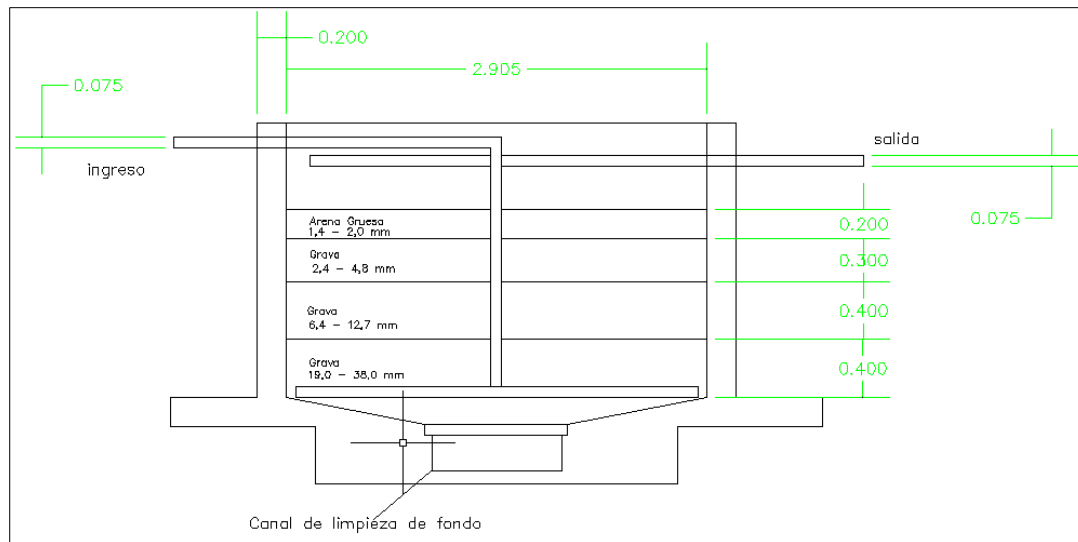


Ilustración 28: Filtro propuesto para el caudal futuro

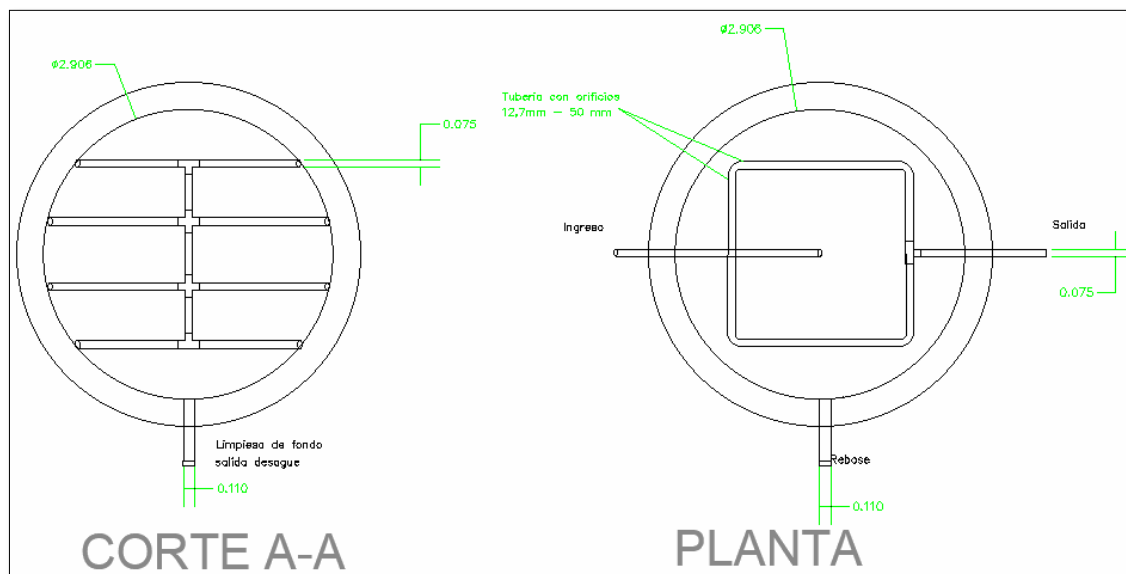


Ilustración 29: Filtro propuesto para el caudal futuro, vista en planta y corte A-A

En el siguiente esquema se dimensionó esta operación unitaria con un lecho filtrante de arena y grava fina. Lo más apto para que este filtro funcione eficientemente, es instalarlo previo al tanque de almacenamiento en una zona elevada con el fin de tener una carga positiva que solvante las pérdidas de energía producidas, puesto que, si se implementa en la zona de captación, este no tendrá la suficiente carga hidráulica para llevar a cabo el correcto funcionamiento del sistema. Además, se requiere un mínimo de dos filtros en caso de mantenimiento.

Es de gran utilidad para reducir los niveles de turbidez, elimina impurezas y ayuda a la remoción de microorganismos. Mejorando la calidad del agua gracias a su eficacia y a su

facilidad en la operación y mantenimiento. Un filtro de este tipo puede llegar a reducir el nivel de turbiedad a 1 NTU e incluso el número de virus, bacterias o protozoarios hasta un 99%.

Tabla 23: Cotización del filtro de flujo ascendente

Rubro	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Precio Total
Volumen de hormigón	3.71	m3	212.51	788.96
Acero de refuerzo	278.45	Kg/ Ac	2.31	643.21
Tuberías 75 mm	8	m	9.06	72.48
Válvulas de compuerta	3	u	168.76	506.28
Codos	5	u	5.16	25.8
Uniones	3	u	1.55	4.65
T	2	u	5.26	10.52
Cruz PVC	2	u	8.67	17.34
Tubería de 110mm	10	m	9.06	90.6
Excavación	16.30	m3	3.05	49.71
Arena	5.30	m3	265.39	1406.35
Encofrado de estructuras	17.33	m2	21.12	366.02
Grava	3.312	m3	21.57	71.43
Tubería de 75 perforada	28.24	m	8.47	239.19
			Total 1	
			FILTRO	4292.56
			Total 2	
			FILTROS	8585.11

También se cotizó el costo de materiales e insumos necesarios que requiere este tipo de filtro. En la **Tabla 23** se detallan los precios para su construcción, dando un monto aproximado de \$8 585.11; sin contar la posibilidad de que el área donde se quiera instalar el filtro sea propiedad privada y se necesite su compra.

- **Filtro rápido**

Por otra parte, la opción que más se adapta a las necesidades de la comunidad es un filtro rápido que opera de manera presurizada, debido a que este evita afectaciones al funcionamiento hidráulico actual del sistema de conducción y a su vez utiliza un área menor de instalación, evitando la adquisición de espacio extra.



Ilustración 30: Prototipo del filtro rápido

Este filtro está conformado por un lecho filtrante de grava gruesa, fina y arena; por lo general, el material que recubre el lecho filtrante es de acero con el fin de soportar la presión de trabajo.

3.6.4 Socialización con la comunidad

El lunes 3 de mayo del presente año, en la ciudad de Quito a las 15:00 pm se llevó a cabo la entrega del informe técnico tanto físico como digital a la señora María Quintero, presidenta de la Junta de Agua Potable de Oyambaro.

El 4 de mayo del 2021 se realizó una reunión vía Zoom, con algunos miembros de la junta de agua potable de Oyambaro. En la reunión se presentaron los resultados del análisis del sistema y a su vez se dieron a conocer las posibles propuestas de mejora. Además, se respondieron las inquietudes que surgieron a lo largo de la presentación.

La comunidad está agradecida y conforme con el trabajo realizado, ya que han notado mejoras con algunas recomendaciones que se fueron implementando durante el desarrollo del estudio.

