

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE TUBERÍAS EN LA LÍNEA  
DE CONDUCCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUA CATA CATAS AL DISTRITO ILO, MOQUEGUA, 2022”**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. PABLO BRENT BEJAR ORELLANA**  
**Bach. RODRIGO WILLIAN GERÓNIMO CONDORI**

**TACNA – PERÚ**

**2022**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**“EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE TUBERÍAS EN LA LÍNEA  
DE CONDUCCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUA CATA CATAS AL DISTRITO ILO, MOQUEGUA, 2022”**

**Tesis sustentada y aprobada el 04 de junio del 2022, estando el jurado  
calificador integrado por:**

**PRESIDENTE : Mtro. ULIANOV FARFÁN KEHUARUCHO**

**SECRETARIA : Mtra. ELIANA NANCY CHAMBILLA VELO**

**VOCAL : Mtra. ELVIRA ALVARADO AMONES**

**ASESOR : Mtro. JIMMY YURY SILVA CHARAJA**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros; Pablo Brent Bejar Orellana identificado con documento de identidad 46481907 y Rodrigo Willian Gerónimo Condori identificado con documento de identidad 46975100 respectivamente, en calidad de bachilleres en Ingeniería Civil de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Privada de Tacna.

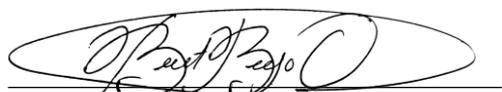
Declaramos bajo juramento que:

1. Somos autores de la tesis titulada: “*Evaluación y optimización de tuberías en la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, Moquegua, 2022*” la misma que presentamos para optar el título profesional de Ingeniero Civil.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumimos frente a *La Universidad* cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, nos hacemos responsables frente a *La Universidad* y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumimos las consecuencias y sanciones que de nuestra acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 25 de mayo del 2022.



Pablo Brent Bejar Orellana

DNI: 46481907



Rodrigo Willian Gerónimo Condori

DNI: 46975100

## **DEDICATORIA**

A Dios por su infinito amor con sus incontables bendiciones, porque a pesar de los desaciertos en mi vida he podido ver su mano constantemente, por haberme mostrado su evangelio y por brindarme lo más importante para seguir progresando, mi familia.

A mis dos padres que ya no están conmigo; Wilfredo, por su amor y haberme enseñado este camino profesional. A mi padre Dale por su ejemplo, por haberme amado, apoyado y enseñado lo que significa la felicidad junto con mi madre Sara que estuvo a mi lado en esta aventura y me regalo a mi dulce hermana Carol que me cuida. A mi abuela Rosa que me vio nacer, a mi abuelo Juan que me crio. Por último, a mi amada esposa Stefani por darme dos hermosas princesas, Avril e Ivanka que son el motivo de mi felicidad y ahínco.

**Bach. Pablo Brent Bejar Orellana**

## **DEDICATORIA**

A mis padres quienes confiaron y han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y respeto; enseñándome a valorar todo lo que tengo.

También a mis hermanos que han fomentado en mí el deseo de superación, motivación y triunfo en la vida. A ellos les dedico este presente trabajo guiándome por el buen camino a lo largo de mi vida.

**Bach. Rodrigo Willian Gerónimo Condori**

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestro asesor de tesis al Mtro. Jimmy Silva Charaja, por su tiempo y por su valioso apoyo de asesoría en el desarrollo de la tesis.

A los ingenieros civiles que realizaron la evaluación y aportaron sus conocimientos al desarrollo de la tesis como sus experiencias profesionales que fueron de utilidad para el cumplimiento de los objetivos del desarrollo de la investigación, quiénes desde un inicio mostraron su apoyo con su disponibilidad de tiempo para dar sus respuestas.

A la Universidad Privada de Tacna, a la facultad de ingeniería, a la escuela profesional de ingeniería civil y a cada uno de los docentes que nos impartieron sus enseñanzas y experiencias brindadas para formar la base de nuestro desarrollo profesional durante nuestro paso por esta casa de estudios.

Finalmente, agradecemos a los profesionales quiénes emitieron su juicio de la metodología de nuestra propuesta, basado en los años de experiencia profesional de cada uno de ellos.

**Bach. Pablo Brent Bejar Orellana**

**Bach. Rodrigo Willian Gerónimo Condori**

## ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DEL JURADO.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE GENERAL .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I : PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.1. Descripción del Problema .....	2
1.2. Formulación del Problema .....	7
1.2.1. Problema General.....	7
1.2.2. Problemas Específicos.....	7
1.3. Justificación e Importancia.....	7
1.4. Objetivos.....	9
1.4.1. Objetivo General.....	9
1.4.2. Objetivos Específicos.....	9
1.5. Hipótesis.....	9
1.5.1. Hipótesis General .....	9
1.5.2. Hipótesis Específicas.....	9
CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO .....	10
2.1. Antecedentes de Estudios .....	10
2.1.1. En el Ámbito Local .....	10
2.1.2. En el Ámbito Nacional.....	12
2.1.3. En el Ámbito Internacional .....	13
2.2. Bases Teóricas .....	15
2.2.1. Sistema de Abastecimiento de Agua.....	15
2.2.1.1. Fuente de Abastecimiento .....	15
2.2.1.2. Captación.....	15
2.2.1.3. Línea de Conducción .....	15
2.2.1.4. Planta de Tratamiento.....	17
2.2.1.5. Líneas de Impulsión.....	17
2.2.1.6. Reservorio .....	18

2.2.1.7 Red de Distribución.....	21
2.2.1.8. Sifón Hidráulico.....	21
2.2.2. Consideraciones de Diseño .....	21
2.2.2.1. Fórmula de Hazen y Williams.....	21
2.2.2.2. Ecuación de Darcy y Weisbach.....	21
2.2.2.3. Fórmula de Manning .....	22
2.2.2.4. Caudal de Diseño .....	22
2.2.2.5. Presiones de Diseño.....	23
2.2.2.6. Tipos de Tuberías .....	23
2.2.2.6.1. Tubería de Acero .....	23
2.2.2.6.2. Tubería de Hierro Fundido .....	24
2.2.2.6.3. Tubería de Hierro Galvanizado .....	24
2.2.2.6.4. Tubería de Concreto .....	24
2.2.2.6.5. Tubería de HDPE.....	24
2.2.2.7. Fenómenos Físicos en Tuberías.....	25
2.2.2.7.1. Cavitación .....	25
2.2.2.7.2. Aire en las Tuberías.....	26
2.2.2.7.3. Pérdida de Carga.....	26
2.2.2.7.4. Golpe de Ariete .....	26
2.2.3. Diseño Hidráulico.....	27
2.2.4. Software Watergems .....	28
2.3. Definición de Términos .....	28
2.3.1. Altimetría .....	28
2.3.2. Afectaciones .....	28
2.3.3. Aspectos Socioeconómicos .....	28
2.3.4. Carga Disponible .....	29
2.3.5. Caudal .....	29
2.3.6. Cámara Rompe Presión.....	29
2.3.7. Calidad del Agua por Conducir .....	29
2.3.8. Cota de Terreno.....	29
2.3.9. Cota Piezométrica.....	29
2.3.10. Cruzamientos.....	30
2.3.11. Diámetro Mínimo.....	30
2.3.12. Geotecnia .....	30
2.3.13. Línea de Gradiente Hidráulica.....	30
2.3.14. Pérdida de Carga.....	30
2.3.15. Pérdida de Carga Unitaria (hf) .....	30

2.3.16. Pérdida por Tramo ( $H_f$ ) .....	31
2.3.17. Presiones.....	31
2.3.18. Suministro e Instalación de Tuberías .....	31
2.3.19. Topografía .....	31
2.3.20. Tuberías .....	31
2.3.21. Ubicación.....	32
2.3.22. Válvulas .....	32
2.3.23. Válvulas Reductoras de Presión .....	32
2.3.24. Válvulas Eliminadoras de Aire.....	32
2.3.25. Velocidad.....	32
<b>CAPÍTULO III : MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>33</b>
3.1. Tipo y Nivel de Investigación .....	33
3.1.1. Tipo de Investigación .....	33
3.1.2. Nivel de Investigación .....	33
3.2. Población y/o Muestra de Estudio.....	33
3.2.1. Población de Estudio .....	33
3.2.2 Muestra de Estudio .....	33
3.3. Operacionalización de Variables.....	36
3.3.1. Identificación y/o Caracterización de Variables .....	36
3.3.1.1. Variable Independiente .....	36
3.3.1.2 Variable Dependiente.....	37
3.4. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos.....	37
3.4.1. Técnicas para la Recolección de Datos .....	37
3.4.1.1. Microsoft Office Excel 2021 .....	37
3.4.1.2. AutoCad 2020.....	37
3.4.1.3. Microsoft Office Word 2021.....	38
3.4.1.4. Google Earth.....	38
3.4.1.5. Wáter Gems V8I .....	38
3.4.2. Instrumentos para Recolección de Datos.....	38
3.4.2.1. Hoja de Registro de Datos .....	38
3.4.2.2. Manómetro.....	38
3.4.2.3. Data Logger .....	39
3.4.2.4. Medidor de Caudal Portátil.....	39
3.4.2.5. Plano de Línea de Conducción .....	39
3.5. Procesamiento y Análisis de Datos.....	39
3.5.1. Evaluación y Modelamiento Hidráulico de la Línea de Conducción.....	39

CAPÍTULO IV : RESULTADOS .....	46
4.1. Evaluación de la Línea de Conducción con Modelamiento Hidráulico.....	46
4.1.1. Evaluación y Optimización para el Tramo I .....	46
4.1.1. Evaluación y Optimización para el Tramo II .....	51
4.1.3. Evaluación y Optimización para el Tramo III .....	55
4.1.4. Evaluación y Optimización para el Tramo IV .....	59
4.2. Perfil General de la Línea de Conducción Cata Catas .....	63
4.2.1. Cuando el Sistema se encuentra Vacío .....	63
4.2.2. Cuando el Sistema se encuentra Presurizado .....	63
4.2.3. Reducción de Presión de la Infraestructura Hidráulica.....	70
4.2.3.1. Propuesta Técnica para Reducir la Fatiga .....	72
CAPÍTULO V : DISCUSIÓN.....	75
CONCLUSIONES.....	77
RECOMENDACIONES.....	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
ANEXOS .....	82
Matriz de Consistencia.....	82

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Descripción de las líneas de conducción por gravedad.....	17
Tabla 2. Velocidades máximas para tuberías comerciales.....	27
Tabla 3. Cuadro de operacionalización de variables.....	36
Tabla 4. Datos y características para subir al software para el tramo I .....	41
Tabla 5. Datos y características para subir al software para el tramo II .....	41
Tabla 6. Datos y características para subir al software para el tramo III .....	42
Tabla 7. Datos y características para subir al software para el tramo IV .....	43
Tabla 8. Cuadro resumen de datos para tuberías del tramo I .....	49
Tabla 9. Presiones y gradiente hidráulico del tramo I.....	50
Tabla 10. Cuadro resumen de datos para tuberías del tramo II .....	54
Tabla 11. Presiones y gradiente hidráulico del tramo II.....	54
Tabla 12. Cuadro resumen de datos para tuberías del tramo III .....	58
Tabla 13. Presiones y gradiente hidráulico del tramo III.....	58
Tabla 14. Cuadro resumen de datos para tuberías del tramo IV .....	61
Tabla 15. Presiones y gradiente hidráulico del tramo IV .....	62
Tabla 16. Presiones y gradiente hidráulico para la línea de conducción .....	65
Tabla 17. Resultados del cálculo en nodos de la línea de conducción.....	67
Tabla 18. Coordenadas para la ubicación de las válvulas de aire.....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Línea de conducción de agua tratada .....	2
Figura 2. Reporte de roturas de la línea de conducción .....	3
Figura 3. Rotura en la línea de conducción zona alto Ilo-chalaca .....	3
Figura 4. Rotura en la línea de conducción zona alto Ilo-arenal.....	4
Figura 5. Rotura de la línea de conducción zona Kennedy .....	4
Figura 6. Rotura de la línea de conducción zona Miramar .....	5
Figura 7. Aniego en zona de alto Ilo producto de rotura.....	5
Figura 8. Zonas de mayor incidencia de roturas .....	6
Figura 9. Puntos de roturas en línea de conducción .....	6
Figura 10. Rotura en la línea de conducción zona alto Ilo.....	8
Figura 11. Reservorio R-2 ubicado en la zona alto Ilo.....	18
Figura 12. Reservorio R-3 ubicado en la parte alta de Miramar .....	19
Figura 13. Reservorio R-4 ubicado en el pueblo joven Miramar.....	20
Figura 14. Recorrido de la línea por los reservorios.....	20
Figura 15. Puntos de roturas de tuberías por golpe de ariete .....	26
Figura 16. Perfil hidráulico con elevaciones de la línea.....	34
Figura 17. Trazo de la línea de conducción .....	35
Figura 18. Migración de la base de datos al software .....	40
Figura 19. Datos con variables de campo cargados al software .....	40
Figura 20. Corriendo el software para el modelamiento.....	42
Figura 21. Línea de conducción en la zona ZED.....	44
Figura 22. Determinación de los tramos a analizar en los resultados.....	44
Figura 23. Perfil general del modelamiento hidráulico.....	45
Figura 24. Línea de conducción para el tramo I .....	46
Figura 25. Perfil hidráulico de la línea para el tramo I .....	47
Figura 26. Perfil hidráulico de la zona crítica del tramo I .....	48
Figura 27. Línea de conducción para el tramo II .....	51
Figura 28. Perfil hidráulico de la línea para el tramo II .....	52
Figura 29. Perfil hidráulico de la zona crítica para tramo I y tramo II .....	53
Figura 30. Línea de conducción para el tramo III .....	55
Figura 31. Perfil hidráulico para el tramo III.....	56
Figura 32. Zona crítica del tramo III.....	57
Figura 33. Línea de conducción para el tramo IV.....	59
Figura 34. Perfil hidráulico para el tramo IV .....	60
Figura 35. Perfil hidráulico general de la línea .....	64

Figura 36. Ruta de la línea desde el embalse .....	69
Figura 37. Diagrama de presiones .....	70
Figura 38. Perfil hidráulico resultante .....	71
Figura 39. Válvula eliminadora de aire .....	72
Figura 40. Calculo simple para determinar el diámetro .....	73
Figura 41. Identificación de tramo critico a renovar .....	74
Figura 42. Formación de aire en tuberías .....	74

## RESUMEN

Esta investigación aborda el tema de evaluación y optimización de tuberías en la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo en la región de Moquegua, debido principalmente a las reincidentes roturas de tuberías en distintos tramos de su recorrido, esto genera un volumen considerable de pérdidas de agua potable contribuyendo con los elevados índices de agua no facturada que actualmente se encuentra en 48%, además de restricciones de servicio y daños causados en la infraestructura vial. El objetivo fundamental fue realizar un modelamiento hidráulico de la línea de conducción de agua tratada desde la planta I (Cata Catas) al distrito de Ilo, a fin de evaluar y optimizar el comportamiento hidráulico de esta y determinar alternativas de solución ante su problemática descrita en este informe. Se inició con un análisis de la línea de conducción estableciendo cuatro tramos donde se encuentran picos de máxima presión estática y dinámica de hasta 91 metros de columna de agua. Posteriormente se procedió con el modelamiento hidráulico del sistema de distribución por medio de la aplicación del programa Watergems y la simulación de la línea de conducción con una operación de llenado de reservorios, con el cual se definió el comportamiento de la infraestructura como un sistema, la forma en que reacciona ante las estrategias operativas y cómo debe crecer a medida que aumenta la población y las demandas. Debemos tener en cuenta es que el software Watergems o Epanet modela sistemas hidráulicos presurizados, estos softwares no reconocen sistemas o subsistemas que no se encuentren presurizados, es por ello por lo que es necesario que las evaluaciones hidráulicas sean realizadas por ingenieros con criterio técnico que sepan analizar los resultados y evaluarlos. Se planteo una metodología con enfoque cuantitativo, de alcance explicativo y de diseño de campo. El desarrollo de la perspectiva teórica se basó en la revisión de estudios de diseño hidráulico para líneas de conducción e investigaciones previas realizadas. De acuerdo con el análisis realizado se concluye que; para poder optimizar el funcionamiento de la línea de conducción de agua potable cata catas hacia el distrito Ilo, es necesario realizar mejoras físicas a partir de la instalación de nuevas tuberías con materiales y clases más resistentes, así como la instalación de válvulas de aire en tramos críticos de esta tubería.

**Palabras claves:** Pérdidas, Modelación Hidráulica, Presión Estática, Presión Dinámica, Válvula de Aire, Watergems, Optimizar.

## ABSTRACT

This research addresses the issue of evaluation and optimization of pipes in the conduction line of the Cata Catas water treatment plant in the Ilo district in the Moquegua region, mainly due to recurrent pipe breakages in different sections of its route, this It generates a considerable volume of drinking water losses, contributing to the high rates of non-revenue water, which currently stands at 48%, in addition to service restrictions and damage caused to road infrastructure. The fundamental objective was to carry out a hydraulic modeling of the treated water conduction line from plant I (Cata Catas) to the district of Ilo, to evaluate and optimize its hydraulic behavior, and determine alternative solutions to its problems described in this report. It began with an analysis of the conduction line establishing four sections where peaks of maximum static and dynamic pressure of up to 91 meters of water column are found. Subsequently, the hydraulic modeling of the distribution system was carried out through the application of the Watergems program and the simulation of the conduction line with a reservoir filling operation, with which the behavior of the infrastructure as a system was defined, the how it reacts to operating strategies and how it should grow as population and demands increase. We must consider that the Watergems or Epanet software models pressurized hydraulic systems, this software does not recognize systems or subsystems that are not pressurized, that is why it is necessary that the hydraulic evaluations are carried out by engineers with technical criteria who know analyze the results and evaluate them. A methodology was proposed with a quantitative approach, with an explanatory scope and field design. The development of the theoretical perspective was based on the review of hydraulic design studies for pipelines and previous research carried out. According to the analysis carried out, it is concluded that; To optimize the operation of the Cata Catas drinking water pipeline to the Ilo district, it is necessary to carry out physical improvements by installing new pipes with more resistant materials and classes, as well as installing air valves in sections critical of this pipeline.

**Key words:** Losses, Hydraulic Modeling, Static Pressure, Dynamic Pressure, Air Valve, Watergems, Optimize.

## INTRODUCCIÓN

Las líneas de conducción transportan agua de los reservorios desde donde se distribuye el recurso hídrico, su daño por la rotura de tuberías en el Perú es muy frecuente esto debido a incidentes en líneas de conducción, la mitad ellas generadas por un mal diseño hidráulico, otras pueden producirse por agentes externos a la tubería, por características intrínsecas del material, por operación de la red, por condiciones de la instalación y el resto por otras causas, como la antigüedad de las estructuras, dejando sin este servicio vital a innumerables familias. La ciudad de Ilo cuenta con dos sistemas de abastecimiento siendo; el sistema Cata Catas (Planta de tratamiento I), y el sistema Pampa inalámbrica (planta de tratamiento II). El sistema Cata Catas funciona a gravedad y abastece como sistema de cabecera a todo el casco urbano de la ciudad de Ilo, este sistema ha presentado deficiencias en su operación generándose una serie de colapsos provocando aniegos y cortes de servicio en la ciudad, lo cual ha generado y seguirá generando fallas en la infraestructura, así mismo posee tramos con infraestructura obsoleta, que debe renovarse para extender su tiempo de uso. Esta investigación pretende evaluar medidas a corto plazo para mitigar los riesgos de colapsos y rotura de tuberías en dicha infraestructura hidráulica, por ello, se planteó el siguiente objetivo general; optimización operativa de la línea de conducción proveniente del sistema de agua tratada a partir de la elaboración de un modelamiento hidráulico. Por consiguiente, para el cumplimiento del objetivo se aplicó una metodología de tipo explicativo, con enfoque cuantitativo transversal para comprender e interpretar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones, así encontrar las causas del problema. De acuerdo con los resultados se recomendó hacer el cambio tuberías y válvulas de aire que permitirá gestionar adecuadamente los eventos críticos.

El presente estudio cuenta con cinco capítulos; en el capítulo I se realizó el planteamiento, justificación, los objetivos e hipótesis para el estudio y el posterior análisis de la línea de conducción estableciendo tramos para el análisis. En el capítulo II presenta los antecedentes de la investigación, así como las bases teóricas y definición de términos. Para el capítulo III se informa el procedimiento a emplear que comprende; el estudio de la población y muestra, operacionalización de variables, tipo, nivel de investigación y técnicas para la recolección de datos. En el capítulo IV, se presenta los resultados obtenidos con las simulaciones del Software para el modelamiento hidráulico. Finalmente, en el capítulo V se presenta las discusiones alusivas al tema con relación a los objetivos planteados, antecedentes e hipótesis desarrolladas.

## CAPÍTULO I : PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción del Problema

La entidad prestadora de servicios de agua potable en la ciudad de Ilo (EPS Ilo S.A) es la encargada de captar el agua cruda de las fuentes Pasto Grande e Ite para procesarla y abastecer a la población a través de las redes de distribución.

En el proceso de distribución de agua potable a partir de la planta de tratamiento se tiene una tubería (Línea de conducción) con aproximadamente 15 kilómetros de longitud, de diámetros desde 200 hasta 800 milímetros de material Policloruro de Vinilo (PVC), que se encarga de transportar el agua potable hacia los reservorios, y sectores urbanos de distribución de agua potable (ver figura 17).

Esta tubería ha presentado una serie de roturas en distintos tramos de su recorrido, siendo esto un gran problema para la empresa prestadora de servicios (EPS Ilo S.A) y para la población, debido a las restricciones de servicio, y los daños causados en la infraestructura vial.

#### Figura 1

*Línea de conducción de agua tratada*

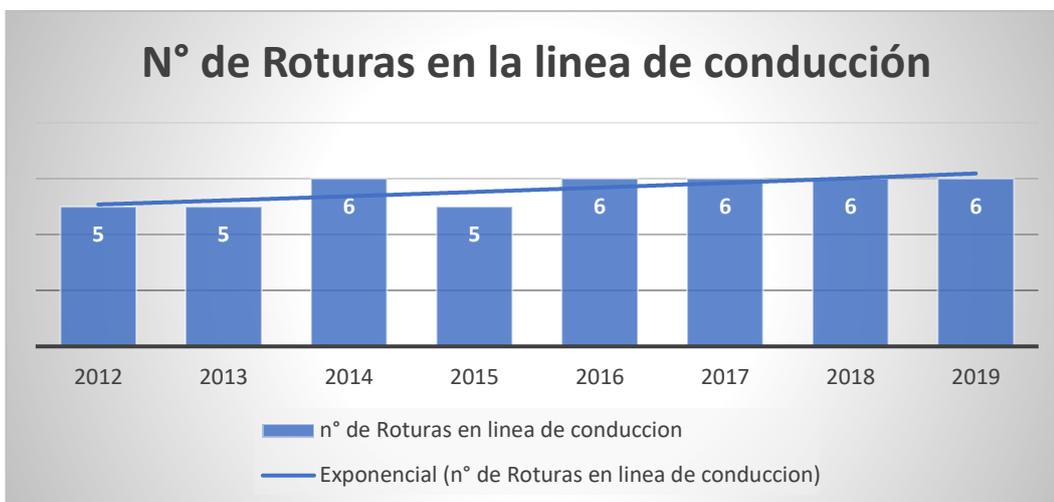


*Nota.* Obtenido de Google Earth (2020)

Analizando el histórico de roturas en la línea de conducción de agua potable se ha detectado que desde el año 2012 hasta el presente se han venido generando roturas en diversos tramos de la línea de conducción, con un promedio de 6 veces por año, como lo reporta el área de mantenimiento de la EPS Ilo S.A.

## Figura 2

*Reporte de roturas de la línea de conducción de Cata Catas desde el año 2012 hasta 2019*



*Nota. Obtenido del área de mantenimiento de redes de la EPS Ilo S.A.*

Estas roturas en la línea de conducción generan un volumen considerable de pérdidas de agua potable contribuyendo esto con los elevados índices de agua no facturada (ANF) que actualmente se encuentra en 48% (fuente: EPS Ilo S.A).

Las incidencias en daños de la infraestructura hidráulica se dieron en las zonas de alto Ilo (ver figuras 3 y 4), Kennedy (ver figura 5) y Alto Ilo (ver figura 6), además de provocar anegamientos en las zonas bajas de estos sectores (ver figura 7), generando serios daños en la infraestructura vial y conflictos sociales con la población.

## Figura 3

*Rotura en línea de conducción en la zona alto Ilo-chalaca*



*Nota. Obtenido de EPS Ilo S.A. (2021).*

**Figura 4**

*Rotura en línea de conducción en la zona alto Ilo-arenal*



*Nota. Obtenido de EPS Ilo S.A. (2021).*

**Figura 5**

*Rotura de línea de conducción en la zona Kennedy*



*Nota. Obtenido de EPS Ilo S.A. (2021).*

**Figura 6**

*Rotura de línea de conducción en la zona Miramar*



*Nota.* Obtenido de EPS Ilo S.A. (2021).

Según los antecedentes de roturas en la línea de conducción de agua tratada que inicia desde la planta de tratamiento Cata Catas, se identificó que la mayor incidencia de roturas se da en las zonas de alto Ilo y Kennedy como se muestra en la figura 7.

**Figura 7**

*Aniego en la zona de alto Ilo producto de la rotura de línea de conducción*



*Nota.* Obtenido de EPS Ilo S.A. (2021).

En la figura 8 se aprecia esquemáticamente la ubicación de la línea de conducción que inicia desde la planta de tratamiento Cata Catas, así como también se puede ver la zona crítica mostrada en alto Ilo y Kennedy.

**Figura 8**

*Zonas de mayor incidencia de roturas en la línea de conducción*

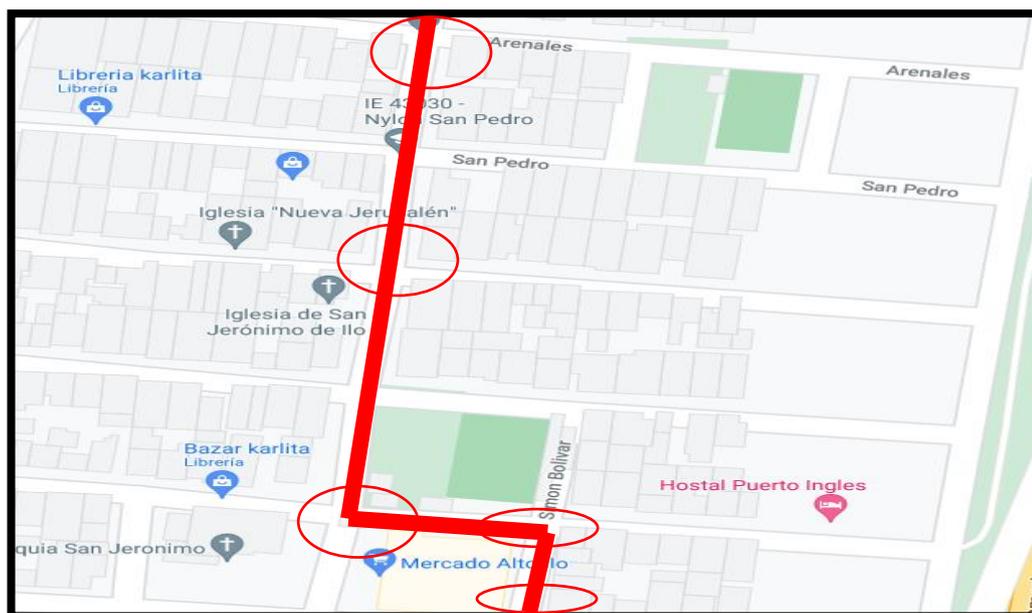


Nota. Obtenido de Google Earth (2020)

En la figura 9 se muestran los puntos donde ocurrieron la mayor cantidad de incidentes de roturas en la línea de conducción de agua tratada.

**Figura 9**

*Puntos de roturas en línea de conducción*



Nota. Obtenido de Google Maps (2020)

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿Cuál será el efecto de la evaluación y optimización de tuberías en la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, Moquegua, 2022?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- a. ¿Cuál es el diagnóstico del comportamiento de la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, Moquegua, 2022?
- b. ¿Cómo optimizar la línea de conducción mediante tuberías adecuadas en la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, Moquegua, 2022?
- c. ¿Cómo es el modelamiento hidráulico de la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, Moquegua, 2022?

## **1.3. Justificación e Importancia**

El desconocimiento del comportamiento del sistema hidráulico impacta directamente en los efectos negativos de las malas maniobras que puedan generarse en su operación.

Esto implica que no se puedan tener respuestas efectivas ante las fallas presentadas en la infraestructura hidráulica.

El tema particular de la línea de conducción de agua tratada conjunto al problema anterior que es uno de los más graves detectados en el sistema de producción y distribución de agua potable en la ciudad de Ilo, es en la línea de conducción de agua tratada, esta ha presentado deficiencias en su funcionamiento las cuales, se manifiestan como fugas de agua aflorando en la superficie del terreno, es por ello que se requiere un análisis integral a fin de poder determinar los factores que provocan las constantes fallas en su infraestructura, ya que las constantes roturas generan un sin fin de pérdidas de agua para la empresa prestadora de servicios.

Estas fugas producto de las roturas han generado serios conflictos entre la entidad prestadora de servicios y la población, ya que en muchos casos estas fugas, han provocado aniegos y éstos han llegado a ingresar a las viviendas.

Las constantes fallas a través de los años vienen generando un sinfín de pérdidas de agua para la entidad como la reportada el mes pasado el día 6 de mayo (figura 10), a consecuencia de esto, pérdidas económicas, incrementado las labores operacionales de mantenimiento correctivo.

Es por ello por lo que surge la necesidad de tomar una medida (modelamiento hidráulico), que permita evaluar, el comportamiento de la línea de conducción en condiciones típicas, y a partir de esto identificar los efectos negativos que puedan estar impactando en su operación.

Por otro lado, a partir de ello proponer alternativas que permitan optimizar la operación de esta línea de conducción y moderar los impactos negativos que se presentan en la actualidad.

### **Figura 10**

*Rotura en línea de conducción en la zona alto Ilo reportada el 6 de mayo 2022*



## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Proponer la optimización de tuberías mediante la evaluación de la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, Moquegua, 2022.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- a. Evaluar el comportamiento de la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, Moquegua, 2022.
- b. Optimizar la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua cata catas al distrito Ilo, mediante tuberías adecuadas.
- c. Realizar un modelamiento hidráulico de la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, Moquegua, 2022.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis General**

Mediante la evaluación de tuberías se optimizará y reducirá las roturas en la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, Moquegua, 2022.

### **1.5.2. Hipótesis Específicas**

- a. La línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito de Ilo, presenta roturas en zonas bajas provocando aniegos.
- b. Si se emplea tuberías adecuadas, se optimiza la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo.
- c. El modelamiento hidráulico de la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, permitirá gestionar adecuadamente los eventos críticos.

## CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de Estudios

#### 2.1.1. En el Ámbito Local

Según Navarro y Gonzalo (2021), en su Tesis: *“Mejoramiento del modelamiento hidráulico para la sectorización de redes de agua potable de la ciudad de Ilo”*, tuvo como propósito estudiar la optimización de las redes existente de agua potable de la ciudad de Ilo y realizar un modelamiento hidráulico del sistema de agua potable verificando la eficiencia de la sectorización debido a la ubicación geográfica de la ciudad, la calidad de sus fuentes no es la más adecuada teniendo que utilizar químicos como polímeros, cal, cloro y entre otros para poder tratar el agua captada, y hacerla potable para el consumo de la población. Aunque uno de los problemas más graves detectados en el sistema de distribución de agua potable en la ciudad de Ilo, es el del agua no contabilizada o agua no facturada, debido a tuberías con un tiempo de servicio muy largo, rotura de tuberías por el tipo de material, el sistema de operación de todo el sistema, la calidad en elegir la mano de obra y errores en la medición.

Concluyendo que el objetivo planteado se cumplió logrando una sectorización del sistema de distribución dividiéndolo en subáreas de influencia, para así poder tener un mejor control del sistema de distribución de agua potable. Se logró realizar el objetivo con la modelación hidráulica mediante la división de las zonas obteniendo así 9 zonas que cuentan con presiones desde 10 metros de columna de agua la mínima y 35 metros de columna de agua la máxima, ya aceptables encontrándose estas dentro del rango mínimo y máximo.