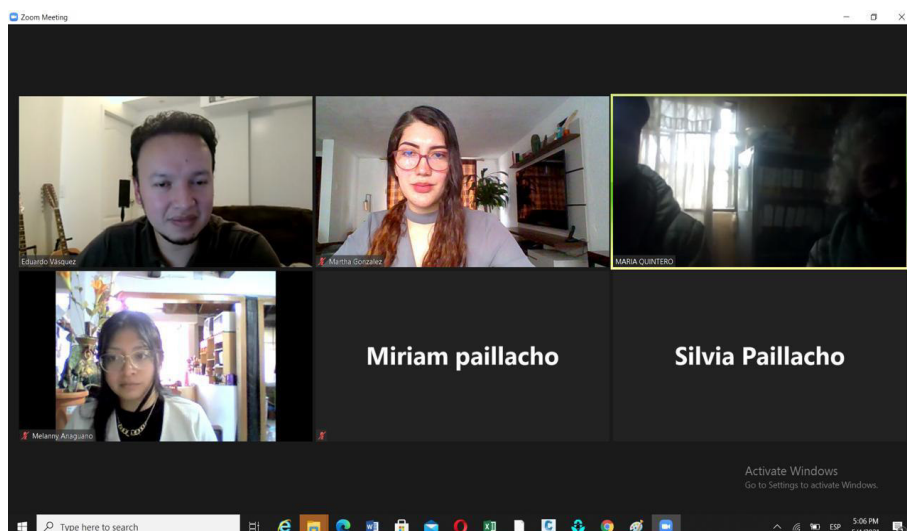




Ilustración 31: Reunión con la directiva de la Junta de Agua de Oyambaro

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- En las visitas técnicas realizadas, se evidenció que los componentes de la línea de conducción y red de distribución se encuentran en buen estado, sin embargo, el sistema no funciona correctamente debido a que el mantenimiento que se da a válvulas y tanques no es el adecuado.
- En la actualidad el sistema de abastecimiento trabaja con un caudal aproximado de 4.31 L/s, el cual suministra de manera correcta a 394 familias. Sin embargo, en el futuro esta zona crecerá en el sector industrial y poblacional, por consiguiente, necesitará un incremento de caudal, lo cual debe ser concedido por la entidad encargada de autorizar este aumento de caudal.
- La simulación hidráulica determinó que los dos primeros tramos del sistema de conducción; conformados por tuberías de PVC de 160 y 110 milímetros de diámetro no cumplen con el límite mínimo de velocidad de 0.6 m/s normado por la EPMAPS. Por esta razón no existe suficiente velocidad de flujo que permita desplazar las partículas, provocando su sedimentación y acumulación.
- La simulación estática en Epanet demostró que en el kilómetro 3.2 de la conducción, se podría presentar roturas por sobrecarga de presión en caso de no utilizar tuberías que soporten 1MPa.
- Los análisis in situ demostraron que el agua cruda de Oyambaro es de buena calidad, puesto que cumple con la normativa del TULSMA. El parámetro más relevante para el presente estudio es la turbiedad, los valores medidos en campo indican que la turbidez si cumple con los límites permisibles.
- La evaluación hidráulica demostró que no es factible la implementación de operaciones unitarias de tratamiento cerca a la captación, puesto que las condiciones topográficas hacen que el sistema tenga una carga hidráulica baja, lo cual podría empeorar si se llega a colocar una operación en esta zona.
- La propuesta más viable para reducir la turbiedad es modificar las pantallas del sedimentador, permitiendo remover partículas de hasta 0.004 cm. Esta mejora no presentaría repercusiones en la carga hidráulica del sistema y a su vez no requiere de grandes inversiones económicas.
- Los miembros de la Junta de Agua Potable de Oyambaro se mostraron conformes con el estudio realizado, a su vez adoptaron la sugerencia de dar apertura con más

frecuencia a las válvulas de desagüe, puesto que presenta una reducción significativa de la turbiedad.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda el uso de programas de simulación hidráulica como Epanet que permiten conocer el comportamiento de un sistema de abastecimiento o distribución; proporcionando valores de velocidad, caudal y presiones a los cuales está sometido el sistema.
- Para obtener datos más precisos sobre la calidad de agua del sistema, se recomienda realizar una caracterización de agua completa, con el fin de determinar si existe algún factor que altere la calidad del efluente.
- Para mejorar el funcionamiento del sistema de abastecimiento se recomienda implementar válvulas de aire y desagüe en las ubicaciones dadas en el **ANEXO 11**.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, V. (s. f.). *Red de distribución, proyecto de remodelación de la red de agua del barrio de la Geltrú*.
http://www.lis.edu.es/uploads/8b982502_2156_46f9_8799_603901b43c8d.pdf
- Armenta, D. (2012). Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Obtenido de <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/807/1/27746.pdf>
- Berdonces, J. (2008). La problemática del tratamiento del agua potable. Medicina naturista.
- Blacio, D., & Palacios, J. (2011). Filtros biológicos para la potabilización del agua, posibilidades de uso de FLA (Filtros lentos de arena) con agua superficial de nuestra región. Repositorio institucional de la Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/751/1/ti878.pdf>
- Campos, I. (2000). Saneamiento Ambiental. Universidad Estatal a Distancia San José.
- Cárdenas, D., & Patiño, F. (2010). ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD DE TUTUCÁN, CANTÓN PAUTE, PROVINCIA DEL AZUAY. Repositorio institucional de la Universidad de Cuenca. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/725/1/ti853.pdf>
- CONAGUA. (2007). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Comisión Nacional del Agua. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/05DatosBasicos.pdf>
- Corcho, F., & Duque, J. (2005). Acueductos Teoría y diseño (3.ª ed., Vol. 1). Sello Editorial.
- Comunicación, E. (2016, 8 septiembre). *Diseño de redes de agua potable*. EADIC - Cursos y Máster para Ingenieros y Arquitectos. <https://www.eadic.com/disenio-de-redes-de-agua-potable/>
- Cristóbal, J. (2018). DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN EL RÍO CHALHUANCA EN EL ANEXO DE TARUCAMARCA-TISCO-CAYLLOMA. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7389/AMcrtajj.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Cumbal, R. (2013). Diseño del sistema de alcantarillado sanitario proyectado a 30 años para la Parroquia de Malchinguí, Cantón Pedro Moncayo. <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2073/1/T-UIDE-1198.pdf>
- EPMAPS. (2008). Normas de diseño de Sistemas de Agua Potable para la EMAAP-Q. Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito.
- García, B. (2002). Calidad y tratamiento de agua. España: Mc Graw Hill.
- INEN. (2014). AGUA POTABLE REQUISITOS. Quito. Obtenido de <http://www.pudeleco.com/files/a16057d.pdf>
- Iriondo, A., & Adrados, J. (2004, septiembre). Desarrollo de una red neuronal para estimar el oxígeno disuelto en el agua a partir de instrumentación de E.D.A.R. <https://intranet.ceautomatica.es/old/actividades/jornadas/XXV/documentos/43-ortensjtan.pdf>
- Lárraga, B. (2016). Repositorio PUCE. Obtenido de La turbiedad es un parámetro clave dentro de la calidad de agua, puesto que afecta la estética del agua haciéndola poco agradable al consumidor.: http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13464/BOL%C3%8DVAR%20PATRICIO%20L%C3%81RRAGA%20JURADO_.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Proaño, P., Capito, L., Rosales, A., & Camacho, O. (2017). A dynamical sliding mode control approach for long deadtime systems. International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT) . IEEE.
- Solís-Castro, Y., Zuñiga, L., & Mora, D. (2018, marzo). *La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica*. Scielo. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0379-39822018000100035&script=sci_arttext
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. Ingenierías Universidad de Medellín, 81.
- Lossio, M. (2012). Sistema de abastecimiento de agua potable para cuatro poblados rurales del distrito de Lancones. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.

- Loza, D. (2019). Medidores Ultrasónicos. Tecnología, 31. https://www.cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra_revista/MetFlu8/3_Medidores_Ultrasonicos_flujo_de_hidrocarburos_liquidos.pdf
- Marcoó, L., Azario, R., & Metzler, C. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay. Higiene y Sanidad Ambiental, 72–73. [https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82\(2004\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82(2004).pdf)
- Montoya, C. (diciembre de 2011). Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín. Obtenido de <https://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/148/1/REI00167.pdf>
- Ojeda, M. (2015). Tratamiento de agua potable. Eleaming S.L.
- OMS. (febrero de 2017). Obtenido de https://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/es/
- O.P.S. (2005). *GUÍA PARA EL DISEÑO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES*. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005b.%20Gu%C3%ADa%20desarenadores%20y%20sedimentadores.p
- OPS/OMS. (2012). Estudio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en Apurímac y Cusco. <https://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/15.pdf>
- Pacheco, S. (6 de mayo de 2014). Universidad Católica de Manizales. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-100X2014000100003&script=sci_arttext&lng=pt
- Proaño, P., Capito, L., Rosales, A., & Camacho, O. (2017). A dynamical sliding mode control approach for long deadtime systems. International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT) . IEEE.
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. Ingenierías Universidad de Medellín, 81.
- UNICEF. (18 de junio de 2019). UNICEF. Obtenido de <https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/1-de-cada-3-personas-en-el-mundo->

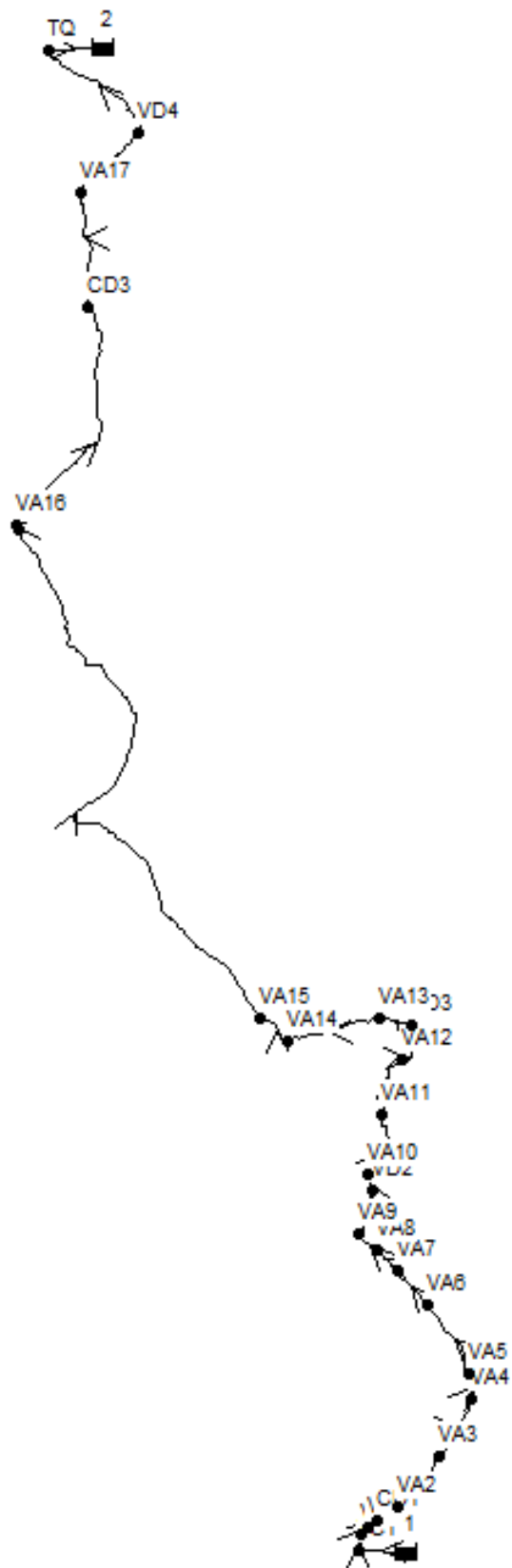
no-tiene-acceso-a-agua-
potable#:~:text=Alrededor%20de%202.200%20millones%20de,para%20el%20lavado%20de%20manos.