Según Ticona (2019), en su Tesis: *“Reducción de pérdidas y agua no contabilizada del sector IIB en la ciudad de Ilo”*, se elaboró un modelo hidráulico a fin tener una instrumento para resolver las pérdidas de agua del sector del sector II-B de la ciudad de Ilo por conducto de la establecimiento de un balance hídrico, lo que permitió evaluar caudales mínimos nocturnos y redujo las presiones que causaban desequilibrio hídrico esto por conducto de la instalación de válvulas reductoras de presión a doble consigna. Ya que el distrito de Ilo no cuenta con fuentes de agua propia por lo que tiene que supeditarse de las fuentes de Ite proveniente del río Locumba (Tacna) que proporciona un gasto calculado de 100 a 150 l/s. y del río Osmore proveniente de la represa Pasto grande (Moquegua) que proporciona un gasto aproximado de 200 a 250 l/s. En la situación donde fallara alguna de estas

fuentes generaría un problema de desequilibrio hídrico en la ciudad de Ilo, ya que hasta este momento no se cuenta con otra fuente de agua alternativa haciendo vulnerable el abastecimiento para la distribución de agua e impidiendo garantizar el continuo flujo de agua potable a la toda la región de Ilo. En la época de estiaje radica el principal problema cuando las pérdidas de agua son más visibles reflejándose en la carencia de abastecimiento de agua potable en la región. El modelo hidráulico se utilizó como un instrumento para realizar el análisis de mejora para el sector IIB con la rehabilitación de válvulas reductoras de presión se redujo la presión estática y presión promedio, también se redujo los gastos de fuga.

Donde se concluyó que era factible aminorar las pérdidas de agua potable por lo que, a menos presión menor gasto de fuga. El Índice de pérdidas del suministro de abastecimiento de agua potable de la zona IIB de la ciudad de Ilo que se evaluó, se analizó y se determinó que las pérdidas de agua son igual al 41,94%, pérdidas aparentes (no físicas) es igual al 1,32% y pérdidas físicas (operacionales) es igual al 40,62%.

Según Alvarado y Cauna (2019), en la Tesis titulada: *“Análisis del índice de pérdidas para mejorar el sistema de abastecimiento de agua potable del sector VI de la ciudad de Tacna”*, cuyo propósito esencial era examinar las pérdidas de agua para abonanzar el sistema de abastecimiento de agua potable del sector VI de la región de Tacna, este análisis planteó hacer un balance hídrico del sector consiguiendo observar y analizar las pérdidas de agua según esta metodología y su clasificación. Determinando así y el índice de pérdidas del sistema de abastecimiento de agua potable de la zona VI de la región de Tacna, también se pudo identificar los índices de pérdidas mediante indicadores de niveles apoyados en el balance hídrico propuesto por el IWA, modificando las propiedades del sistema de abastecimiento de la zona VI.

Concluyendo en los porcentajes de índices de pérdidas propios de cada uno de los elementos para el balance hídrico, donde se determinó los porcentajes siguientes; el agua no facturada formada por: consumo no facturado medido (0%), consumo no facturado no medido (0,02%), consumo no autorizado (4,65%), agua facturada conformada por consumo facturado medido (60,62%) y el consumo facturado no medido (13,11%), error de la micro medición y la inexactitud en el manejo de los datos (9,55%), fugas en tuberías de distribución o líneas importantes (6,03%) y fugas en el empalme de servicio hasta el punto del medidor del usuario (6,03%).

### **2.1.2. En el Ámbito Nacional**

Según Prudencio (2015), en la Tesis titulada: *“Modelo de simulación de líneas de conducción e impulsión del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Cerro de Pasco”*, estudia las fuentes de abastecimiento que se encuentran a la misma altura o más bajo situación en la que se encuentra la ciudad de Cerro de Pasco lo que señala que por gravedad no será factible que llegue más simplemente el líquido elemento hacia la población que tendría que ser proveída las veinticuatro horas del día con agua, para ello se propuso un diseño de línea de conducción por gravedad con tuberías a presión diseñando para un largo superior a los 34 kilómetros que empezó desde la captación que es la laguna Acucocha a 4490 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) hasta la planta de tratamiento de agua potable proyectado en el cerro Uliachin a unos 4450 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) de altitud.

Se efectuó una simulación para el modelamiento de la línea de conducción que empezó primero desde la recogida hasta la planta de tratamiento utilizando el software Watercad y la segunda simulación de la línea de impulsión desde la planta de tratamiento hasta los reservorios con el mismo software. La investigación termino concluyendo que el agua de la captación llego con una presión dinámica 4.29 metros de columna de agua al cerro Uliachin donde se concibió la ubicación de la planta de tratamiento para ello se usó la tubería “PVC o 500”, esta garantiza la menor perdida de carga por rozamiento además es la más económica y no padece de corrosión debido a los suelos con muchos minerales por todo el trayecto, con la única especificación que para un tramo pequeño de 8 kilómetros se tuvo que utilizar como material para la tubería de “hierro dúctil” por el aumento alto de presión dinámica en este tramo.

Según Albarrán (2019), en la Tesis Titulada: *“Evaluación de los sistemas de abastecimiento de agua potable de la localidad de Shirac, San Marcos, Cajamarca”*, propuso como objetivo principal la evaluación de los sistemas de abastecimiento de agua potable los cuales funcionan de forma independiente, ubicado en Bellavista y San Sebastián, de la localidad de Shirac. Distrito de José Manuel Quiroz, provincia de San Marcos región de Cajamarca. El estudio se enfocó principalmente en hacer una valoración hidráulica de cada uno de los sistemas para el cual se utilizó el software Watercad, verificando las presiones con datos recolectados hechos en campo. Se determino el caudal de consumo realizando las mediciones respectivas. Para la evaluación se utilizaron dos componentes principales como la infraestructura para el diagnóstico y operación, así como la administración de los indicadores que permitieron obtener una valoración del funcionamiento de cada sistema, con los

resultados obtenidos se dio un peso porcentual para infraestructura que es diagnóstico y cálculo de un 60% y para gestión de un 40%.

Donde se concluye que en ambos sistemas existen zonas con presiones muy altas para las viviendas perjudicando a la población y la administración, subiendo gastos de mantenimiento. Para terminar, el análisis de los sistemas de abastecimiento de agua potable determino que son defectuoso y que requiere realizar un reestructurado hidráulico, así mismo una mejora de la prestación del servicio en base a capacitación a autoridades y trabajadores técnicos como la implementación de procesos de fortalecimiento.

Según Seminario y Tantajulca (2019), en la Tesis titulada: *“Evaluación de las pérdidas de carga en una línea de conducción de agua, caserío los huertos, Huanchaco, Trujillo, La libertad”*, cuyo objetivo claro fue el de reducir las pérdidas de carga haciendo un comparativo de diseños para verificar donde hay menos pérdidas de presión, utilizando estudios importantes tales como; de Hazen y Williams, Darcy y Weisbech. También se realizó una observación de la condición del agua y la topografía del sector por donde se trazó el diseño de la línea de conducción previamente identificado desde el sitio de captación hacia el sitio de almacenaje esto para poder conocer qué clase de tuberías y diámetros se iban a utilizar en la línea de conducción, evitando lugares donde sea preciso el empleo de accesorios y de esa forma reducir las pérdidas de cargas.

La investigación concluye que la fórmula modificada de Hazen y Williams que se encuentra en la norma técnica de diseño incrementa la pérdida de carga a semejanza de la formula general, esta última también daba un resultado parecido con la fórmula de Darcy y Weisbech. Fue muy distinta la situación con las pérdidas de carga por accesorio ya que la fórmula modificada de la norma tiene un numero adimensional que la fórmula general de pérdidas de carga por accesorio, mientras menor sea el diámetro de tubería, más acrecienta la pérdida de carga.

### **2.1.3. En el Ámbito Internacional**

Según Gómez (2010), en su Tesis: *“Diseño del sistema de conducción de agua potable para el casco urbano y diseño de carretera hacia la aldea los Maldonado del municipio de Malacatancito, Huehuetenango, Guatemala”*, tuvo como propósito la planificación y diseño de un sistema de agua potable para el casco urbano del municipio de Malacatancito y el diseño de una carretera que transporta a este municipio. Se estudio a la comunidad con sus servicios básicos, ubicación, acceso, posición demográfica, topografía e hidrografía, características climáticas,

características económicas y actividad productiva.

Donde se concluye que para diseño hidráulico se intentó salir con una cota piezométrica bajo, ya que el gasto medio era pequeño para que no se sepultar en ciertas alturas elevadas, por lo que se utilizó una tubería de diámetro considerable para el diseño del sistema de abastecimiento de agua que tuvo un largo en la línea de conducción de 2,685.4 metros con tubería PVC de diámetro de 1 pulgada con presión de 160 psi (libras por pulgada cuadrada) y en la línea de distribución de 980,7 metros con dicha tubería que favorecerá a 155 habitantes.

Según Espinoza y Pérez (2006), en su Tesis: *“Evaluación y mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua potable en la localidad de El Sauce, departamento de León, Managua, Nicaragua”*, tuvo el propósito primordial de establecer las velocidades, pérdidas y presiones en línea de conducción para determinar las factibles soluciones técnicas que facultan a los pobladores tener un servicio competente para un mayor crecimiento humano, sostenible y duradero. El análisis del del sistema actual de la línea de conducción señala que esta tenía expuesta la capacidad para producir y proveer la demanda futura de corto plazo, se solucionó esta deficiencia para aumentar el almacenamiento y mejorar la red de distribución. Tomándose en cuenta las propiedades topográficas y la ubicación de los elementos del sistema de agua potable de la localidad, se propuso que el sistema fuente-tanque-red, el cual radica en la anexión de 5 pozos los que estarán operando con una capacidad de producción de 9 l/s, los cuales estarán ubicados dentro de la misma línea de conducción estos a la vez irán conectados al tanque de almacenamiento.

Se concluyo en la investigación que las presiones, velocidades y perdidas obtenidas de acuerdo con el análisis de la línea de conducción muestran una conducta que indica un conveniente funcionamiento del suministro de agua en las diferentes etapas; incluyendo los pozos imprescindibles en base a la demanda de los pobladores a lo largo del periodo de diseño.

Según Narvaez (2011), en su Tesis: *“Rehabilitación del sistema de agua potable Sambache, Salcoto y diseño de la línea de impulsión al tanque de reserva Mushuñan, Ecuador”*, tuvo como propósito evaluar y rediseñar la línea de conducción a gravedad e impulsión en tubería de asbesto y cemento, ya que cumplió con otorgar toda su vida útil para la cual fue diseñada de esta manera proponer los estudios y diseños con mejores características para la construcción de una nueva línea de impulsión a los tanques de reserva que permitiría abastecer agua potable a los pobladores en cantidad necesaria, calidad conveniente, presión solicitada y en forma incesante y sin interrupciones.

Donde se concluye el deficiente funcionamiento de la línea de conducción anterior por pérdida de caudal en su trayecto para lo cual la nueva línea de conducción será a gravedad con flujo a presión y la captación del agua será de tipo subterránea a través de una galería filtrante y su recolección será realizada mediante una estructura de hormigón implementando un sistema de desagüe y protección de la estructura contra la contaminación del agua.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Sistema de Abastecimiento de Agua**

El esquema de abastecimiento de agua es un sistema diseñado para cumplir las más elementales condiciones de calidad y cantidad del agua siendo capaz de; captar, conducir, almacenar y distribuir agua a una localidad con ciertas características especiales (Narváez, 2010).

Por lo general se conforma de las siguientes partes:

#### **2.2.1.1. Fuente de Abastecimiento**

Los principales yacimientos para el suministro son el agua superficial y el agua freática o subterránea, debe tener los requisitos mínimos de calidad y cantidad ya sea para río, laguna, manantial, pozos, agua de lluvia, etc. para ser utilizadas para el consumo humano (Narváez, 2010).

#### **2.2.1.2. Captación**

Es la parte del sistema que recoge el agua y la inyecta en la tubería, este sistema tiene el cargo de adaptar el agua y preservarla de la contaminación (Arnalich, 2008).

#### **2.2.1.3. Línea de Conducción**

Una línea de conducción puede diseñarse para trabajar por gravedad o bombeo y es la parte de la tubería que conduce agua desde la acometida hasta la planta de potabilización, o también hasta el tanque de regularización, sujetándose al tipo de configuración del sistema de agua potable. Una línea de conducción debería continuar casi siempre el perfil del terreno y tener una ubicación visible (Terán, 2012).

La distribución por gravedad es el procedimiento más recomendable si la conducción que une la fuente con la ciudad es de tamaño conveniente y está bien resguardada contra roturas accidentales para lo cual es imperativo que la fuente de abastecimiento sea un lago o un depósito y este situado en algún punto alto respecto a la ciudad, de modo que pueda conservar una presión necesaria en las tuberías principales.

Cuando el caudal adecuado del abastecimiento de agua no permite el diseño de la línea de conducción por gravedad y las condiciones de terreno sean apropiadas, se utiliza el bombeo comprendiendo dos variantes.

El primero es generalmente el método más utilizado donde se utilizan las bombas con el almacenamiento de una cierta porción de agua, cuando se utiliza este procedimiento, el derroche de agua se guarda en un tanque elevado durante los períodos de consumo bajo. Este método permite una productividad constante de la bomba y, por lo tanto, es ahorrativo, ya que las bombas pueden funcionar en condiciones excelentes.

Durante los tiempos de alto consumo, el agua guardada se utiliza para incrementar la suministrada por la bomba. Por otro lado, como el agua guardada da una reserva que se puede utilizar en casos de incendio y cuando ocurren fallas en las bombas, este sistema de manejo da una amplia seguridad.

La segunda alternativa es el uso de bombas sin depósito, en este caso las bombas meten el agua directamente en la tubería sin otra salida que la del agua realmente utilizada. Es el método menos deseable, por lo que una falla en la fuente de energía provocaría una suspensión total en el abastecimiento de agua. A medida que varía el consumo, la presión en las tuberías fluctuará fácilmente.

Si las bombas son accionadas eléctricamente, su consumo máximo es fácil de igualar al de la demanda general, lo que aumenta el costo de la energía.

En la línea de conducción de agua tratada Cata Catas la siguiente imagen sintetiza las propiedades, situación de preservación y estado de las diez líneas de conducción de agua tratada del sistema de suministro de agua potable de la EPS Ilo S.A.

Observando la tabla 1, se visualiza que las tuberías tienen una antigüedad de entre 7 a 34 años, pudiendo ser este un indicador para suponer que el problema se situaría en la antigüedad de la infraestructura que se encuentra obsoleta en algunos de sus tramos, como analizaremos en la investigación.

Sin embargo, si revisamos a detalle (LC 3), identificamos que los tramos críticos en donde suceden los colapsos se sitúan en las tuberías que tiene una antigüedad de 7 años, es decir estas se encuentran dentro de su vida útil.

**Tabla 1***Descripción de las líneas de conducción de llo por gravedad*

	Línea de Conducción Agua Tratada	Longitud	Diámetro (mm)		Material	Antigüedad (años)	Conservación	Condición
LC1	Del R-1 a Costa Azul	4 990,0	32"	-	CPT	34	Regular	Operativo
LC2	De Costa Azul al R-4	4 157,6	24"	630, 500, 355, 315 200	CPT y PVC	34 y 7	Regular/ Bueno	Operativo
LC3	Del colegio Basadre al R-2	210,0	-	250	PVC	7	Bueno	Operativo
LC4	De Av. Miramar al R-3	217,3	-	250	PVC	7	Bueno	Operativo
LC5	De PJ Kennedy al R-3	1 607,3	-	250	PVC	7	Bueno	Operativo
LC6	Del filtro rápido (provisión de pozos) al R-3	865,6	10"	-	AC	20	Regular	Inoperativo
LC7	Del filtro rápido (provisión de pozos) al R-4	240,0	8"	-	AC	20	Regular	Inoperativo
LC8	Del R-4 a Ciudad Nueva	3 160,0	12" y 8"	-	AC	16	Bueno	Operativo
LC9	Del R-8 al R- 2 (empalme Amauta)	662,0	-	200	PVC	7	Bueno	Operativo
LC10	Del R-8 al R- 3 (empalme Arenales)	1 390,0	-	315	PVC	7	Bueno	Inoperativo

*Nota.* Obtenido de división de manteniendo EPS Ilo S.A.

#### 2.2.1.4. Planta de Tratamiento

Conexiones de tratamiento unitario necesarias para depurar los abastecimientos de agua de una población (Hernández y Corredor, 2017).

#### 2.2.1.5. Líneas de Impulsión

Es la tubería que transporta el agua desde la fuente de abastecimiento hacia el reservorio mediante un sistema de bombeo utilizando los mismos tipos de tubería usada para línea de conducción (Narváez, 2010).

### 2.2.1.6. Reservorio

Son infraestructuras para reunir cierta cuantía de un volumen de agua de acuerdo con el consumo de los habitantes (Narváez, 2010).

La línea de conducción de agua Cata Catas alimenta los siguientes reservorios.

El reservorio R-2 (figura 11) ubicado en la zona Alto Ilo, es un reservorio apoyado, cuyas características son:

- Volumen : 800 m<sup>3</sup>.
- Material : Concreto armado.
- Cota de fondo : 91,15 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.)
- Tipo : Cabecera.
- Forma de base : Circular, cuyo diámetro es de 15,72 m.
- Año de construcción : 1985
- Estado de estructuras : Presenta fallas estructurales, hay fugas de agua.
- Cerco perimétrico : No tiene cerco perimétrico.
- Fuente de abastecimiento: PTAP Cata Catas.

#### Figura 11

*Reservorio R-2 ubicado en la zona alto Ilo*



*Nota.* Obtenido de EPS Ilo S.A. (2021).

El Reservoirio R-3 (figura 12) ubicado en la parte alta del pueblo joven Miramar, es un reservorio apoyado, cuyas características son:

- Volumen : 1 800 m<sup>3</sup>.
- Material : Concreto armado.
- Cota de fondo : 90,34 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.)
- Tipo : Cabecera.
- Forma de base : Circular, cuyo diámetro es de 20,40 m.
- Año de construcción : 1985
- Estado de estructuras : Malo, presenta fallas estructurales.
- Cerco perimétrico : Gran parte del cerco perimétrico está destruido.
- Fuente de abastecimiento: PTAP Cata Catas.

### Figura 12

*Reservorio R-3 ubicado en la parte alta del pueblo joven Miramar*



*Nota.* Obtenido de EPS Ilo S.A. (2021).

El reservorio R-4 (figura 13), ubicado en las instalaciones de la EPS, cuyas características:

- Volumen : 2 800 m<sup>3</sup>.
- Material : Concreto armado.
- Cota de fondo : 59,11 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.)
- Tipo : Cabecera.
- Forma de base : Circular, cuyo diámetro es de 23,4 m.
- Año de construcción : 1969
- Estado de estructuras : Presenta fallas estructurales severas.
- Cerco perimétrico : Dentro de las instalaciones de la EPS Ilo S.A.
- Fuente de abastecimiento: PTAP Cata Catas.

### Figura 13

*Reservorio R-4 ubicado en el pueblo joven Miramar parte prima*



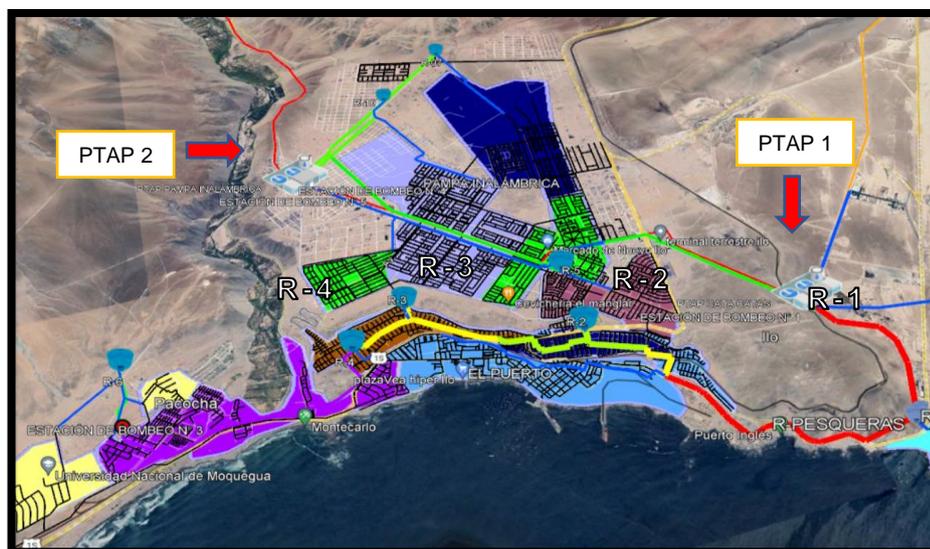
*Nota.* Obtenido de EPS Ilo S.A. (2021).

Así mismo también se encarga de abastecer a distintos puntos de la ciudad (figura 14), por tuberías auxiliares empalmadas a esta línea como:

- Casco Urbano de la ciudad de Ilo, por medio de una cámara de partición en las coordenadas. 250886.37 metros Este, 8046292.71 metros Sur.
- Bello Horizonte, por medio de un empalme a la línea de conducción en las coordenadas 251086.04 metros Este, 8046152.22 metros Sur.
- Santa Cruz, partiendo de un empalme a la línea de conducción en las coordenadas, 251388.22 metros Este. 8046290.00 metros Sur. Además de empalmes auxiliares que permanecen cerrados.

### Figura 14

*Recorrido de la línea de conducción por los reservorios R 2, R 3 y R 4*



### 2.2.1.7 Red de Distribución

Agrupación de tuberías que, partiendo del embalse de repartición y continuando su crecimiento por las zonas de la ciudad, sirven para transportar agua potable al usuario, proporcionando un buen servicio en calidad, cantidad y presión conveniente durante todo un período inicialmente considerado en el diseño (Narváez, 2010).

### 2.2.1.8. Sifón Hidráulico

Es un instrumento hidráulico que se emplea para transferir un líquido de un envase a otro. Simplemente consiste en un conducto en forma de U invertida, en el que uno de los extremos es más largo que el otro. Al igual que cuando vaciamos una cisterna, el primer codo del tubo se llena y el segundo codo actúa como un sifón, vaciando el primero hasta que baja el nivel del agua y entra algo de aire, lo que se llama presión atmosférica (Pérez y Gardey, 2016).

## 2.2.2. Consideraciones de Diseño

### 2.2.2.1. Fórmula de Hazen y Williams

Utilizada para realizar la deducción de tuberías de abastecimiento de agua. Su uso está limitado al agua en flujo turbulento, para tuberías de diámetro mayor de 2" y velocidad que no excedan de 3m/s (Rocha, 2007). Se expresa así:

$$Q = 0.000426 * C_u * D^{2.63} * S^{0.54} \quad (1)$$

$Q$ : Caudal en litros por segundo

$C_u$ : Coeficiente de Hazen y Williams

$D$ : Diámetro en pulgadas

$S$ : Pendiente de la línea de energía en metros por Kilómetros.

### 2.2.2.2. Ecuación de Darcy y Weisbach

En algunos textos el coeficiente  $f$  de Darcy se designa con la letra  $\lambda$ . Se hace uso con cálculos algebraicos sencillos. La fórmula de Darcy faculta deducir la perdida de carga  $hf$  que se manifiesta en cada tramo de tubería con longitud, diámetro y velocidad media (Rocha, 2007).

Se expresa así:

$$H_f = f + \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

$H_f$ : Energía por unidad de peso perdida por fricción

$f$ : Factor de fricción de Darcy

$L$ : Longitud del tramo de la tubería

$D$ : Diámetro de la tubería

$V$ : Velocidad media

### 2.2.2.3. Fórmula de Manning

Desarrollada principalmente para canales abiertos en tuberías lisas de polietileno de diámetros y gastos pequeños, la ecuación de Manning da excelentes frutos en la práctica. Robert Manning planteo resolver el valor de la C de Chezy con la ecuación  $C = 1/n$ . Strickler planteo la fórmula  $1/n = 21.1/e^{(1/6)}$ , donde e equivale a el espesor de la rugosidad de la pared. Es importante saber que este uso es para el régimen turbulento y no es utilizable para tubos lisos o virtualmente lisos (Pérez, 2002).

Se expresa así:

$$H_f = 10,3 * n^2 * \frac{Q^2}{D^3} * L \quad (3)$$

$Q$ : Gasto ( $m^3/s$ )

$D$ : Diámetro de tubería

$L$ : Longitud de la tubería

$n$ : Coeficiente de rugosidad de Manning

### 2.2.2.4. Caudal de Diseño

Diseñado normalmente para transportar la cantidad de agua requerida en un día máximo de dispendio, es decir, el caudal máximo periódico. Las variabilidades horarias de ese día serán consumidas por el tanque de regulación. Otra alternativa para diseñar se basa en el máximo consumo por hora del caudal máximo para la programación y la construcción del tanque de regularización. Es fundamental señalar que, para las tuberías de bombeo, se deben planificar para operar las 24 horas del día. En caso contrario, los costes de diseño deberán ajustarse a las necesidades requeridas (incrementar el caudal y, por tanto, el diámetro de la tubería).

### **2.2.2.5. Presiones de Diseño**

Las líneas de conducción trabajan bajo presión siguiendo la topografía del terreno con las tuberías. Al elaborar una línea de flujo por gravedad es importante realizar el cálculo de la línea piezométrica (línea de potencia) y la línea de gradiente hidráulica (presión + elevación). Debemos de cuidar que la línea de gradiente hidráulico esté continuamente por arriba del eje de la tubería, impidiendo así presiones negativas en la línea.

### **2.2.2.6. Tipos de Tuberías**

Un punto muy importante es la elección de la tubería para la línea de conducción, que tiene que aguantar la presión más alta que pueda manifestarse en la línea de conducción. Ya que la presión más alta no se manifiesta cuando el sistema está en ejecución, sino cuando la válvula de salida está cerrada y se incrementan las presiones hidrostáticas. Otro factor cuando las presiones se incrementan mucho presenta un golpe de ariete (por cierre repentino de una válvula o porque una bomba deja de trabajar) esto produce una sobrepresión.

Las tuberías que usualmente se emplean para la construcción de líneas de conducción son; el acero, hierro galvanizado, hierro fundido, asbesto-cemento, PVC, polietileno de alta densidad y cobre.

#### **2.2.2.6.1. Tubería de Acero**

Comercialmente los diámetros varían de 2", 4" hasta 24", y a cada 6" entre 30" y 72".

Sus virtudes son que su vida útil es extensa cuando se instala correctamente por lo que protege y mantiene, es de material fuerte y ligero para cubrir dichas características. Se aconseja su uso cuando se necesite de diámetros grandes y presiones elevadas.

El acero se agranda  $\frac{3}{4}$ " por cada 30,48 metros de longitud, cuando la temperatura se acerca a los 40°C. por lo que se necesita instalar juntas que permitan tal agrandamiento. Sus desventajas son los deterioros estructurales debido a la corrosión que son superiores que en el hierro fundido dado que sus paredes son más delgadas en este tipo de tubería.

#### **2.2.2.6.2. Tubería de Hierro Fundido**

Comercialmente los diámetros varían entre 3" y 4" en aumentos de 2" hasta 20", 24" y en acrecentamientos de 6" hasta 48". Sus longitudes comerciales para el largo estándar son de 12 ft (4 m), aunque también pueden conseguirse largos hasta de 20 ft (6 m) tolerar presiones de fábrica de hasta 350 psi (2500 kN/m<sup>2</sup>).

Este tipo de tubería tiene una duración de más de 100 años en condiciones normales de servicio por prevención a la corrosión, ya que esta no es una dificultad, porque los espesores de pared son razonablemente grandes, aunque la tubería se puede encamisar con polietileno para cuidarla de ambientes adversos.

#### **2.2.2.6.3. Tubería de Hierro Galvanizado**

Es la tubería de hierro fundido pero revestido con zinc con el principal objetivo de reducir la corrosión. Comercialmente los diámetros varían desde; 2.5, 3, 3.5, 4, 5, 6, 8 y 10 pulgadas.

Se tiene también la tubería de metal corrugado (galvanizado), la cual se usa para drenaje (alcantarillas en carreteras). El corrugado acrecienta la fortaleza de la tubería y permite disminuir su espesor de pared.

#### **2.2.2.6.4. Tubería de Concreto**

Especialmente fabricada para trabajos especiales por lo que, los diámetros singulares son razonablemente sencillos de conseguir. Accesibles en dimensiones de hasta 72" (2 m). Esta tubería está hecha para trabajar con líneas de alta presión y se fabrica con alma de acero para soportar tensión, también es fabricada para resistir presiones estáticas de hasta 400 psi (2,700 kN/m<sup>2</sup>) para este acero se excluye la elaboración de tubería de baja presión.

#### **2.2.2.6.5. Tubería de HDPE**

Fabricados de resina de polietileno de alta densidad y de alta fortaleza mecánica, también de facultad hidráulica elevada para la conducción de fluidos sin presión, hecho bajo el riguroso cumplimiento de la norma NTP ISO 4427 y sus diámetros comerciales están entre 1" hasta 36" (0.1 m a 1.0 m) sus largos estándar de 12 m. presión según PE 8 – PE100.

Sus ventajas son Ligera, de fácil instalación, cero corrosiones y sus desventajas las fisuras, alto grado de expansión y poco esfuerzo multiaxial.

Dentro de la lista de los diferentes tubos que actualmente se usan para las líneas de conducción, no se han descrito todas las características de ellos, es decir, porque la topografía del terreno y las características del lugar hacen necesario el uso de tubos muy resistentes, por eso los criterios para escoger el material adecuado son:

- Los Costos.
- Factores hidráulicos (caudales, presiones y velocidades de diseño).
- Diámetros disponibles.
- Calidad del agua y tipo de suelo.

Las sugerencias para la elección de tuberías según su material son:

- La tubería de acero es muy fuerte y la recomendación para uso es donde las presiones de diseño son elevadas. Debemos de tomar en cuenta su costo y el de las piezas importantes ya que son altos y esto incrementaría bastante el costo del proyecto por eso se sugiere la instalación de válvulas reductoras de presión.
- Las tuberías de HDPE sus propiedades son la resistencia química, buena fuerza de soldadura, baja temperatura y relativamente barato. Para las tuberías de HDPE se tiene que contemplar diámetros intermedios de hasta 400 mm.
- Se recomienda PVC o polietileno para diámetros inferiores de 150 mm. Las tuberías de plástico son livianas y de fácil instalación, además de ser fuertes ante la corrosión y tienen pequeños coeficientes de rugosidad.
- Cuando se requiera mayor resistencia a presiones o posibles hundimientos del terreno entonces se aconseja el hierro galvanizado, o bien acero para diámetros mayores.

#### **2.2.2.7. Fenómenos Físicos en Tuberías**

Dentro de ellas tomamos en cuenta las siguientes:

##### **2.2.2.7.1. Cavitación**

Es un fenómeno físico que ocurre en los sistemas de tuberías a través del cual el líquido, bajo ciertas condiciones, cambia a condición gaseoso y unos instantes posteriormente vuelve a cambiar a condición líquida.

### 2.2.2.7.2. Aire en las Tuberías

Este fenómeno en las tuberías puede surgir cuando existen condiciones de alta temperatura y baja presión en la tubería, lo que hace que disminuya el contenido de aire disuelto en el agua. Generalmente, los cambios de presión son uno de los puntos clave por los que se forma aire dentro.

### 2.2.2.7.3. Pérdida de Carga

Para una tubería o conducción la pérdida de carga es la pérdida de presión que se da en un líquido debido al rozamiento de las partículas del líquido entre sí y contra las paredes de la tubería que las transporta.

### 2.2.2.7.4. Golpe de Ariete

Es un incremento inesperado de la presión motivado por un cambio en la velocidad muy veloz del flujo de la tubería y se nombra "golpe de ariete" por los aumentos repentinos de presión que van acompañados de un ruido similar como si fuera golpeada con un martillo (figura 15). Encontrando así dos tipos de fallas por implosión que es el hundimiento y rotura hacia dentro de las paredes de una tubería debido a una presión negativa dentro de esta y por explosión cuando el hinchamiento y posterior rotura en paredes de tuberías, debido a aire contenido que no pudo ser expulsado.

**Figura 15**

*Puntos de roturas de tuberías por golpe de ariete*



*Nota.* Fallis y Oertlé (2011).