User, S. (2021). IIAMA - EPANET 2.00.12 ESP. Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente. <https://www.iiama.upv.es/iiama/es/transferencia/software/epanet-esp>

Vázquez, J. (27 de septiembre de 2013). Universidad Nacional del Comahue. Obtenido de <http://170.210.81.141/bitstream/handle/123456789/5818/TESIS%20Vazquez%20Jos%C3%A9.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

ANEXO 1: NOMENCLATURA DE NODOS DE LA CONDUCCIÓN



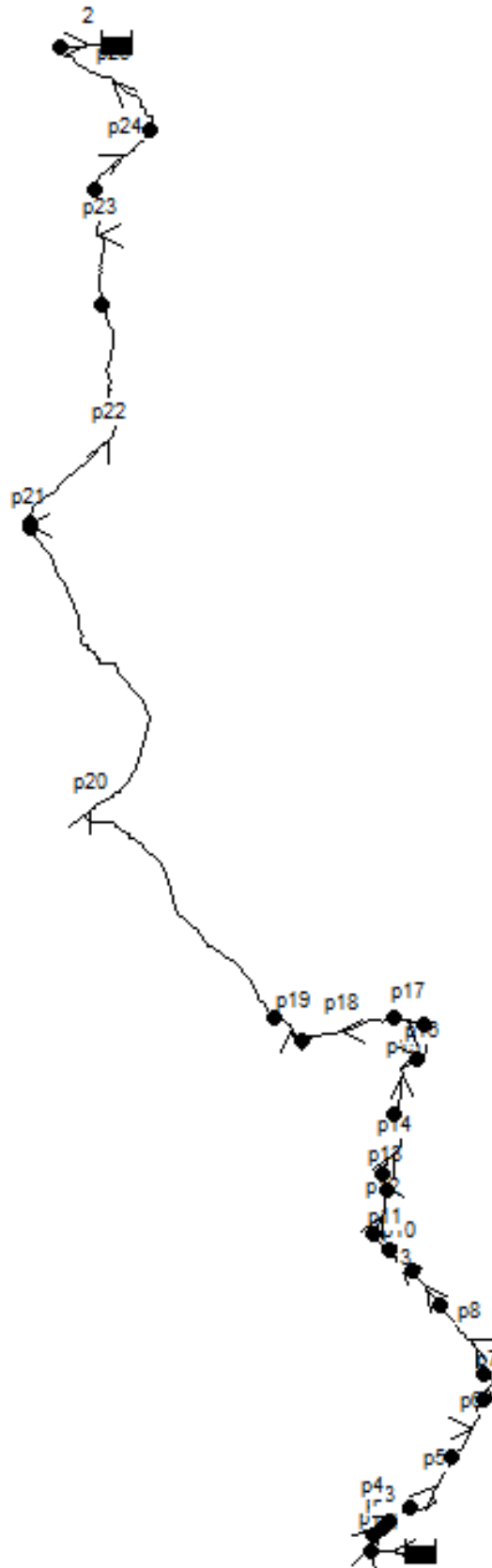
ANEXO 2: PRESIONES DE LA CONDUCCIÓN - SIMULACIÓN ESTÁTICA EPANET

ID Nudo	Altura m	Presión m
Conexión TC1	2814.00	0.00
Conexión VA1	2814.00	11.00
Conexión VD1	2814.00	6.00
Conexión CD1	2814.00	6.00
Conexión VA2	2814.00	7.00
Conexión VA3	2814.00	9.00
Conexión VA4	2814.00	12.00
Conexión VA5	2814.00	13.00
Conexión VA6	2814.00	15.00
Conexión VA7	2814.00	16.00
Conexión VA8	2814.00	17.00
Conexión VA9	2814.00	18.00
Conexión VD2	2814.00	22.00
Conexión VA10	2814.00	18.00
Conexión VA11	2814.00	22.00
Conexión VA12	2814.00	21.00
Conexión VD3	2814.00	39.00
Conexión VA13	2814.00	25.00
Conexión VA14	2814.00	19.00
Conexión VA15	2814.00	22.00
Conexión CD2	2814.00	54.00
Conexión VA16	2814.00	55.00
Conexión CD3	2814.00	81.00
Conexión VA17	2814.00	68.00
Conexión VD4	2814.00	63.00
Conexión TQ	2814.00	73.00

ANEXO 3: PRESIONES DE LA CONDUCCIÓN - SIMULACIÓN DINÁMICA EPANET

ID Nudo	Altura m	Presión m
Conexión TC1	2814.00	0.00
Conexión VA1	2813.99	10.99
Conexión VD1	2813.99	5.99
Conexión CD1	2813.98	5.98
Conexión VA2	2813.90	6.90
Conexión VA3	2813.66	8.66
Conexión VA4	2813.44	11.44
Conexión VA5	2813.33	12.33
Conexión VA6	2813.06	14.06
Conexión VA7	2811.34	13.34
Conexión VA8	2811.25	14.25
Conexión VA9	2811.17	15.17
Conexión VD2	2811.01	19.01
Conexión VA10	2810.96	14.96
Conexión VA11	2810.74	18.74
Conexión VA12	2810.52	17.52
Conexión VD3	2810.38	35.38
Conexión VA13	2810.28	21.28
Conexión VA14	2809.97	14.97
Conexión VA15	2809.84	17.84
Conexión CD2	2807.72	47.72
Conexión VA16	2807.60	48.60
Conexión CD3	2801.72	68.72
Conexión VA17	2780.07	34.07
Conexión VD4	2765.27	14.27
Conexión TQ	2741.09	0.09

ANEXO 4: NOMENCLATURA DE LAS TUBERÍAS DE LA CONDUCCIÓN

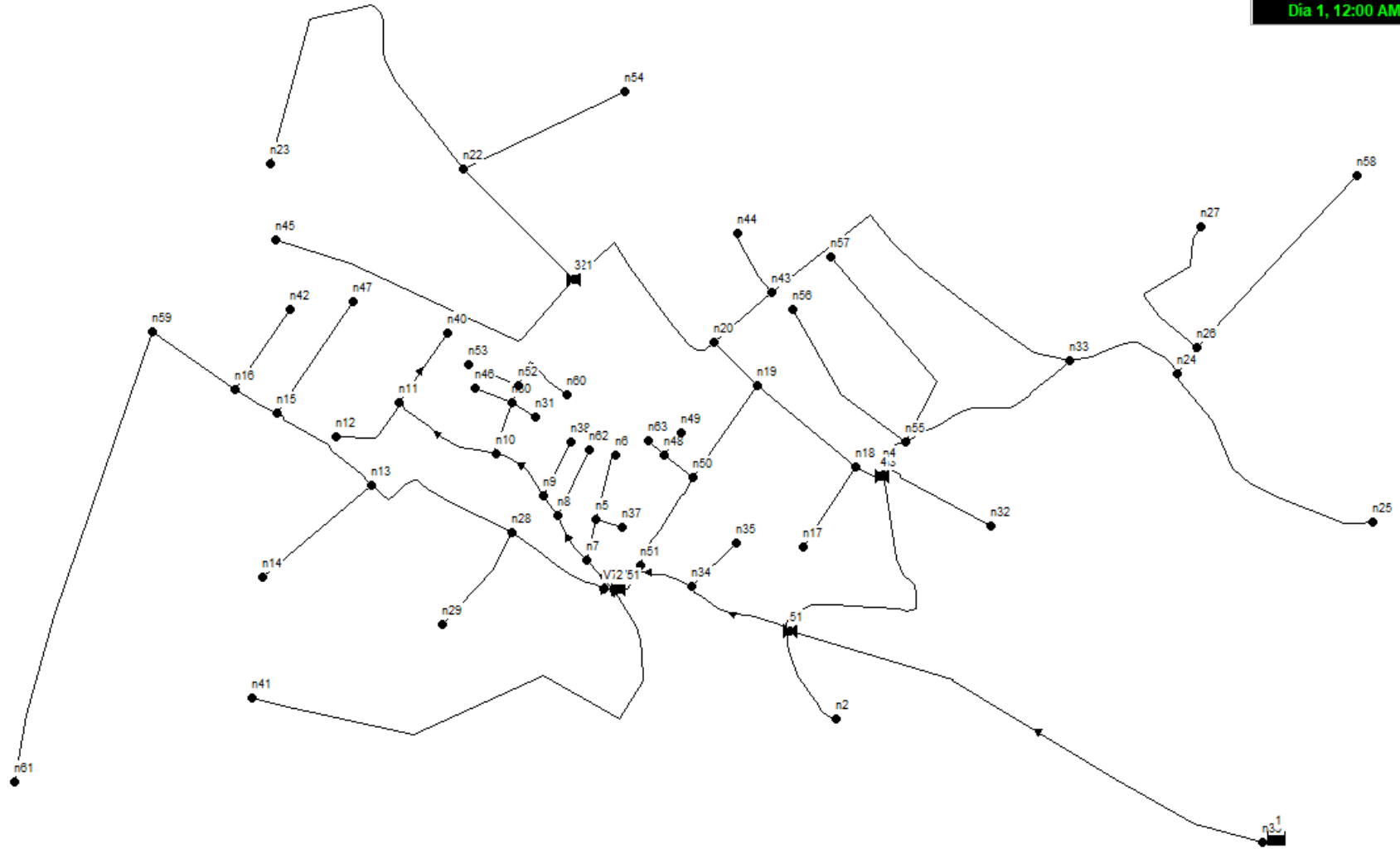


ANEXO 5: VELOCIDADES DE LA CONDUCCIÓN - SIMULACIÓN DINÁMICA EN EPANET

ID Línea	Diámetro mm	Rugosidad mm	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/km	Estado
Tubería p1	160	0.12	3.65	0.18	0.27	Abierto
Tubería p2	160	0.12	3.65	0.18	0.26	Abierto
Tubería p3	160	0.12	3.65	0.18	0.27	Abierto
Tubería p4	110	0.12	3.65	0.38	1.72	Abierto
Tubería p5	110	0.12	3.65	0.38	1.72	Abierto
Tubería p6	110	0.12	3.65	0.38	1.71	Abierto
Tubería p7	110	0.12	3.65	0.38	1.72	Abierto
Tubería p8	110	0.12	3.65	0.38	1.71	Abierto
Tubería p10	110	0.12	3.65	0.38	1.71	Abierto
Tubería p11	110	0.12	3.65	0.38	1.71	Abierto
Tubería p12	110	0.12	3.65	0.38	1.72	Abierto
Tubería p13	110	0.12	3.65	0.38	1.71	Abierto
Tubería p14	110	0.12	3.65	0.38	1.72	Abierto
Tubería p15	110	0.12	3.65	0.38	1.71	Abierto
Tubería p16	110	0.12	3.65	0.38	1.71	Abierto
Tubería p17	110	0.12	3.65	0.38	1.71	Abierto
Tubería p18	110	0.12	3.65	0.38	1.71	Abierto
Tubería p19	110	0.12	3.65	0.38	1.72	Abierto
Tubería p20	110	0.12	3.65	0.38	1.71	Abierto
Tubería p21	75	0.1	3.65	0.83	11.40	Abierto
Tubería p22	75	0.12	3.65	0.83	11.73	Abierto
Tubería p23	50	0.12	3.65	1.86	93.30	Abierto
Tubería p24	50	0.12	3.65	1.86	93.30	Abierto
Tubería p25	50	0.12	3.65	1.86	93.30	Abierto
Tubería 1	160	0.12	3.65	0.18	0.30	Abierto
Tubería 2	50	0.12	3.65	1.86	93.17	Abierto

ANEXO 6: NOMENCLATURA DE NODOS DE LA RED

Día 1, 12:00 AM



ANEXO 7: PRESIONES DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN- SIMULACIÓN DINÁMICA EPANET

En esta simulación se pueden observar nodos que no presentan demanda; debido a que en estos puntos son los accesorios de la red, el cual fueron utilizados para determinar la presión que pueden llegar a soportar.

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Conexión n1	0.41	2674.00	15.00
Conexión n2	0.09	2673.99	17.99
Conexión n3	0.03	2669.47	17.47
Conexión n4	0.13	2669.39	16.39
Conexión n5	0.08	2627.67	15.67
Conexión n6	0.05	2627.66	15.66
Conexión n7	0.08	2627.73	13.73
Conexión n8	0.08	2627.49	18.49
Conexión n9	0.10	2627.41	19.41
Conexión n10	0.14	2627.24	27.24
Conexión n11	0.14	2627.20	38.20
Conexión n12	0.07	2627.19	46.19
Conexión n13	0.22	2621.44	39.44
Conexión n14	0.12	2621.33	45.33
Conexión n15	0.15	2621.30	56.30
Conexión n16	0.16	2621.26	48.26
Conexión n17	0.08	2664.94	31.94
Conexión n18	0.18	2664.97	22.97
Conexión n19	0.14	2664.87	34.87
Conexión n20	0.17	2664.85	41.85
Conexión n21	0.41	2610.00	15.00
Conexión n22	0.48	2609.40	35.40
Conexión n23	0.33	2609.17	40.17
Conexión n24	0.24	2666.10	8.10
Conexión n25	0.22	2664.14	-25.86
Conexión n26	0.33	2665.90	10.90

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Conexión n27	0.14	2665.70	13.70
Conexión n28	0.23	2621.72	18.72
Conexión n29	0.09	2621.70	38.70
Conexión n30	0.07	2627.21	27.21
Conexión n31	0.02	2627.21	30.21
Conexión n32	0.10	2669.32	9.32
Conexión n33	0.41	2668.12	18.12
Conexión n34	0.12	2672.78	40.78
Conexión n35	0.05	2672.77	46.77
Conexión n36	0.57	2627.99	14.99
Conexión n37	0.02	2627.67	12.67
Conexión n38	0.05	2627.40	18.40
Conexión n39	0.42	2740.96	1.96
Conexión n40	0.07	2627.19	35.19
Conexión n41	0.44	2626.43	49.43
Conexión n42	0.08	2621.26	44.26
Conexión n43	0.12	2665.29	37.29
Conexión n44	0.06	2665.28	41.28
Conexión n45	0.28	2604.85	31.85
Conexión n46	0.03	2627.21	30.21
Conexión n47	0.11	2621.30	37.30
Conexión n48	0.04	2664.72	57.72
Conexión n49	0.02	2664.72	55.72
Conexión n50	0.11	2664.72	53.72
Conexión n51	0.09	2664.69	42.69
Conexión n52	0.10	2627.21	40.21

Conexión n53	0.04	2627.20	40.20
Conexión n54	0.15	2608.76	14.76
Conexión n55	0.49	2669.09	18.09
Conexión n56	0.14	2669.02	35.02
Conexión n57	0.19	2668.94	51.94
Conexión n58	0.19	2661.25	8.25
Conexión n59	0.38	2621.01	56.01
Conexión n60	0.06	2627.21	23.21
Conexión n61	0.38	2586.73	24.73
Conexión n62	0.06	2627.48	17.48
Conexión n63	0.01	2664.72	59.72
Conexión 2	0.00	2671.85	58.85
Conexión 3	0.00	2628.00	15.00
Conexión 4	0.00	2622.00	10.00
Conexión 5	0.00	2665.00	20.00
Conexión 6	0.00	2664.47	69.47
Conexión 7	0.00	2712.07	53.07
Conexión 8	0.00	2605.00	10.00
Conexión 9	0.00	2610.00	15.00
Embalse 1	-10.59	2741.00	0.00

ANEXO 8: PRESIONES DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN – SIMULACIÓN ESTÁTICA EPANET

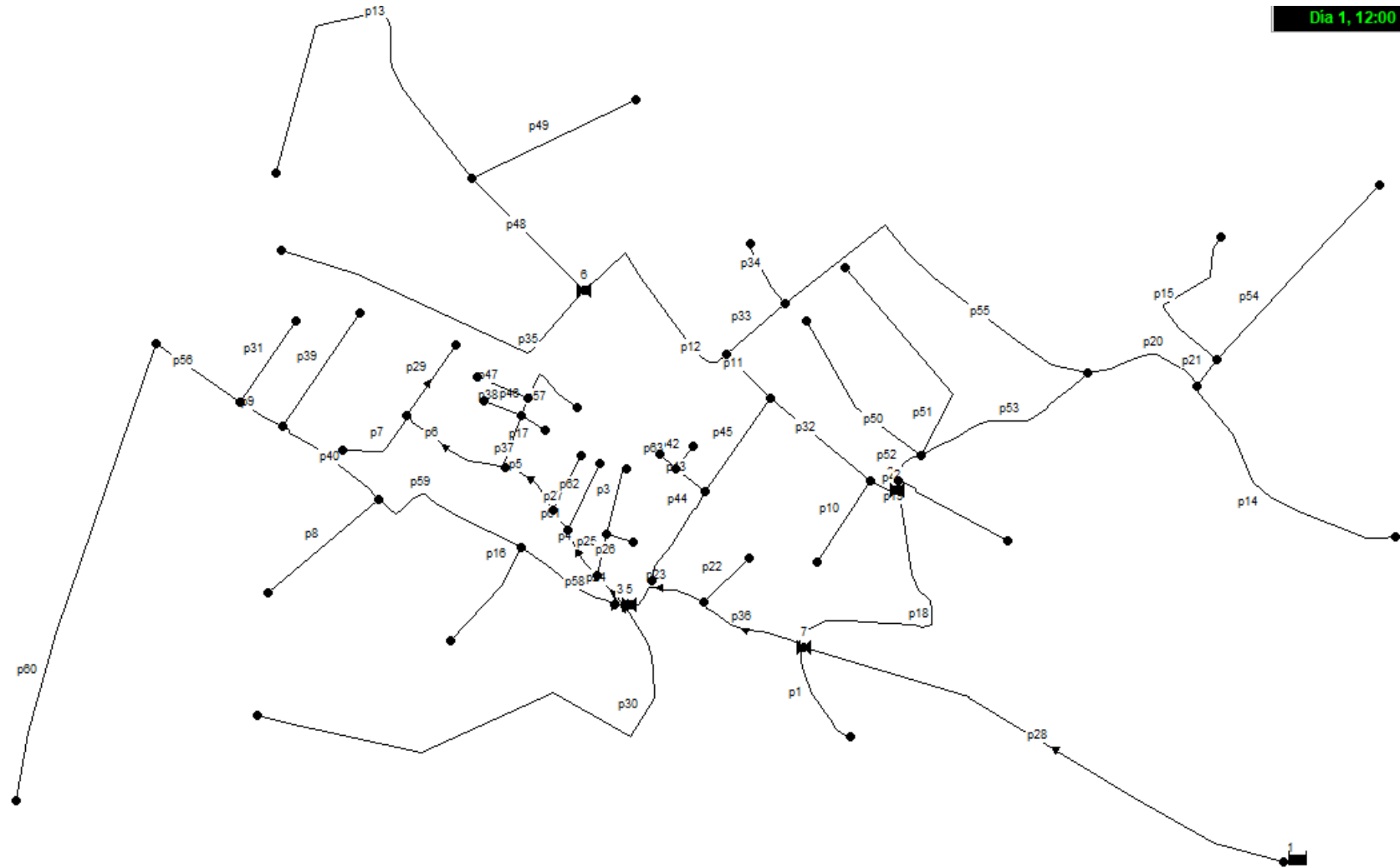
ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Conexión n1	0.00	2674.00	15.00
Conexión n2	0.00	2674.00	18.00
Conexión n3	0.00	2674.00	22.00
Conexión n4	0.00	2674.00	21.00
Conexión n5	0.00	2628.00	16.00
Conexión n6	0.00	2628.00	16.00
Conexión n7	0.00	2628.00	14.00
Conexión n8	0.00	2628.00	19.00
Conexión n9	0.00	2628.00	20.00
Conexión n10	0.00	2628.00	28.00
Conexión n11	0.00	2628.00	39.00
Conexión n12	0.00	2628.00	47.00
Conexión n13	0.00	2622.00	40.00
Conexión n14	0.00	2622.00	46.00
Conexión n15	0.00	2622.00	57.00
Conexión n16	0.00	2622.00	49.00
Conexión n17	0.00	2674.00	41.00
Conexión n18	0.00	2674.00	32.00
Conexión n19	0.00	2674.00	44.00
Conexión n20	0.00	2674.00	51.00
Conexión n21	0.00	2610.00	15.00
Conexión n22	0.00	2610.00	36.00
Conexión n23	0.00	2610.00	41.00
Conexión n24	0.00	2674.00	16.00
Conexión n25	0.00	2674.00	-16.00
Conexión n26	0.00	2674.00	19.00