### 2.2.3. Diseño Hidráulico

El diseño hidráulico será el más influyente, ya que en base a este se calcularán los diámetros y presiones que comprenderá la línea de conducción para poder seleccionar la tubería que se instalará. Primero antes del diseño se deberán tener calculados los caudales óptimos para el abastecimiento de agua, cuyos pasos son:

- 1) Plantear la clase de tubería y el diámetro para conducir el caudal de diseño (caudal máximo diario generalmente).
- 2) Deducir el caudal teórico y contrastar con el Darcy. Cambie el tamaño de la tubería si es preciso, hasta que el caudal calculado sea superior que el caudal de diseño.
- 3) Confrontar la velocidad de flujo con los límites permisibles ( $V_{min.}$  y  $V_{max.}$ ).
- 4) Plantear el reciente diámetro para que el caudal y la velocidad sean adecuados (véase tabla 2)

**Tabla 2**

*Velocidades máximas para tuberías comerciales*

<b>Tipo de tubería</b>	<b>Velocidad máxima (m/s)</b>
Concreto simple hasta 45 cm de diámetro	3
Concreto reforzado de 60 cm de diámetro o mayores	3,5
Asbesto-cemento	5
Hierro galvanizado	5
Acero	5
PVC	5
Polietileno de alta densidad	5

*Nota. CNA (1992)*

- 5) Diseñar las líneas piezométricas y de gradiente hidráulico sobre el perfil del terreno. Donde se proseguirá a comprobar los siguientes puntos.
- 6) Verifique que la línea piezométrica este ubicada al menos 4 metros sobre el nivel del suelo.
- 7) Las presiones máximas de funcionamiento tienen que ser inferiores a las que puede resistir la tubería. Si se requiere, se debe plantear otra tubería más fuerte o armar cajas rompe de presiones.

- 8) Distinguir la probable formación de vacíos y el posible “aplastamiento” de la tubería. Deducir el espesor crítico ( $\delta$ ) = D/C.
- 9) Precisar la instalación de válvulas de entrada y de salida de aire en los puntos elevados de la línea para soltar aire atrapado. Incluso cuando el terreno sea más o menos llano, estas válvulas tienen que colocarse como máximo cada 1,500 m para facultar el colmado de la línea.
- 10) Instalar drenajes en los puntos bajos para permitir la limpieza (eliminación de sedimentos) o drenado de la línea para reparaciones.

#### **2.2.4. Software Watergems**

La herramienta Watergems se usó para el modelamiento hidráulico como forma de asistencia para la toma de decisiones, la planificación y operación del sistema de distribución en la planta de tratamiento de agua hacia el distrito de Ilo. El software nos ayudara a mejorar e incrementar el entendimiento sobre la conducta de la infraestructura como sistema, cómo reacciona a las estrategias operativas y cómo debe crecer a medida que aumentan la demanda de la población (bentley, 2016).

### **2.3. Definición de Términos**

#### **2.3.1. Altimetría**

Fragmento de la topografía que muestra la medición de la altura, también llamada hipsometría analiza todas las maneras para calcular la cota de cada nivel con respecto al terreno (Chávez y rodríguez, 2015).

#### **2.3.2. Afectaciones**

Cuando se hace el trazado de la línea de conducción se debe de advertir los problemas derivados cuando se afecta tierras del municipio y de particulares. Si es posible por caminos bien establecidos (Bayona Pérez, 2015).

#### **2.3.3. Aspectos Socioeconómicos**

El uso de algunas fuentes de suministro (licenciadas o no) y el no tener en cuenta lo indicado en el punto de afectación, a menudo genera conflictos con los pobladores de la región, lo que lleva a cambios de fuente o modificar (Vogel, 2018).

#### **2.3.4. Carga Disponible**

Está representado por la resta de la cota entre la obra de captación (grado mínimo de agua en la captación) y la balsa de almacenamiento (grado máximo de agua en la balsa) (Arocha, 1977).

#### **2.3.5. Caudal**

Cantidad de agua que pasa por determinado tiempo, sus símbolos son litros por segundo, metros cúbicos por segundo, galones por minuto (Chávez y Rodríguez, 2015).

#### **2.3.6. Cámara Rompe Presión**

Son armaduras hechas para reducir a cero la presión relativa (presión atmosférica), transformando la energía disponible en elevación de velocidad (Arocha, 1977).

#### **2.3.7. Calidad del Agua por Conducir**

Es fundamental conocer si el agua está sucia, incrustada, corrosiva o si tiene hierro y manganeso, ya que la capacidad de los conductos puede verse significativamente afectada (Ministerio de vivienda construcción y saneamiento, 2006).

#### **2.3.8. Cota de Terreno**

Altura de un punto en el suelo, referida a un nivel dado (Chávez y Rodríguez, 2015).

#### **2.3.9. Cota Piezométrica**

Presión máxima dinámica en cualquier sitio de la línea de distribución conducción, es decir, conseguiría una columna de agua si en ese punto se colocara un manómetro (Chávez y Rodríguez, 2015).

### **2.3.10. Cruzamientos**

A lo largo del trazado topográfico se tienen que ubicar los lugares más apropiados para el cruce de caminos, vías férreas, ríos, infraestructura diversa como también ver las conexiones de gas Natural, conexiones telefónicas y eléctricas (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

### **2.3.11. Diámetro Mínimo**

El diámetro mínimo se consideró de 75 mm para uso residencial y de 150 mm de diámetro para uso industrial. En situaciones extraordinarias y debidamente justificadas, podrán admitirse sectores de tubería de 50 mm de diámetro, con una longitud máxima de 100 m si se alimentan por uno de los lados o de 200 m si se alimentan por los dos lados (Ministerio de vivienda construcción y saneamiento, 2006).

### **2.3.12. Geotecnia**

Generalmente las tuberías de conducción deberían ser escondidas debajo de la tierra, principalmente las de HDPE (teniendo en cuenta el diámetro interior), acero, fundición dúctil, fundición y PVC. La línea más adecuada puede ser aquella que posibilita reducir al máximo probables excavaciones en la roca. También se estudia la profundidad del nivel freático (Vogel, 2018).

### **2.3.13. Línea de Gradiente Hidráulica**

Llamada a la línea que muestra la presión en la columna de agua a través de toda la tubería en circunstancias de ejecución (Chávez y Rodríguez, 2015).

### **2.3.14. Pérdida de Carga**

Es la pérdida de presión, a causa del rozamiento que existe entre el agua y las superficies internas de la tubería (Chávez y Rodríguez, 2015).

### **2.3.15. Pérdida de Carga Unitaria ( $hf$ )**

Cuando la pérdida de energía en la tubería se mide por unidad de longitud

debido a la renuencia del componente de la tubería al flujo de agua. Se puede expresar en m/km o m/m (Chávez y Rodríguez, 2015).

#### **2.3.16. Pérdida por Tramo ( $H_f$ )**

Se manifiesta como el resultado de la pérdida de carga unitaria por la longitud del tramo de tubería (Chávez y Rodríguez, 2015).

#### **2.3.17. Presiones**

La presión estática no debe ser superior a 50 m en ninguna zona de la red. Para estado de máxima demanda horaria, la presión dinámica no será inferior a 10 m. Para los suministros de agua por caños, la presión mínima será de 3,50 m a la salida de los caños (Ministerio de vivienda construcción y saneamiento, 2006).

#### **2.3.18. Suministro e Instalación de Tuberías**

Se tiene que considerar los costos del abastecimiento, la calidad de los componentes como la accesibilidad oportuna de las tuberías y las disponibilidades financieras que nos den los fabricantes (Ministerio de vivienda construcción y saneamiento, 2006).

#### **2.3.19. Topografía**

El tipo y clase a utilizar en una tubería depende de las características topográficas de la línea de conducción, puesto que el nivel de terreno de llo cuenta con una topografía fuertemente ondulada con pendientes altas y bajas que oscila entre los 230 msnm la máxima y la mínima de 30 msnm. Es adecuado obtener perfiles que cómodamente tengan bajas presiones de operación, evitando además tener puntos altos (Wales, 2016).

#### **2.3.20. Tuberías**

Se explica como el conjunto de tuberías que forma una red como un sistema de unión. Actualmente, las tuberías más usadas son las de plástico como el polietileno, las de PVC y las de acero. Para escoger los diámetros a emplear indistintamente del RD (relación del diámetro con el espesor), se debe tener en

cuenta que el diámetro a obedecer será el interno, ya que los espesores del P.V.C. tienden a disminuir las áreas de conducción y en diámetros mayores a 6" se puede incidir en errores de caudal de conducción (OPS/CEPIS/05.145, 2005).

### **2.3.21. Ubicación**

En calles de anchura igual o inferior a 20 m, se planificará una línea en un lado de la calzada y en calles y avenidas de más de 20 m de ancho se planificará una línea a cada lado de la calzada (Ministerio de vivienda construcción y saneamiento, 2006).

### **2.3.22. Válvulas**

La red de distribución estará provista de válvulas de interrupción que permitan el aislamiento de sectores de redes de longitud no mayor a 500 m. Se planearán válvulas de interrupción en todas las ampliaciones. Las válvulas empleadas del tipo reductora de presión, aire y otras de una sencilla operación y mantenimiento (Ministerio de vivienda construcción y saneamiento, 2006).

### **2.3.23. Válvulas Reductoras de Presión**

Tienen el cargo de cuidar las tuberías de presiones máximas acumuladas, que produce una pérdida de carga continua, cualquiera que sea la presión de entrada y el caudal (Arocha, 1977).

### **2.3.24. Válvulas Eliminadoras de Aire**

Se instalan para sacar el aire atrapado en la cuando la bomba succiona y no funciona y cuando el aire se junta en los puntos más elevados de la línea de conducción y generalmente se encuentran después de la junta flexible, la válvula de vacío es la más utilizada en urbano comunidades (Campbell, 2013).

### **2.3.25. Velocidad**

La velocidad máxima para el diseño de la línea de conducción deberá de 3 m/s. y en casos donde se acredite correctamente se permitirá una velocidad máxima de 5 m/s (Ministerio de vivienda construcción y saneamiento, 2006).

## **CAPÍTULO III : MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1. Tipo y Nivel de Investigación**

#### ***3.1.1. Tipo de Investigación***

Este tipo de investigación cuantitativa transversal busca encontrar las causas del problema. Por lo tanto, es de tipo explicativo ya que implica explicar la conducta de una variable (variable dependiente) en base a una o más variables independientes. Este tipo de estudio permite explicar, comprender e interpretar por qué ocurre un fenómeno y en qué circunstancias, para encontrar las raíces del problema.

#### ***3.1.2. Nivel de Investigación***

Para determinar el nivel de investigación, la tesis tiene como objetivo evaluar, explicar, proponer y modificar la línea de conducción de la planta potabilizadora de Cata Catas al distrito de Ilo, a través de la modelación hidráulica, para optimizar dicha línea con cambios de clases de tubería. y sistemas de reducción de presión, por lo que el nivel de investigación es Aprehensivo, Comprensivo - Integrativo.

### **3.2. Población y/o Muestra de Estudio**

#### ***3.2.1. Población de Estudio***

La medida planteada en la presente tesis tendrá un radio de impacto en aproximadamente 15800 habitantes, pertenecientes a la zona de las roturas de la línea de conducción y alrededores del puerto del distrito de Ilo.

#### ***3.2.2 Muestra de Estudio***

Monitoreo de 15 kilómetros de la línea de conducción que parte de la planta de tratamiento de agua potable hacia los reservorios de abastecimiento de la ciudad de Ilo (ver figura 17), con diámetros de 200 mm el mínimo hasta 800 mm de material PVC, cuenta con niveles desde 114 msnm hasta 22 msnm el mínimo (ver figura 16).

**Figura 16**

*Perfil hidráulico con elevaciones de línea de conducción*

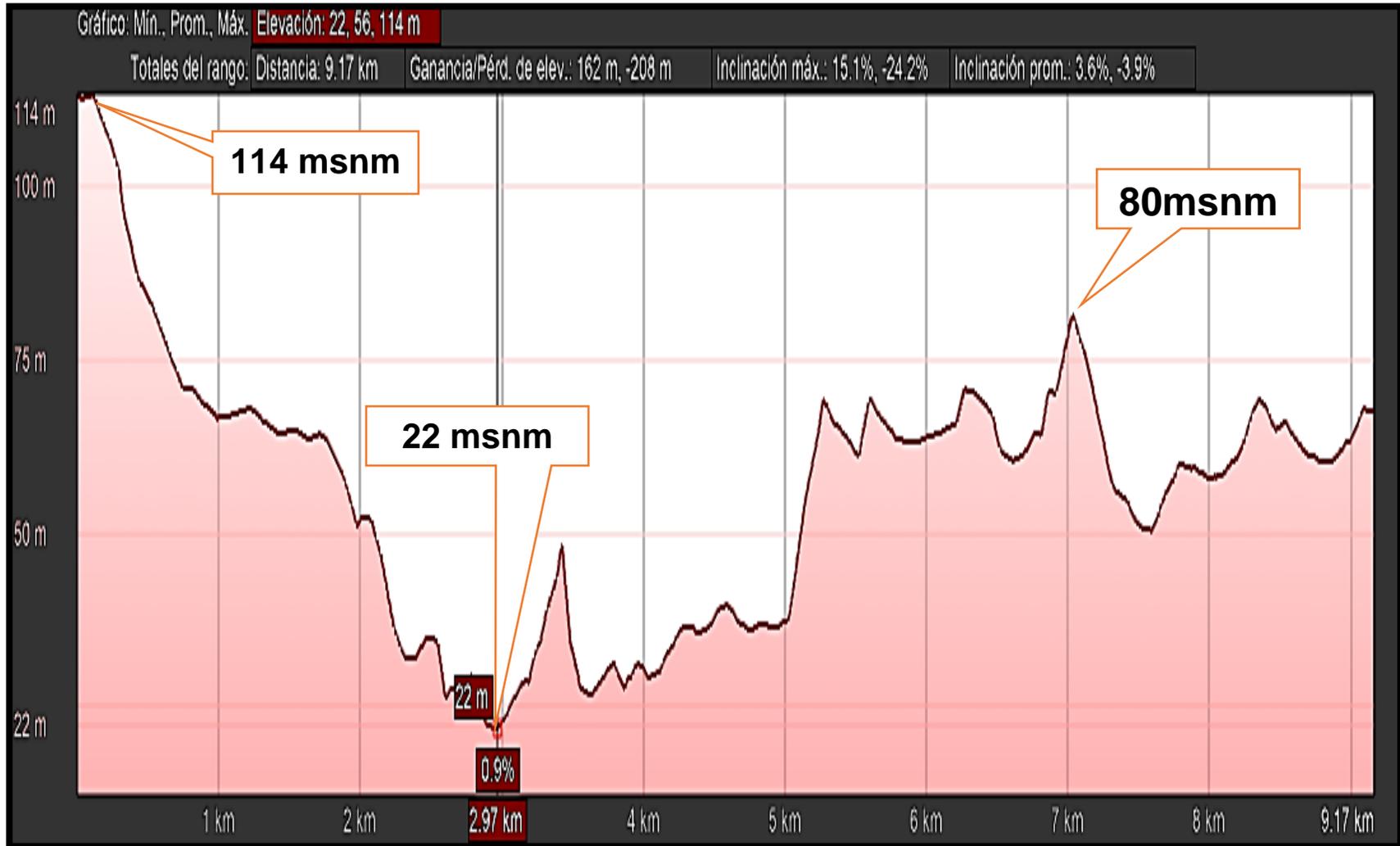


Figura 17

Trazo de la línea de conducción de agua tratada Cata Catas



Nota. Obtenido de Google Earth (2020)

### 3.3. Operacionalización de Variables

**Tabla 3**

*En el siguiente cuadro se resume la operacionalización de variables*

<b>Variable</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>
V.I. Tuberías	La habilidad soportar la presión y velocidad, en que se somete el mecanismo de tuberías tienen que estar acorde con el diseño para que sean óptimas para su uso y no sufran roturas.	- Dotación. - Clases de tubería. - Topografía influye en el comportamiento hidráulico de la línea de conducción. - Acceso. - Compatibilidad.	- Tuberías de Acero. - Tuberías HDPE. - Tuberías de PVC. - Hierro Dúctil. - Población (Dotación). - Topografía.
V.D. Evaluación y Optimización	Para evaluar y optimizar el comportamiento hidráulico de una red de distribución en la que se calculan los diámetros, longitudes y coeficientes de fricción; se necesita calcular las cargas de presión en los nodos que posee y las velocidades que fluyen en los tubos que la componen.	- Presión mínima. - Velocidad mínima. - Caudal de ingreso a la línea de conducción. - Diámetro mínimo para la tubería. - Costos a largo plazo y corto plazo con el cambio de tuberías.	- Presión. - Velocidad. - Caudal. - Diámetros. - Costos.

#### 3.3.1. Identificación y/o Caracterización de Variables

##### 3.3.1.1. Variable Independiente

Clases de tuberías. Los indicadores de la variable independiente serán:

- Tuberías de Acero.
- Tuberías HDPE.
- Tuberías de PVC.
- Hierro Dúctil.
- Población (Dotación).
- Topografía.