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Conexión n27	0.00	2674.00	22.00
Conexión n28	0.00	2622.00	19.00
Conexión n29	0.00	2622.00	39.00
Conexión n30	0.00	2628.00	28.00
Conexión n31	0.00	2628.00	31.00
Conexión n32	0.00	2674.00	14.00
Conexión n33	0.00	2674.00	24.00
Conexión n34	0.00	2674.00	42.00
Conexión n35	0.00	2674.00	48.00
Conexión n36	0.00	2628.00	15.00
Conexión n37	0.00	2628.00	13.00
Conexión n38	0.00	2628.00	19.00
Conexión n39	0.00	2741.00	2.00
Conexión n40	0.00	2628.00	36.00
Conexión n41	0.00	2628.00	51.00
Conexión n42	0.00	2622.00	45.00
Conexión n43	0.00	2674.00	46.00
Conexión n44	0.00	2674.00	50.00
Conexión n45	0.00	2605.00	32.00
Conexión n46	0.00	2628.00	31.00
Conexión n47	0.00	2622.00	38.00
Conexión n48	0.00	2674.00	67.00
Conexión n49	0.00	2674.00	65.00
Conexión n50	0.00	2674.00	63.00
Conexión n51	0.00	2674.00	52.00
Conexión n52	0.00	2628.00	41.00

Conexión n53	0.00	2628.00	41.00
Conexión n54	0.00	2610.00	16.00
Conexión n55	0.00	2674.00	23.00
Conexión n56	0.00	2674.00	40.00
Conexión n57	0.00	2674.00	57.00
Conexión n58	0.00	2674.00	21.00
Conexión n59	0.00	2622.00	57.00
Conexión n60	0.00	2628.00	24.00
Conexión n61	0.00	2622.00	60.00
Conexión n62	0.00	2628.00	18.00
Conexión n63	0.00	2674.00	69.00
Conexión 2	0.00	2674.00	61.00
Conexión 3	0.00	2628.00	15.00
Conexión 4	0.00	2622.00	10.00
Conexión 5	0.00	2674.00	29.00
Conexión 6	0.00	2674.00	79.00
Conexión 7	0.00	2741.00	82.00
Conexión 8	0.00	2605.00	10.00
Conexión 9	0.00	2610.00	15.00
Embalse 1	-0.01	2741.00	0.00

ANEXO 9: NOMENCLATURA DE LAS TUBERÍAS DE LA RED

Día 1, 12:00 AM



ANEXO 10: VELOCIDADES EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN – SIMULACIÓN DINÁMICA EN EPANET

ID Línea	Diámetro mm	Rugosidad mm	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/km	Estado
Tubería p1	50	0.12	0.09	0.04	0.06	Abierto
Tubería p2	90	0.12	3.96	0.62	5.44	Abierto
Tubería p3	40	0.12	0.05	0.04	0.09	Abierto
Tubería p4	63	0.12	1.04	0.33	2.67	Abierto
Tubería p5	63	0.12	0.75	0.24	1.46	Abierto
Tubería p6	63	0.12	0.27	0.09	0.25	Abierto
Tubería p7	63	0.12	0.07	0.02	0.02	Abierto
Tubería p8	40	0.12	0.12	0.09	0.46	Abierto
Tubería p9	90	0.12	1.01	0.16	0.44	Abierto
Tubería p10	40	0.12	0.08	0.06	0.15	Abierto
Tubería p11	90	0.12	0.62	0.10	0.19	Abierto
Tubería p12	90	0.12	1.64	0.26	1.07	Abierto
Tubería p13	63	0.12	0.33	0.11	0.34	Abierto
Tubería p14	32	0.12	0.22	0.27	4.39	Abierto
Tubería p15	40	0.12	0.14	0.11	0.69	Abierto
Tubería p16	50	0.12	0.09	0.05	0.07	Abierto
Tubería p17	50	0.12	0.02	0.01	0.02	Abierto
Tubería p18	90	0.12	5.29	0.83	9.43	Abierto
Tubería p19	40	0.12	0.10	0.08	0.30	Abierto
Tubería p20	50	0.12	1.12	0.57	9.83	Abierto
Tubería p21	50	0.12	0.66	0.34	3.70	Abierto
Tubería p22	50	0.12	0.05	0.03	0.03	Abierto
Tubería p23	90	0.12	4.20	0.66	6.08	Abierto
Tubería p24	63	0.12	1.27	0.41	3.87	Abierto
Tubería p25	40	0.12	0.15	0.12	0.80	Abierto
Tubería p26	40	0.12	0.02	0.02	0.04	Abierto

ID Línea	Diámetro mm	Rugosidad mm	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/km	Estado
Tubería p27	40	0.12	0.05	0.04	0.08	Abierto
Tubería p28	90	0.12	10.16	1.60	33.04	Abierto
Tubería p29	50	0.12	0.07	0.04	0.05	Abierto
Tubería p30	50	0.12	0.44	0.22	1.73	Abierto
Tubería p31	63	0.12	0.08	0.03	0.02	Abierto
Tubería p32	90	0.12	1.04	0.16	0.46	Abierto
Tubería p34	40	0.12	0.06	0.05	0.10	Abierto
Tubería p35	63	0.12	0.28	0.09	0.26	Abierto
Tubería p36	90	0.12	4.37	0.69	6.57	Abierto
Tubería p37	63	0.12	0.34	0.11	0.35	Abierto
Tubería p38	63	0.12	0.03	0.01	0.01	Abierto
Tubería p39	90	0.12	0.11	0.02	0.01	Abierto
Tubería p40	90	0.12	1.27	0.20	0.66	Abierto
Tubería p41	90	0.12	1.30	0.20	0.69	Abierto
Tubería p42	50	0.12	0.02	0.01	0.02	Abierto
Tubería p43	50	0.12	0.08	0.04	0.05	Abierto
Tubería p44	40	0.12	0.09	0.07	0.18	Abierto
Tubería p45	50	0.12	0.28	0.14	0.77	Abierto
Tubería p46	63	0.12	0.21	0.07	0.15	Abierto
Tubería p47	50	0.12	0.04	0.02	0.03	Abierto
Tubería p48	63	0.12	0.95	0.31	2.29	Abierto
Tubería p49	32	0.12	0.15	0.18	2.16	Abierto
Tubería p50	50	0.12	0.14	0.07	0.23	Abierto
Tubería p51	50	0.12	0.19	0.10	0.39	Abierto
Tubería p52	90	0.12	3.72	0.59	4.86	Abierto
Tubería p53	90	0.12	2.90	0.46	3.05	Abierto

Tubería p54	25		0.12	0.19	0.39	11.84	Abierto
Tubería p55	63		0.12	1.37	0.44	4.48	Abierto
Tubería p56	63		0.12	0.77	0.25	1.54	Abierto
Tubería p57	63		0.12	0.06	0.02	0.02	Abierto
Tubería p58	90		0.12	1.92	0.30	1.42	Abierto
Tubería p59	90		0.12	1.60	0.25	1.01	Abierto
Tubería p60	25		0.12	0.38	0.78	43.49	Abierto
Tubería p61	63		0.12	0.90	0.29	2.06	Abierto
Tubería p62	40		0.12	0.06	0.05	0.10	Abierto
Tubería p63	50		0.12	0.01	0.01	0.01	Abierto
Tubería 1	90		0.12	10.59	1.66	35.72	Abierto
Tubería p33	63		0.12	1.19	0.38	3.45	Abierto
Tubería 2	90		0.12	4.20	0.66	5.95	Abierto
Tubería 7	63		0.12	0.28	0.09	0.30	Abierto
Válvula Val.2	90	No Disponible		4.20	0.66	43.85	Activo
Válvula Val.3	90	No Disponible		1.92	0.30	5.99	Activo
Válvula Val.4	90	No Disponible		1.30	0.20	4.47	Activo
Válvula Val.5	90	No Disponible		1.64	0.26	54.47	Activo
Válvula Val.1	90	No Disponible		10.16	1.60	38.07	Activo
Válvula Val.6	63	No Disponible		0.28	0.09	5.00	Activo

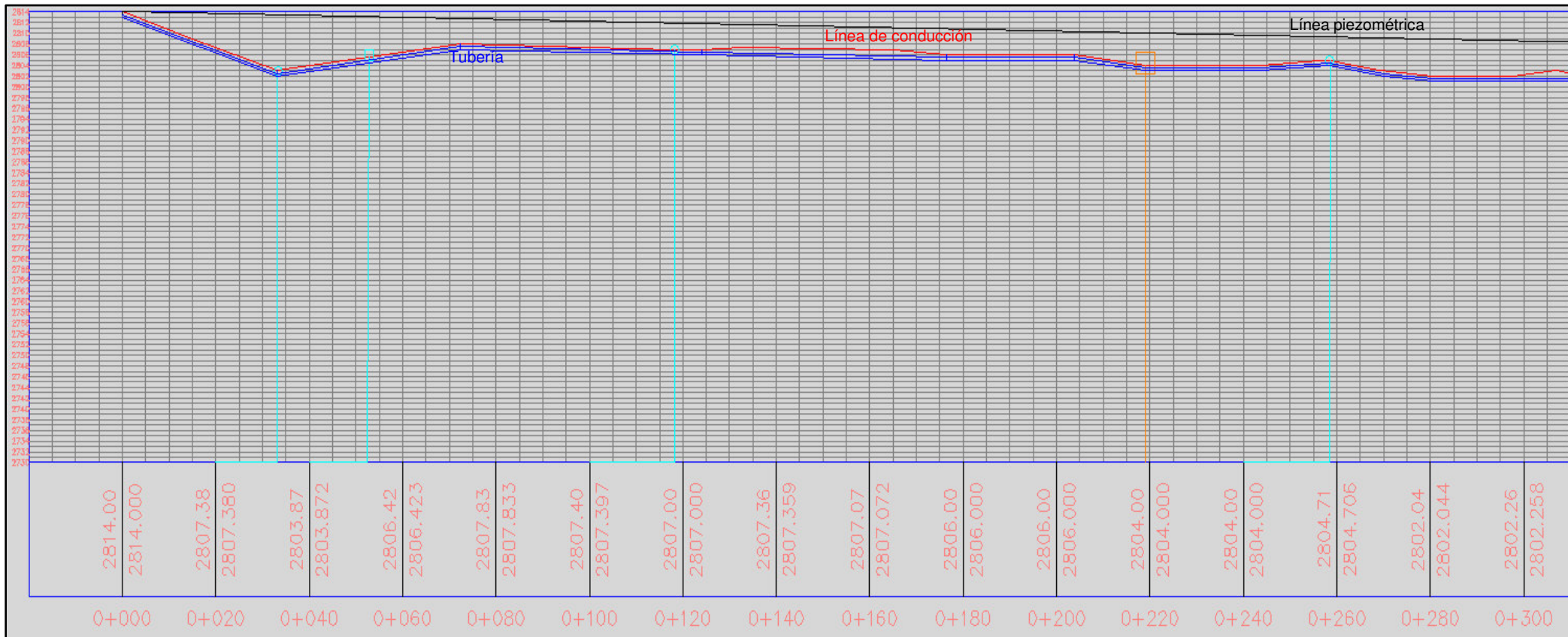
**ANEXO 11: PRESUPUESTO FILTRO LENTO DE FLUJO ASCENDENTE
CALCULADO CON EL CAUDAL FUTURO**

Rubro	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Precio Total
Volumen de hormigón	3.71	m3	212.51	788.96
Acero de refuerzo	278.45	Kg/ Ac	2.31	643.21
Tuberías 75 mm	8	m	9.06	72.48
Válvulas de compuerta	3	u	168.76	506.28
Codos	5	u	5.16	25.8
Uniones	3	u	1.55	4.65
T	2	u	5.26	10.52
Cruz PVC	2	u	8.67	17.34
Tubería de 110mm	10	m	9.06	90.6
Excavación	16.30	m3	3.05	49.71
Arena	5.30	m3	265.39	1406.35
Encofrado de estructuras	17.33	m2	21.12	366.02
Grava	3.312	m3	21.57	71.43
Tubería de 75 perforada	28.24	m	8.47	239.19
			Total	1
			FILTRO	4292.56
			Total	2
			FILTROS	8585.11

ANEXO 12: PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE VÁLVULAS DE AIRE Y DESAGÜE

Abscisas	Tipo de válvula
0+219.02	V. Desagüe
0+398.23	V. Desagüe
0+714.68	V. Desagüe
0+960.05	V. Desagüe
0+224.06	V. Desagüe
1+433.79	V. Aire
1+746.00	V. Aire
1+980.03	V. Desagüe
2+101.50	V. Aire
2+297.10	V. Desagüe
2+470.72	V. Aire
2+640.00	V. Desagüe
3+020.40	V. Aire
3+151.72	V. Desagüe
3+318.52	V. Desagüe
3+862.50	V. Aire

ANEXO 13: PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE VÁLVULAS AIRE Y DESAGÜE – PERFIL



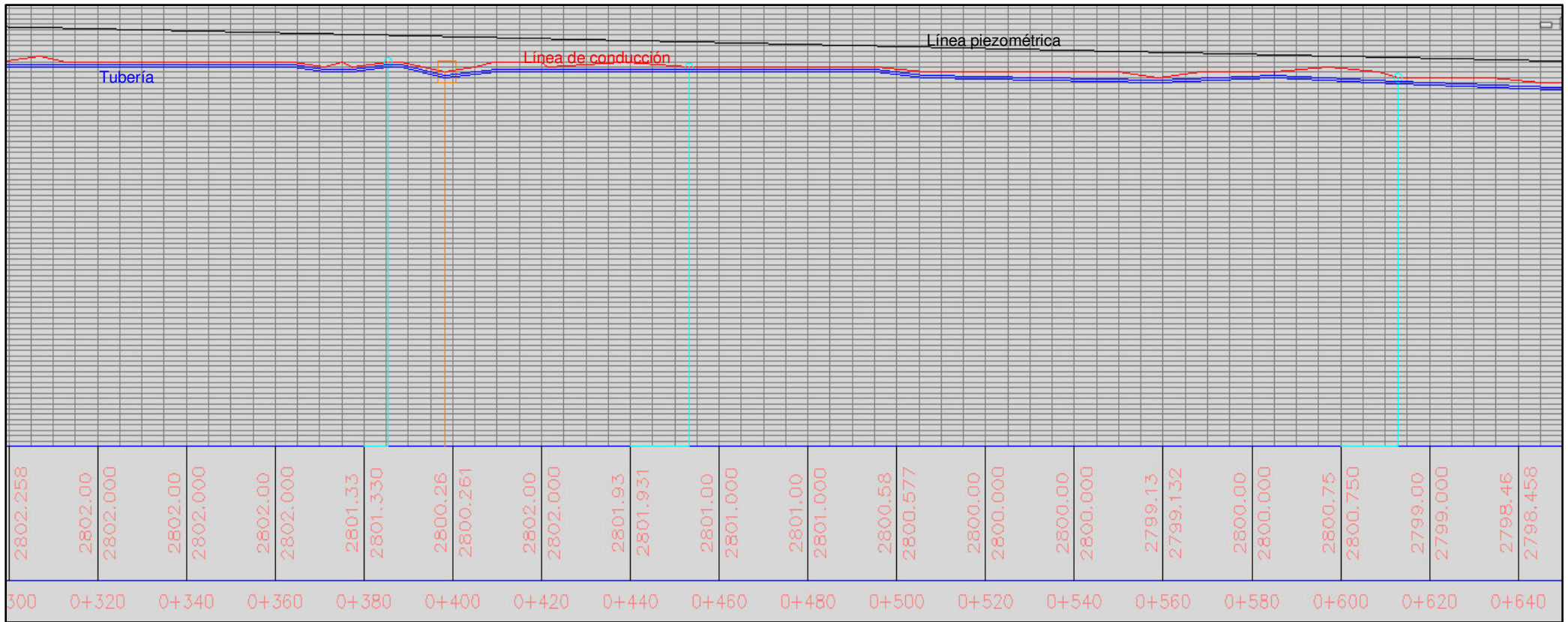
- VÁLVULA DE DESAGÜE EXISTENTE
- VÁLVULA DE AIRE EXISTENTE
- VÁLVULA DE DESAGÜE PROPUESTA
- VÁLVULA DE AIRE PROPUESTA