### **3.3.1.2 Variable Dependiente**

Evaluación y optimización. Los indicadores de la variable dependiente serán:

- Presión.
- Velocidad.
- Caudal de ingreso.
- Diámetro de la tubería.
- Costos.

### **3.4. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos**

Las técnicas utilizadas son el análisis de la situación in situ y la indagación empírica con el apoyo del personal técnico de EPS Ilo S.A.

Como también contar con el apoyo de sofisticados equipos para la recolección de datos en toda la red de la línea de conducción, los cuales serán descritos en el ítem 3.4.2.

#### ***3.4.1. Técnicas para la Recolección de Datos***

La cantidad de datos recolectados a lo largo del desarrollo de la investigación serán organizados y procesados de forma manual y digital con el fin de mostrar el estudio de manera metódica, transparente y simple.

Para el desarrollo de datos de este estudio se utilizarán los siguientes programas:

##### **3.4.1.1. Microsoft Office Excel 2021**

Para el registro de información en base a los datos y resultados obtenidos utilizaremos este formato. Nos ayudó para el procedimiento configurando la matriz del sistema con nuestros datos los cuales se adjuntarán posteriormente al informe.

##### **3.4.1.2. AutoCad 2020**

Este software nos permitirá hacer el diseño para dibujar y modelar en 2D los planos alrededor de la línea de conducción.

#### **3.4.1.3. Microsoft Office Word 2021**

Este programa nos ayudara al procesamiento del texto, donde plasmamos la información obtenida, así como los resultados de ella debidamente ordenada.

#### **3.4.1.4. Google Earth**

Este programa nos ayudó mostrándonos nuestro planeta en una plataforma virtual geomática que permitió visualizar la múltiple cartografía terrestre desde otros ángulos a juzgar por las fotografías satelitales. Nos proporcionó las siguientes características:

- Apoyo para la extensión espacial como el PostgreSQL para datos de alto nivel.
- Manipular archivos vectoriales como para el Autodesk.
- Apoyo para bastantes tipos de archivos Raster como Jpg.

#### **3.4.1.5. Wáter Gems V8I**

Este instrumento de alta importancia nos fue eficiente para poder simular y modelar los escenarios favorables y desfavorables para el diseño hidráulico del sistema de agua potable que va desde la planta mediante las redes de distribución al distrito de Ilo.

### ***3.4.2. Instrumentos para Recolección de Datos***

Para la tarea en campo se utilizaron algunas herramientas de señalización y cuantificación las cuales detallamos a continuación:

#### **3.4.2.1. Hoja de Registro de Datos**

Para el levantamiento topográfico debemos tener un control de las observaciones y puntos de referencia de la data en campo.

#### **3.4.2.2. Manómetro**

Este dispositivo sirve para medir la presión en tiempo real, la unidad de medida se puede dar en  $\text{kg/m}^3$ , psi (libras por pulgada cuadrada) y bar.

### **3.4.2.3. Data Logger**

Este instrumento ayuda a controlar la presión mediante una válvula reguladora, este equipo se hizo préstamo de la EPS Tacna S.A. que tiene estos dispositivos registradores que controlan la presión en periodos extendidos. Este dispositivo guarda cifras cada 1 min, 2 min, 5 min, etc. De acuerdo con los requerimientos y programación del usuario. Esta cuantificación permanente permite controlar presiones y horas de prestación. Basado en presiones (presión cero sin prestación).

### **3.4.2.4. Medidor de Caudal Portátil**

Es un equipo que por medio de sensores ultrasónicos puede medir la velocidad del flujo dentro de las tuberías y registra el paso de los caudales en el tiempo presente, este equipo se coloca en la superficie.

### **3.4.2.5. Plano de Línea de Conducción**

Sirve para identificar y obtener los datos de la estructura sanitaria en campo y en el despacho de estudio.

## **3.5. Procesamiento y Análisis de Datos**

### ***3.5.1. Evaluación y Modelamiento Hidráulico de la Línea de Conducción***

Para evaluar el comportamiento hidráulico de la línea de conducción de agua potable Cata Catas se desarrolló un modelamiento hidráulico, con el siguiente procedimiento:

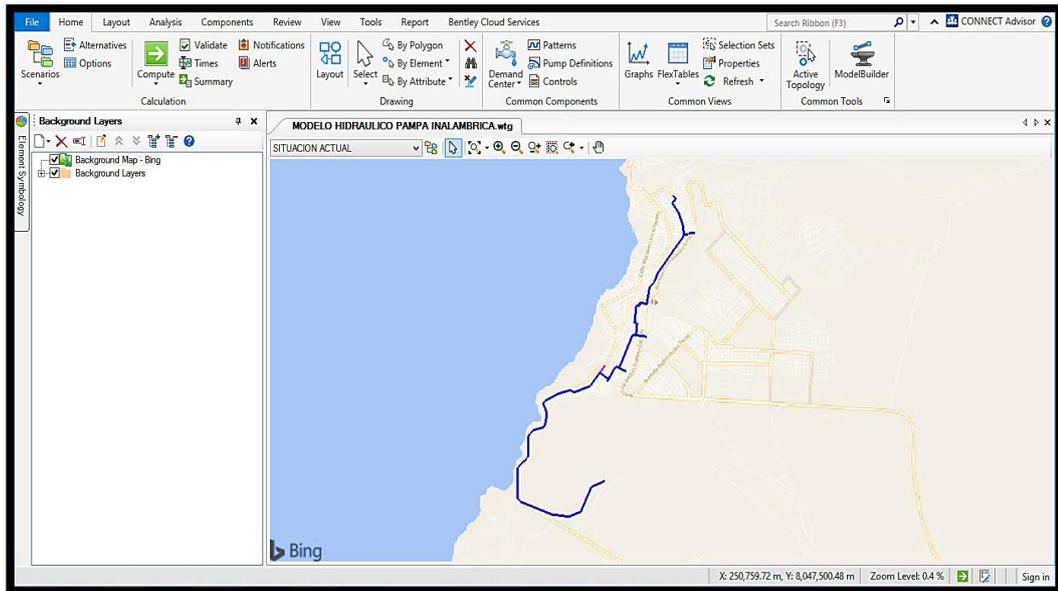
- Como primera acción fue necesario recopilar la información para contar con una base de datos del catastro técnico, que proporcione las características físicas y la altimetría de la infraestructura a modelar, esta información fue solicitada al área responsable del catastro técnico de la EPS Ilo S.A.
- Se migro de la base de datos recopilada del catastro técnico al software de modelamiento hidráulico Watergems v8I (véase figura 18).
- Se recopiló la base de datos operacionales con variables de campo reales a fin de poder incorporar esta información al software (véase figura 19).
- Para el modelo hidráulico se cargó al software los datos y las características

topológicas recopiladas.

- Luego se hizo correr el modelo hidráulico en el programa Watergems y se analizó los resultados obtenidos.
- Posteriormente se definieron los tramos a analizar.

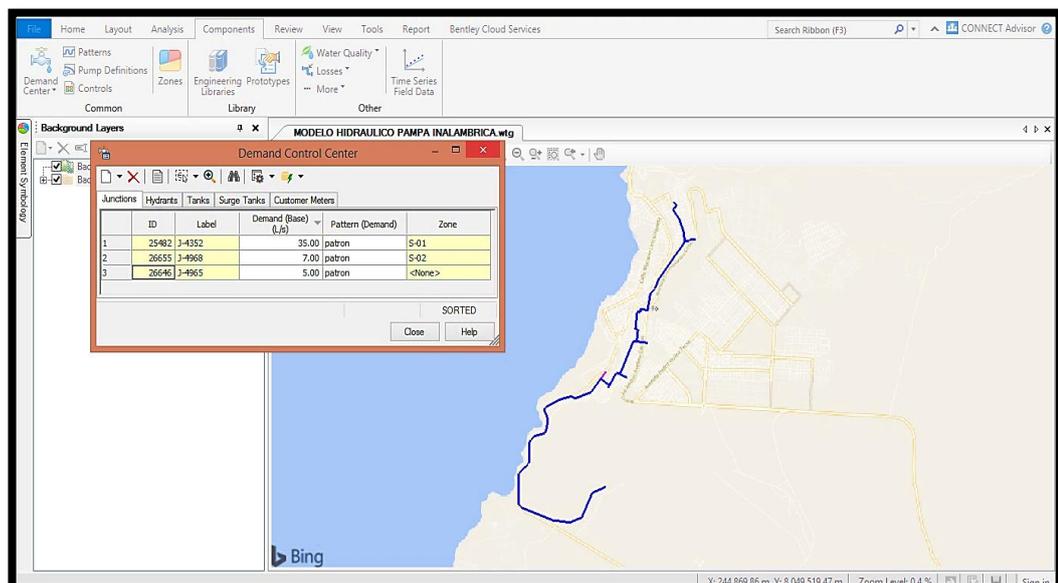
**Figura 18**

*Migración de la base de datos del catastro al software para el modelamiento hidráulico*



**Figura 19**

*Datos con variables de campo cargados al software para el modelamiento hidráulico*



Basados en los datos del catastro técnico y lo recopilado en la base de datos operacionales con variables de campo reales, esto proporciono información de las características físicas de la infraestructura a modelar (figura 20) luego se hizo correr el modelo hidráulico en el programa Watergems y se analizó los resultados obtenidos.

Las características físicas de la infraestructura como la longitud, el diámetro y el material fueron recopiladas para los cuatro tramos como se muestra en las tablas 4, 5, 6 y 7 en el que se basara nuestra investigación para un análisis más profundo y eficaz.

**Tabla 4**

*Datos y características para subir al software para el tramo I de la línea de conducción*

<b>Longitud (m)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Material</b>
276	800	Asbestos
231	800	Asbestos
319	800	Asbestos
460	800	Asbestos
456	800	Asbestos
620	800	Asbestos
858	800	Asbestos
607	800	Asbestos
32	800	Asbestos
187	800	Asbestos
506	800	Asbestos
61	800	Asbestos
465	800	Asbestos

**Tabla 5**

*Datos y características para subir al software para el tramo II de la línea de conducción*

<b>Longitud (m)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Material</b>
33	600	PVC
297	600	PVC
152	600	Asbestos

**Tabla 6**

*Datos y características para subir al software para el tramo III de la línea de conducción*

<b>Longitud (m)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Material</b>
10	160	PVC
7	300	PVC
3	300	PVC
217	500	PVC
105	500	PVC
80	500	PVC
505	500	PVC
60	500	PVC
48	500	PVC
283	500	PVC
13	500	PVC
58	500	PVC
73	500	PVC
114	500	PVC
200	500	PVC
6	500	PVC

**Figura 20**

*Corriendo el software para el modelamiento hidráulico*



**Tabla 7**

*Datos y características para subir al software para el tramo IV de la línea de conducción*

<b>Longitud (m)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Material</b>
27	200	PVC
41	200	PVC
41	200	PVC
53	200	PVC
23	200	PVC
20	200	PVC
53	200	PVC
49	200	PVC
49	200	PVC
47	200	PVC
214	200	PVC
10	200	PVC
111	300	PVC
83	300	PVC
6	300	PVC
85	300	PVC
2	300	PVC
11	300	PVC
1	300	PVC
78	350	PVC
65	350	PVC
7	350	PVC
172	350	PVC
510	350	PVC
170	350	PVC
62	350	PVC
18	500	PVC

En la siguiente imagen (figura 21) se muestra la línea de conducción saliendo de la planta de tratamiento de agua Cata Catas para su análisis, haciendo la evaluación de las características y su comportamiento. Posteriormente se procedió a dividir lo tramos (figura 22) para obtener un mejor panorama del comportamiento hidráulico de la línea de conducción integrando los cuatro tramos mencionados anteriormente, por último, se hizo perfil general del modelamiento hidráulico (figura 23).

**Figura 21**

*Línea de conducción en la zona ZED que se abastece del reservorio I*



*Nota. Obtenido de EPS Ilo S.A. (2021).*

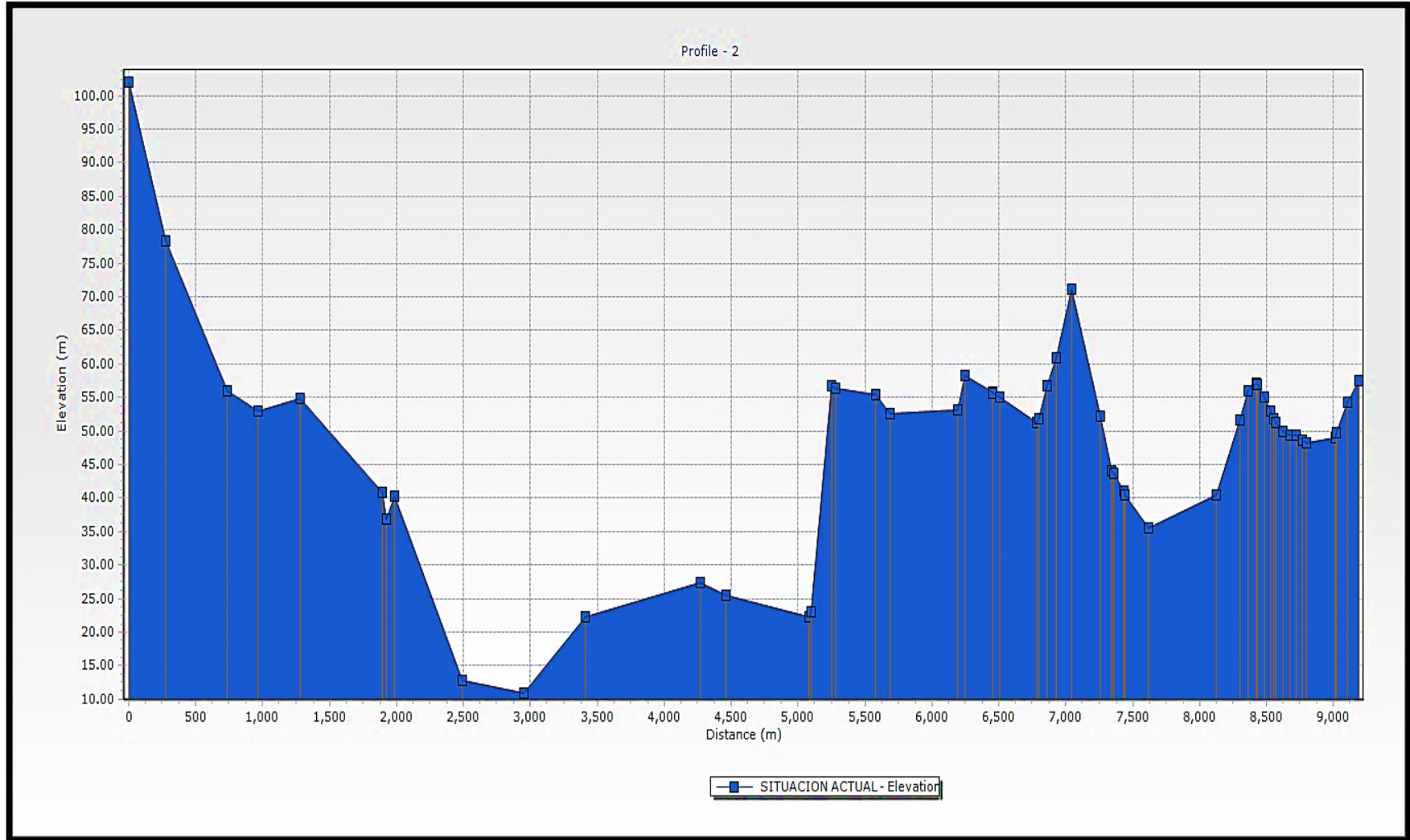
**Figura 22**

*Determinación de los tramos a analizar en los resultados*



**Figura 23**

*Perfil general del modelamiento hidráulico*



## CAPÍTULO IV : RESULTADOS

### 4.1. Evaluación de la Línea de Conducción con Modelamiento Hidráulico

Para esta evaluación se utilizaron datos recopilados del catastro técnico y la base de datos operacionales con variables de campo reales a fin de poder incorporar esta información al software.

Para realizar el modelamiento hidráulico se cargó al software los datos y las características topológicas obtenidas, con estos resultados podemos analizar qué acciones tomaremos para dar solución a la problemática.

A continuación, se muestran los perfiles hidráulicos de la línea de conducción por tramos.

#### 4.1.1. Evaluación y Optimización para el Tramo I

En el siguiente grafico (figura 24) se muestra el perfil que refleja el primer tramo el cual tiene una longitud de 5,78 km desde la planta de tratamiento de agua Cata Catas a la cámara de partición Costa Azul, este tramo se identifica con el trazo rojo.