Tubería de conducción —

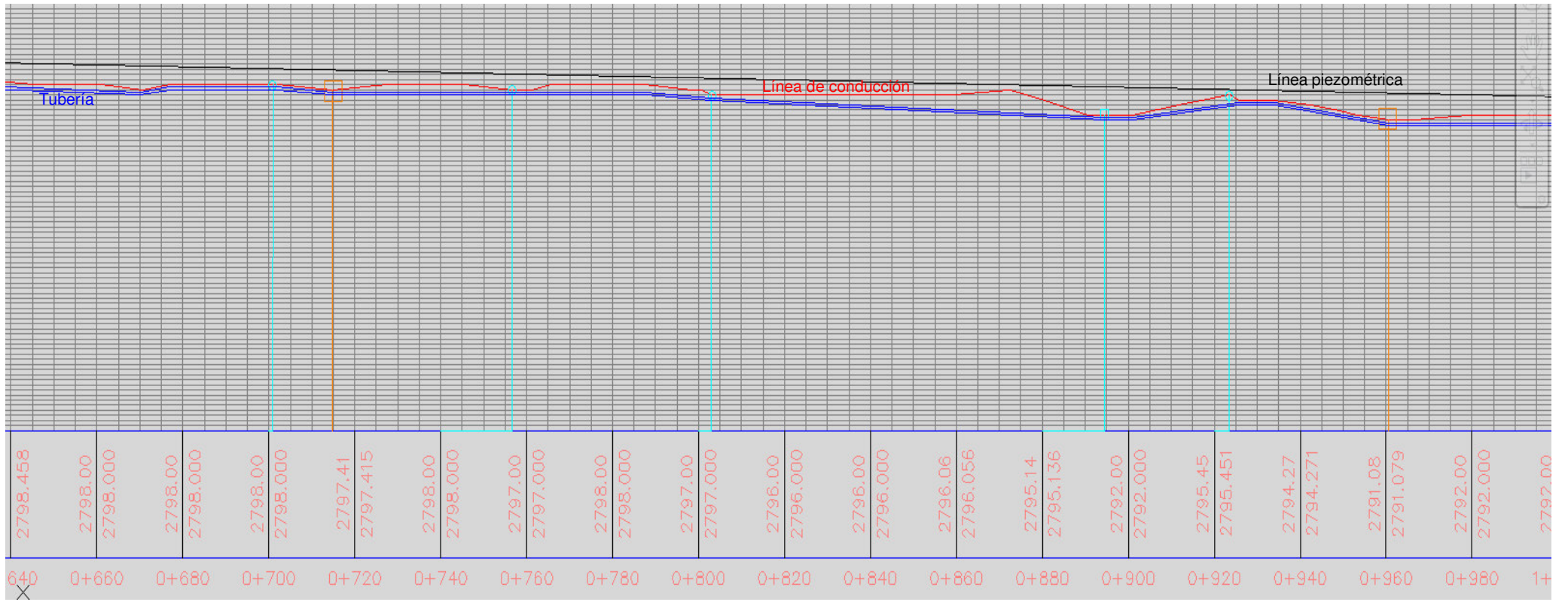
Línea de conducción —

Línea piezométrica —

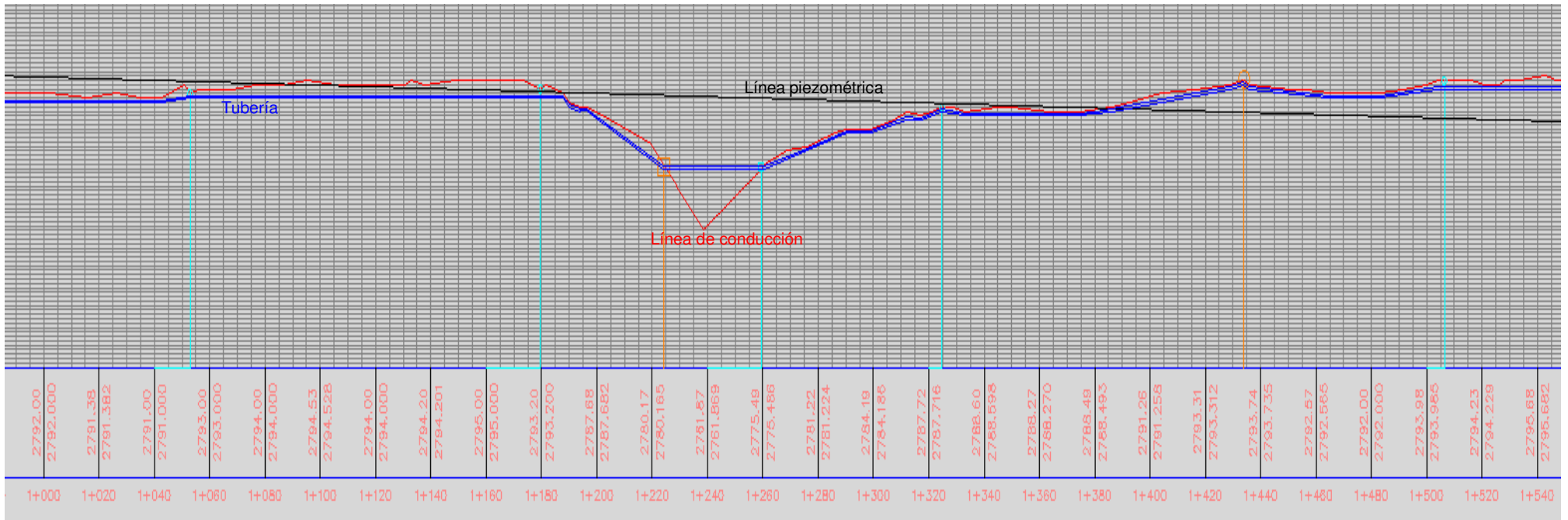
Perfil 1: Desde la Captación 1 hasta 300 m.



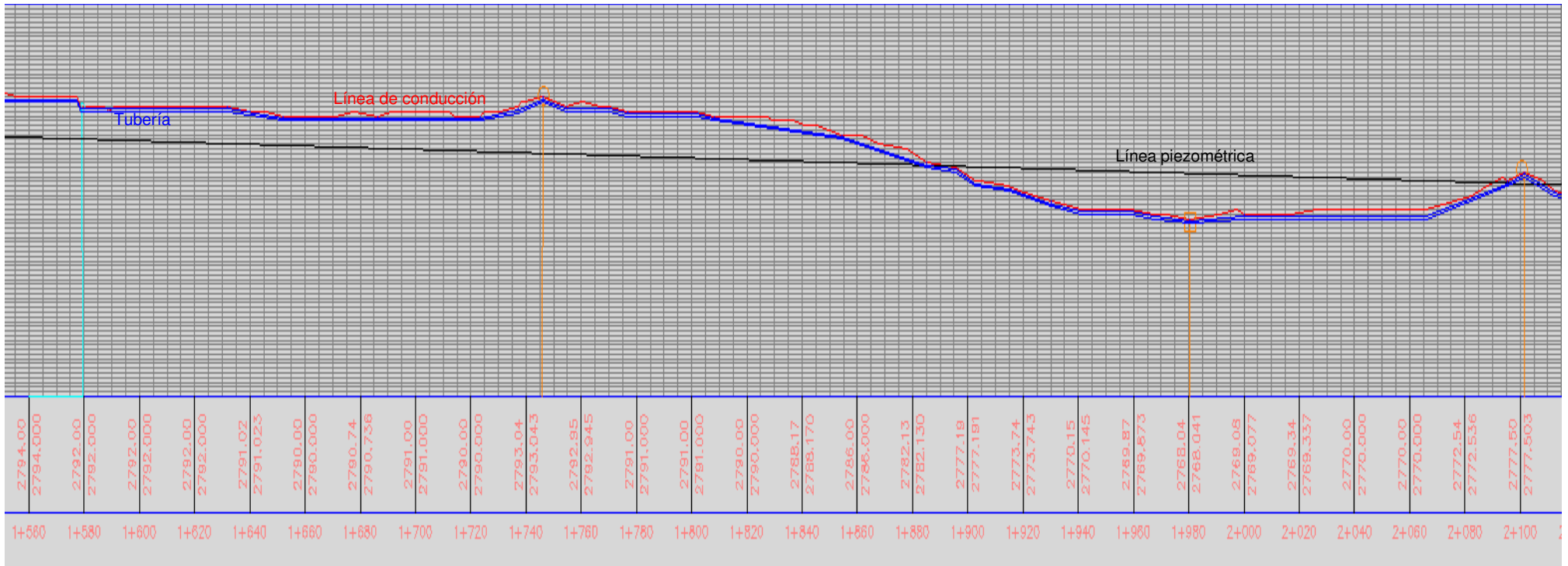
Perfil 2: Desde 300 m hasta 640 m de la conducción



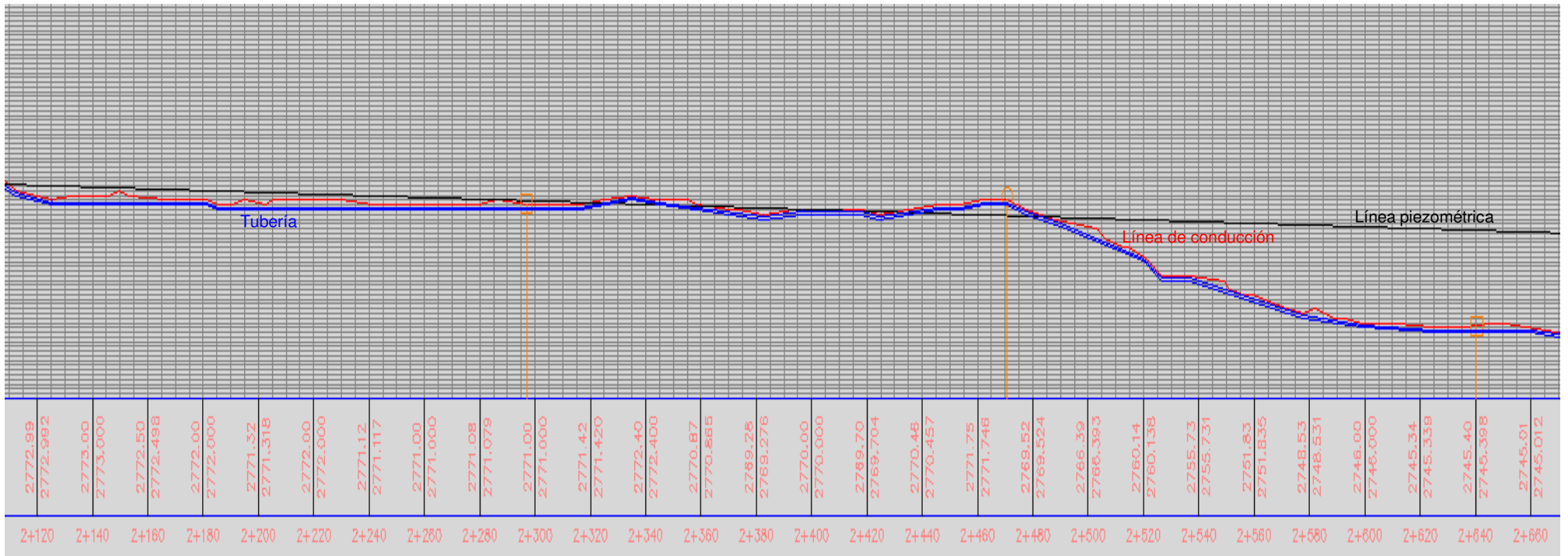
Perfil 3: Desde 640 m hasta 980 m de la conducción



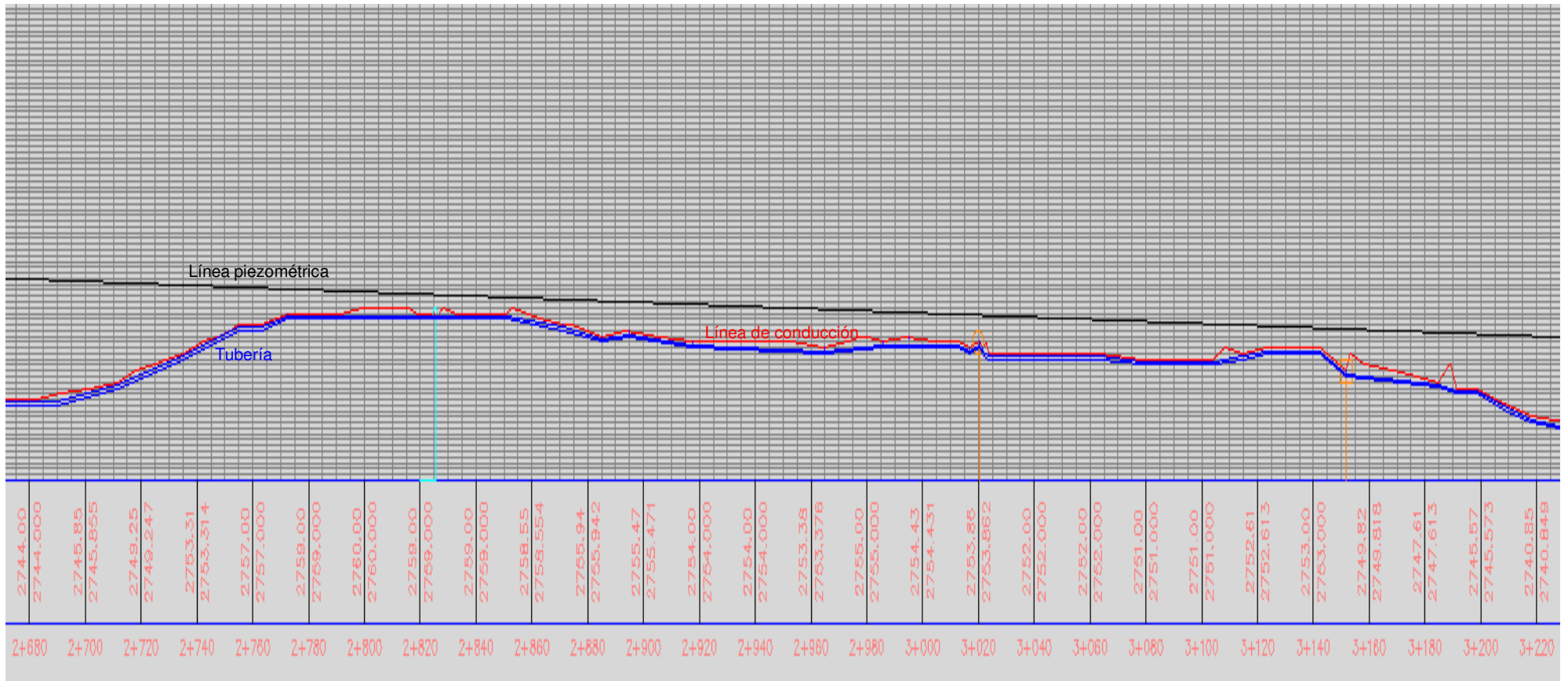
Perfil 4: Desde el kilómetro 1.0 hasta el kilómetro 1.54 de la conducción



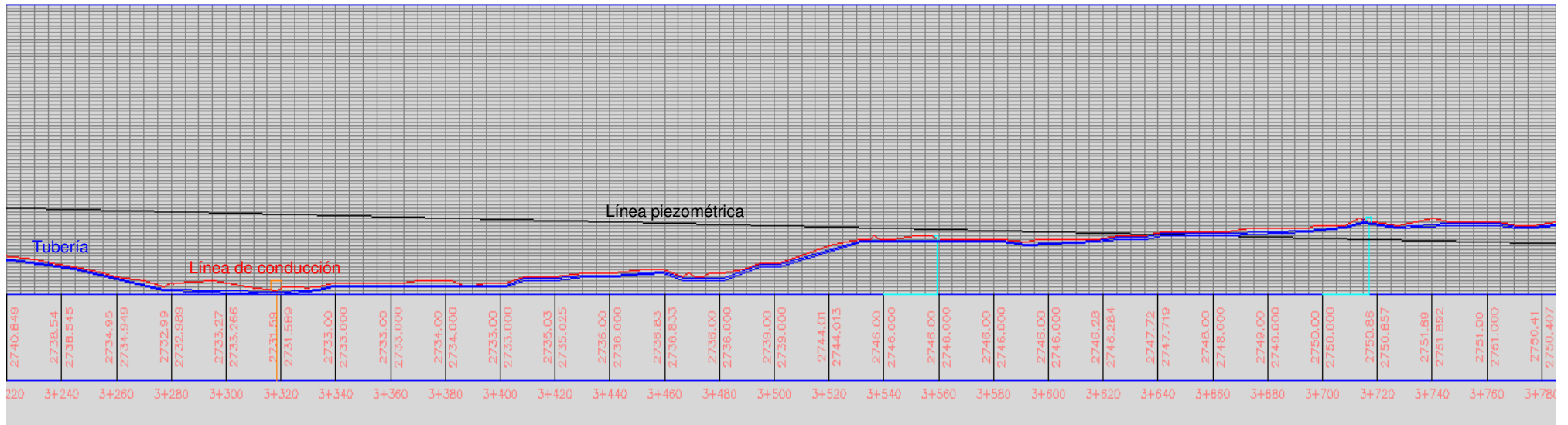
Perfil 5: Desde el kilómetro 1.54 hasta el kilómetro 2.1 de la conducción



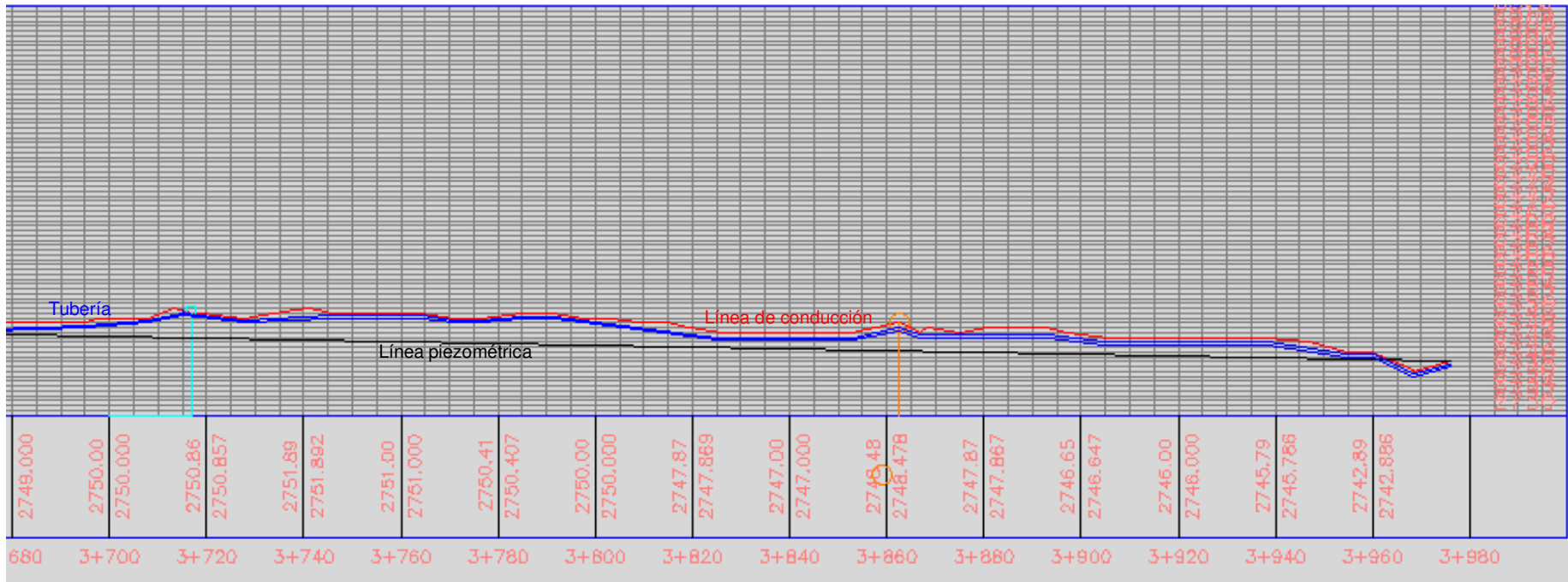
Perfil 6: Desde el kilómetro 2.1 hasta el kilómetro 2.60 de la conducción



Perfil 7: Desde el kilómetro 2.80 hasta el kilómetro 3.22 de la conducción



Perfil 8: Desde el kilómetro 3.22 hasta el kilómetro 3.78



Perfil 9: Desde el kilómetro 3.78 hasta el tanque distribuidor