**Figura 24**

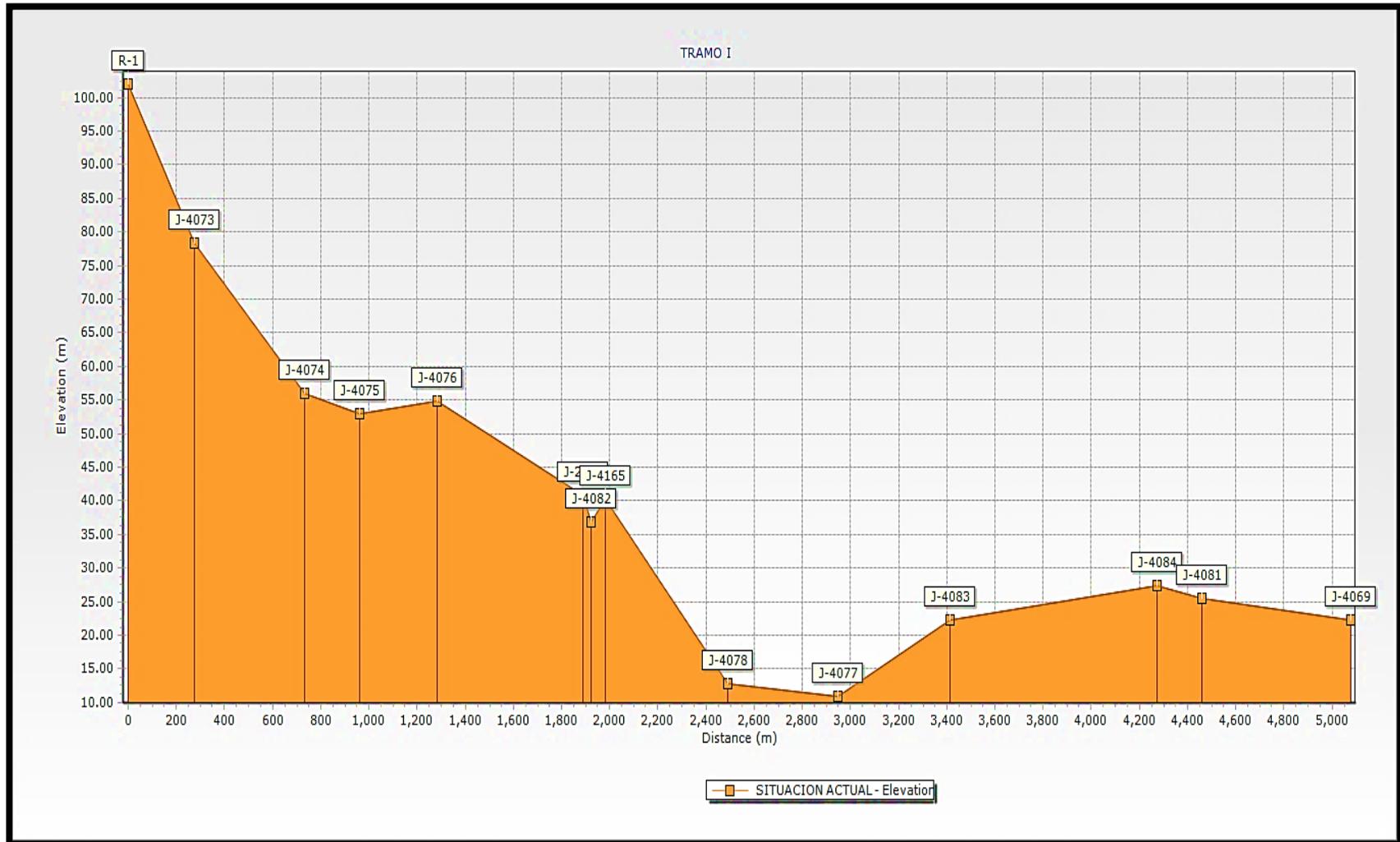
*Línea de conducción Cata Catas para el tramo I*



En el siguiente grafico (figura 25) podemos observar el perfil hidráulico donde el punto más alto sin duda se encuentra en la planta de tratamiento Cata Catas a 105 metros sobre el nivel del mar y el punto más bajo a 11 metros sobre el nivel del mar.

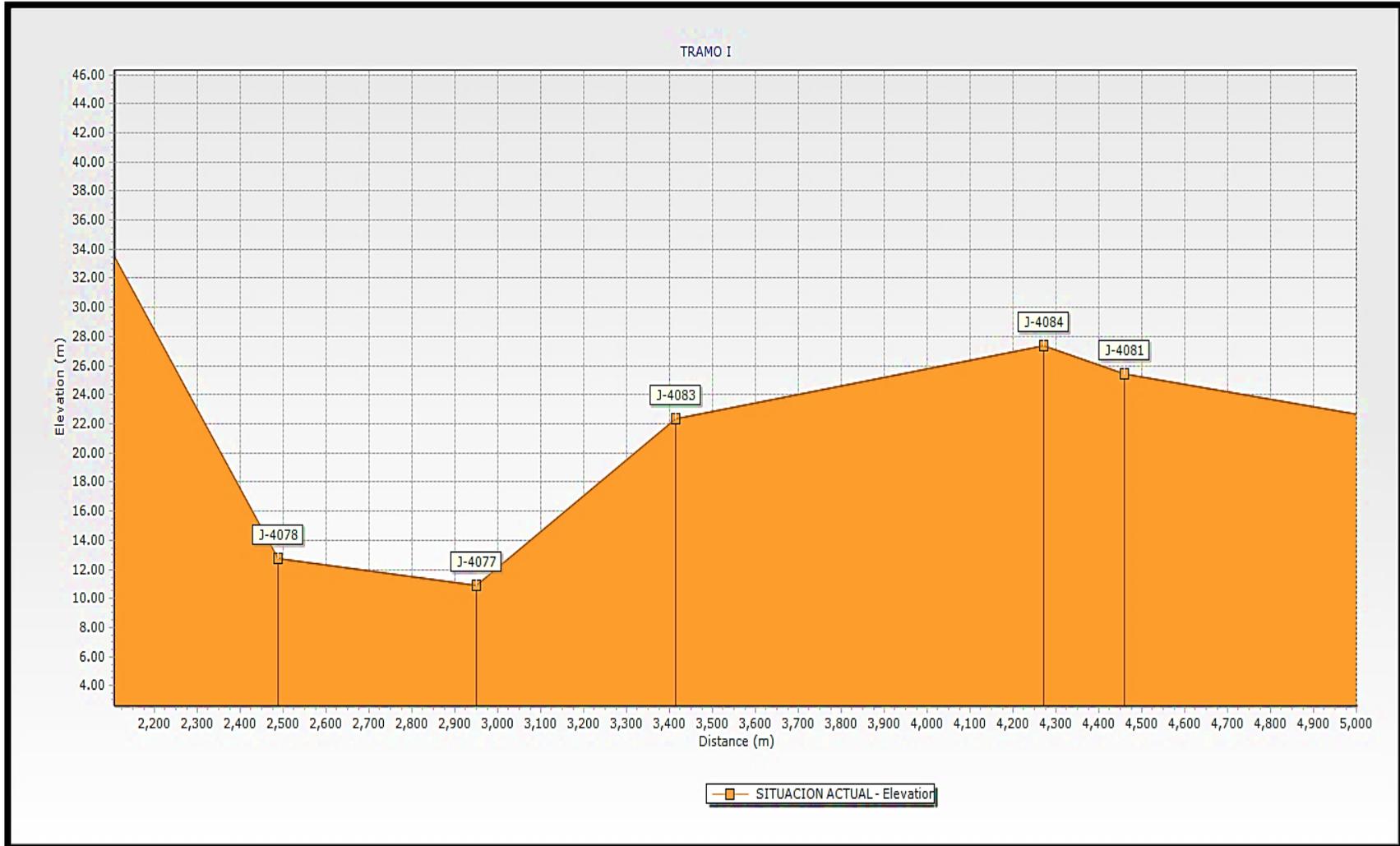
Figura 25

Perfil hidráulico de la línea de conducción Cata Catas para el tramo I



**Figura 26**

*Perfil hidráulico con un acercamiento a la zona crítica del tramo I*



En el anterior gráfico (figura 26) haciendo un acercamiento al perfil, podemos observar en el punto más bajo la ascendencia que debe hacer el flujo para continuar con su recorrido en la línea de conducción, así mismo es necesario indicar que, al existir puntos altos en los sistemas de agua potable, estos deben tener una válvula de aire, que permita disipar las bolsas de aire que se generan en estas zonas altas. Ya que de no hacer esto, estaríamos generando un golpe de ariete a cada incremento de caudal que se den en este tramo.

A continuación, procedemos a realizar los cálculos obtenidos con el software, utilizando la fórmula de Hazen y Williams, podemos determinar el caudal, la velocidad, la gradiente de pérdida de carga en base a longitud, el diámetro de la tubería y el material.

Analizando los resultados de la tabla 8 obtenemos el caudal, la velocidad, la gradiente de pérdida de carga en base a longitud, el diámetro de la tubería y el material, estos resultados reflejan que la planta de tratamiento de agua Cata Catas emite un caudal máximo diario de 132 l/s.

**Tabla 8**

*Cuadro resumen de datos calculados para tuberías del tramo I*

Label	Length (Scaled) (m)	Diameter (mm)	Material	Hazen Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss Gradient (m/m)
P-4139	460	800	Asbestos	140	-132,7	0,26	0
P-4127	620	800	Asbestos	140	-132,7	0,26	0
P-4140	858	800	Asbestos	140	132,7	0,26	0
P-4	187	800	Asbestos	140	132,7	0,26	0
P-2088	506	800	Asbestos	140	132,7	0,26	0
P-2281	465	800	Asbestos	140	132,7	0,26	0
P-3	32	800	Asbestos	140	132,7	0,26	0
P-2089	61	800	Asbestos	140	-132,7	0,26	0
P-4126	276	800	Asbestos	140	132,7	0,26	0
P-4134	231	800	Asbestos	140	132,7	0,26	0
P-4135	319	800	Asbestos	140	132,7	0,26	0
P-4133	456	800	Asbestos	140	132,7	0,26	0
P-2	607	800	Asbestos	140	132,7	0,26	0

Con lo cual podemos interpretar que este caudal es el requerido para abastecer a la red de distribución del sector del puerto y para hacer el llenado de los reservorios.

En este primer tramo se establece que el material de la tubería será de asbesto en función a la presión máxima de 91 metros de columna de agua en la situación más crítica situada en el punto más bajo de la elevación de toda la línea de conducción (tabla 9).

Se observa en este modelamiento que la presión máxima es del orden de los 91 metros de columna de agua la cual se registra en la cota del perfil longitudinal (progresiva 4+077) que tiene una elevación de 10,9 metros y las presiones mínimas son de 24 metros de columna de agua, la cual se registra en el punto de la cota del perfil longitudinal (progresiva 4+073) que tiene una elevación de 78,32 metros.

Si nos fuéramos por la vía más segura, podríamos asegurar que con seleccionar la tubería de asbesto esta tolerara la presión máxima para todos los 5,78 kilómetros de la línea de conducción para la solución del problema.

**Tabla 9**

*Presiones y gradiente hidráulico para la del tramo I*

<b>Label</b>	<b>Pressure (m H<sub>2</sub>O)</b>	<b>Elevation (m)</b>	<b>Hydraulic Grade (m)</b>
J-4073	24	78,32	101,98
J-4074	46	55,9	101,94
J-4076	47	54,75	101,9
J-4075	49	52,89	101,92
J-2514	61	40,92	101,85
J-4165	62	40,21	101,84
J-4082	65	36,89	101,85
J-4084	74	27,39	101,66
J-4081	76	25,43	101,64
J-4083	79	22,32	101,73
J-4078	89	12,77	101,8
J-4077	91	10,9	101,77

#### 4.1.1. Evaluación y Optimización para el Tramo II

En el siguiente grafico (figura 27) se muestra el perfil que refleja el segundo tramo el cual tiene una longitud de 0.482 km, desde la cámara de partición Costa azul hasta la cámara de ingreso a Santa cruz, este tramo se identifica con el trazo amarillo.

**Figura 27**

*Línea de conducción Cata Catas para el tramo II*

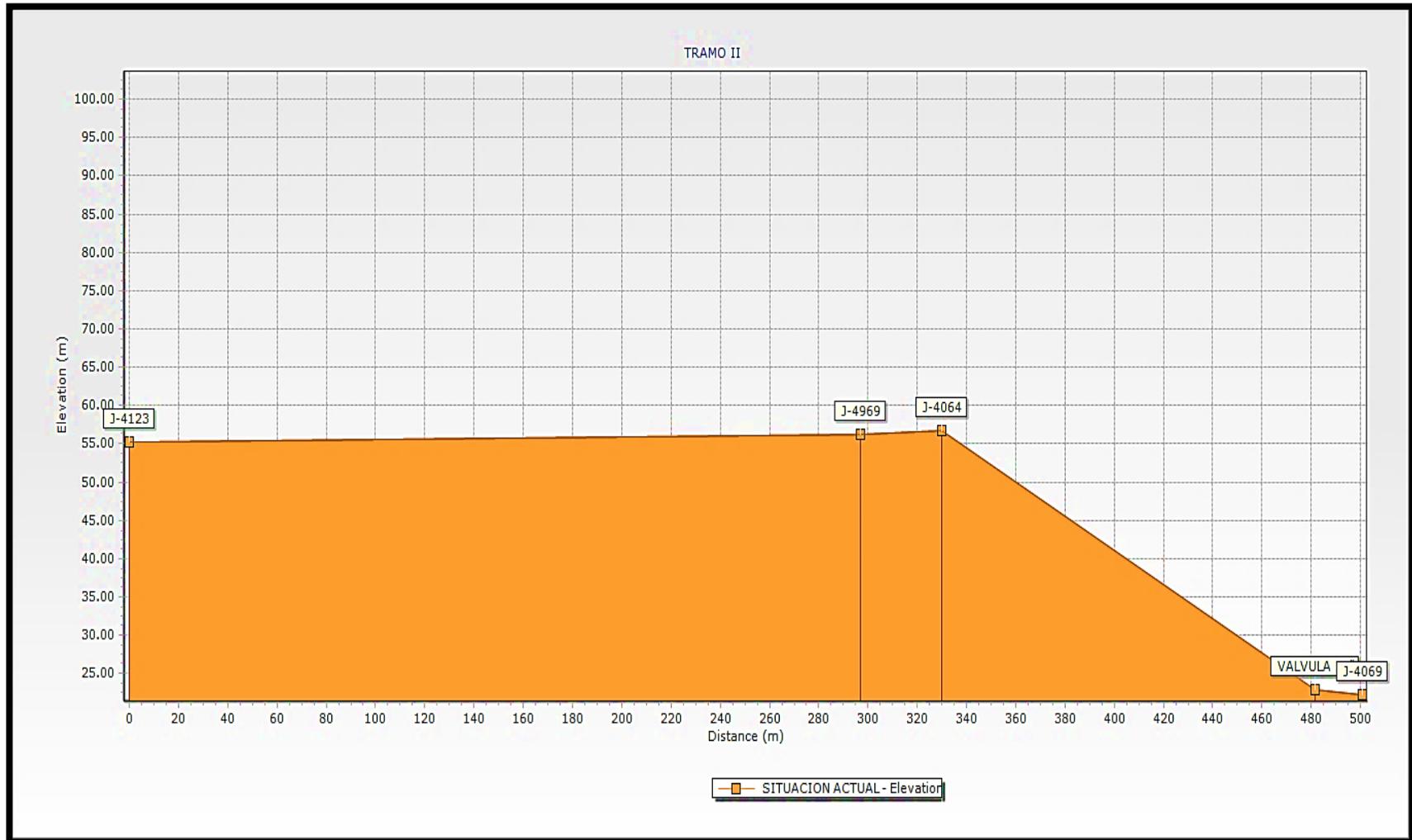


En el grafico (figura 29) podemos observamos el perfil hidráulico conjuntamente relacionado con el perfil del tramo I, con lo cual podemos precisar que existe un flujo que asciende desde una cota 11 metros sobre el nivel del mar a una cota de 55 metros sobre el nivel del mar. En estos puntos los flujos no transitan a tubo lleno generando vacíos en las tuberías que son ocupados por aire, por lo que al incrementar los caudales estos se expondría a futuras roturas.

En los siguientes gráficos podemos observar el perfil hidráulico haciendo un acercamiento en el punto más bajo (figura 28), después realizando una integración del tramo I y tramo II (figura 29) podemos observar la ascendencia que debe hacer el flujo para llegar hasta el pico ascendente como se encuentra indicado en la línea de conducción, así mismo es necesario indicar que; al existir puntos altos en los sistemas de agua potable, estos deben tener una válvula de aire que permitan disipar las bolsas de aire que se generan en estas zonas altas, ya que, no hacer esto, estaríamos generando en golpe de ariete a cada incremento de caudal.

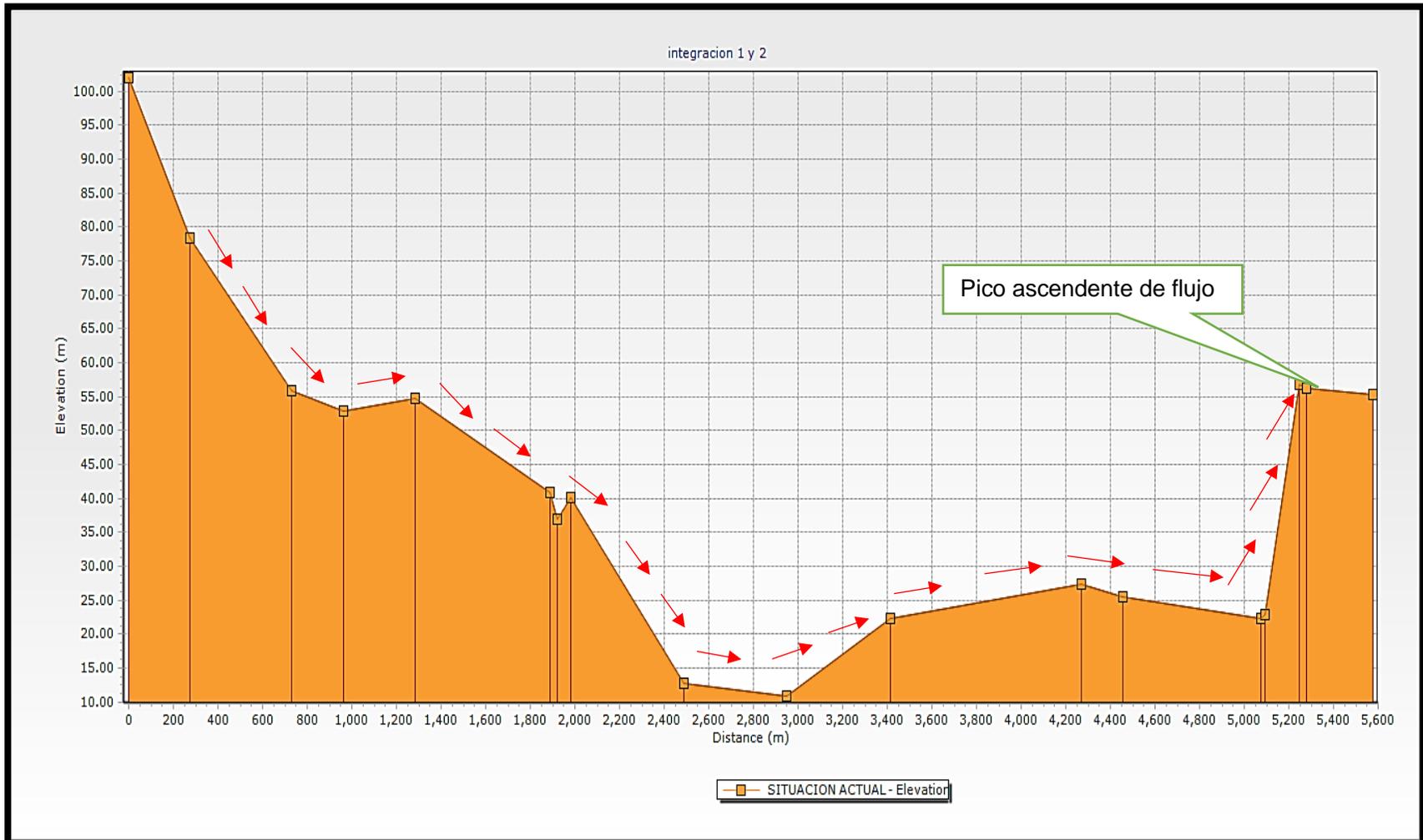
**Figura 28**

Perfil hidráulico de la línea de conducción Cata Catas para el tramo II



**Figura 29**

Perfil hidráulico de la zona crítica integrando el tramo I y tramo II



A continuación, procedemos a realizar los cálculos obtenidos con el software, utilizando la fórmula de Hazen y Williams, podemos determinar el caudal, la velocidad, la gradiente de pérdida de carga en base a longitud, el diámetro de la tubería y el material.

Analizando los resultados de la tabla siguiente (tabla 10) obtenemos que la velocidad y la gradiente de pérdida de carga son admisibles, así también tenemos los resultados del caudal, el diámetro de la tubería y el material, estos reflejan que en el tramo II los caudales emiten un máximo diario de 26 l/s.

Con lo cual podemos interpretar que este caudal es el requerido para continuar con el diseño con una suficiente presión en la red de distribución.

**Tabla 10**

*Cuadro resumen de datos calculados para tuberías del tramo II*

Label	Length (Scaled) (m)	Diameter (mm)	Material	Hazen Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss Gradient (m/m)
P-96	297	600	PVC 15	150	11,14	0,04	0
P-87	33	600	PVC 15	150	25,84	0,09	0
P-5502	152	600	Asbestos	140	25,84	0,09	0
P-5501	19	600	Asbestos	140	25,84	0,09	0

En este segundo tramo se establece que el material de la tubería será de PVC clase 15 y asbesto, la cual está en función a la presión máxima de 45 metros de columna de agua, situada en el punto de elevación 56,27 metros de la línea de conducción (tabla 11). También se observa para este tramo donde la presión máxima es del orden de los 45 metros de columna de agua, esta se registra en la cota del perfil longitudinal (progresiva 4+969).

**Tabla 11**

*Presiones y gradiente hidráulico para la línea del tramo II*

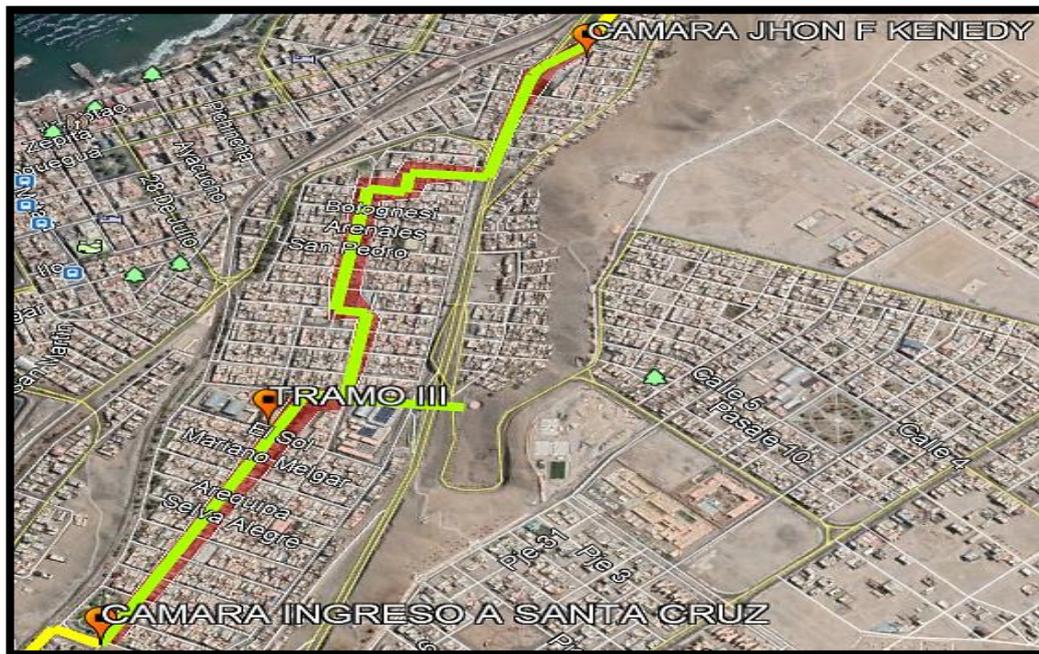
Label	Pressure (m H <sub>2</sub> O)	Elevation (m)	Hydraulic Grade (m)
J-4969	45	56,27	101,58

#### 4.1.3. Evaluación y Optimización para el Tramo III

En el siguiente grafico (figura 30) se muestra el perfil longitudinal que refleja el tercer tramo el cual tiene una longitud de 1,50 kilómetros desde la cámara de ingreso a Santa Cruz hasta la cámara Jhon F. Kenedy, este tramo se identifica con el trazo color verde.

**Figura 30**

*Línea de conducción Cata Catas para el tramo III*

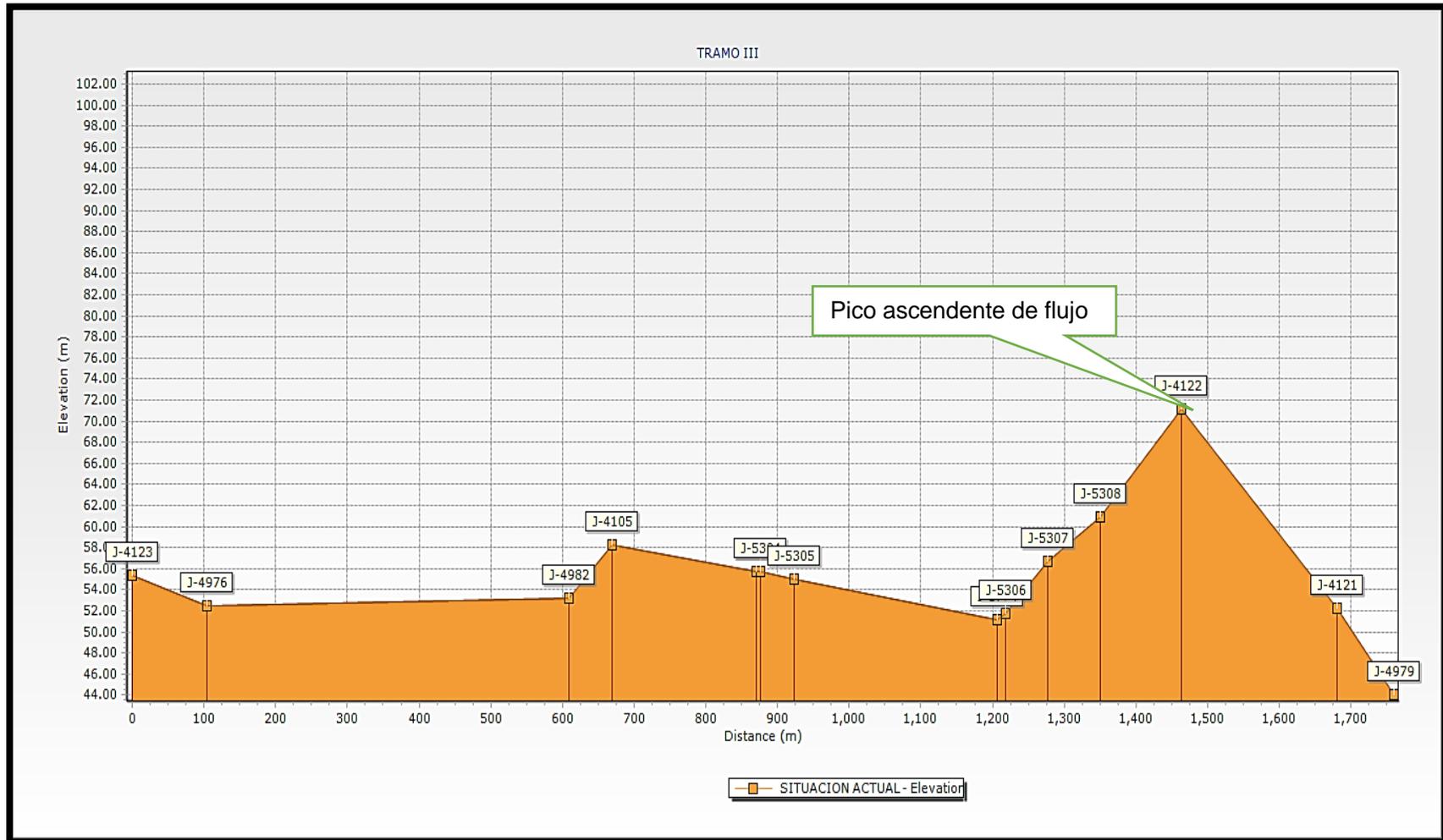


En el siguiente grafico (figura 31), podemos precisar que en el perfil hidráulico existe un flujo que asciende de una cota 46 metros sobre el nivel del mar a una cota de 71 metros sobre el nivel del mar. En este punto se encuentra la zona más crítica en la línea de conducción.

También en el mismo grafico se muestra el perfil hidráulico del tramo III, donde podemos apreciar una de las zonas más críticas en la línea de conducción de agua potable, siendo en esta zona donde se han generado más cantidad de roturas en la línea de conducción, así mismo es necesario indicar que al existir picos ascendentes en los sistemas de agua potable, estos deben tener una válvula de aire, que permita disipar las bolsas de aire que se generan en estas zonas altas. Por lo que, de no hacer esto estaríamos generando un golpe de ariete a cada incremento de caudal que se den en este tramo.

Figura 31

Perfil hidráulico de la línea de conducción Cata Catas para el tramo III



Así mismo como se explicó se aprecia un pico alto en el recorrido de la línea de conducción el cual estaría generando condiciones desfavorables en la operación de la línea ocasionando acumulación de aire en este punto.

Por lo que haciendo un acercamiento a este punto (figura 32), nos situamos en el pico donde se observa que se sitúa en un sifón, evidenciando que el principal problema en este tramo viene siendo originado por los efectos producidos por este.

### Figura 32

*Zona crítica de la línea de conducción Cata Catas del tramo III*



A continuación, procedemos a realizar los cálculos obtenidos con el software para determinar el caudal, la velocidad, la gradiente y el material.

En los resultados mostrados (tabla 12), se aprecian las velocidades admisibles y pérdidas de carga imperceptibles, lo cual aparentemente indicaría que no existen deficiencias en la operación de la línea de conducción, así también los resultados reflejan que en el tramo III emite un caudal máximo diario de 52 l/s y un mínimo de 34 l/s. Sin embargo, esto es motivo de análisis y criterio técnico, ya que los efectos producidos por el sifón son más evidentes ante malas maniobras en la red de la línea de conducción, también se establece que en este tramo el material de la tubería será de PVC clase 15. La presión máxima es de 50 metros de columna de agua (tabla 13), que se registra en la cota del perfil longitudinal (progresiva 5+306) que tiene una elevación de 51,72 metros y las presiones mínimas son de 29 metros de columna de agua, donde se registra una elevación de 72,58 metros.

**Tabla 12***Cuadro resumen de datos calculados para tuberías del tramo III*

Label	Length (Scaled) (m)	Diameter (mm)	Material	Hazen Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss Gradient (m/m)
P-252	200	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-4106	217	500	PVC-15	150	-34	0,17	0
P-294	80	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-295	18	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-252	48	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-252	283	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-253	13	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-253	58	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-253	73	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-253	114	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-252	6	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-434	505	500	PVC-15	150	52	0,26	0
P-435	60	500	PVC-15	150	52	0,26	0
P-147	105	500	PVC-15	150	52	0,26	0

**Tabla 13***Presiones y gradiente hidráulico para la línea del tramo III*

Label	Pressure (m H <sub>2</sub> O)	Elevation (m)	Hydraulic Grade (m)
J-3868	29	72,58	101,49
J-4122	30	71,13	101,49
J-5308	41	60,91	101,50
J-5307	45	56,66	101,50
J-5304	46	55,68	101,52
J-5305	46	55,05	101,52
J-4982	48	53,15	101,54
J-5306	50	51,72	101,50
J-1774	50	51,22	101,50

#### 4.1.4. Evaluación y Optimización para el Tramo IV

En el siguiente grafico (figura 33), se muestra el perfil que refleja el último tramo que tiene una longitud de 1.786 kilómetros que va desde la cámara Jhon F. Kenedy hasta el reservorio N 4, este tramo se identifica con el trazo de color amarillo.

**Figura 33**

*Línea de conducción Cata Catas para el tramo IV*



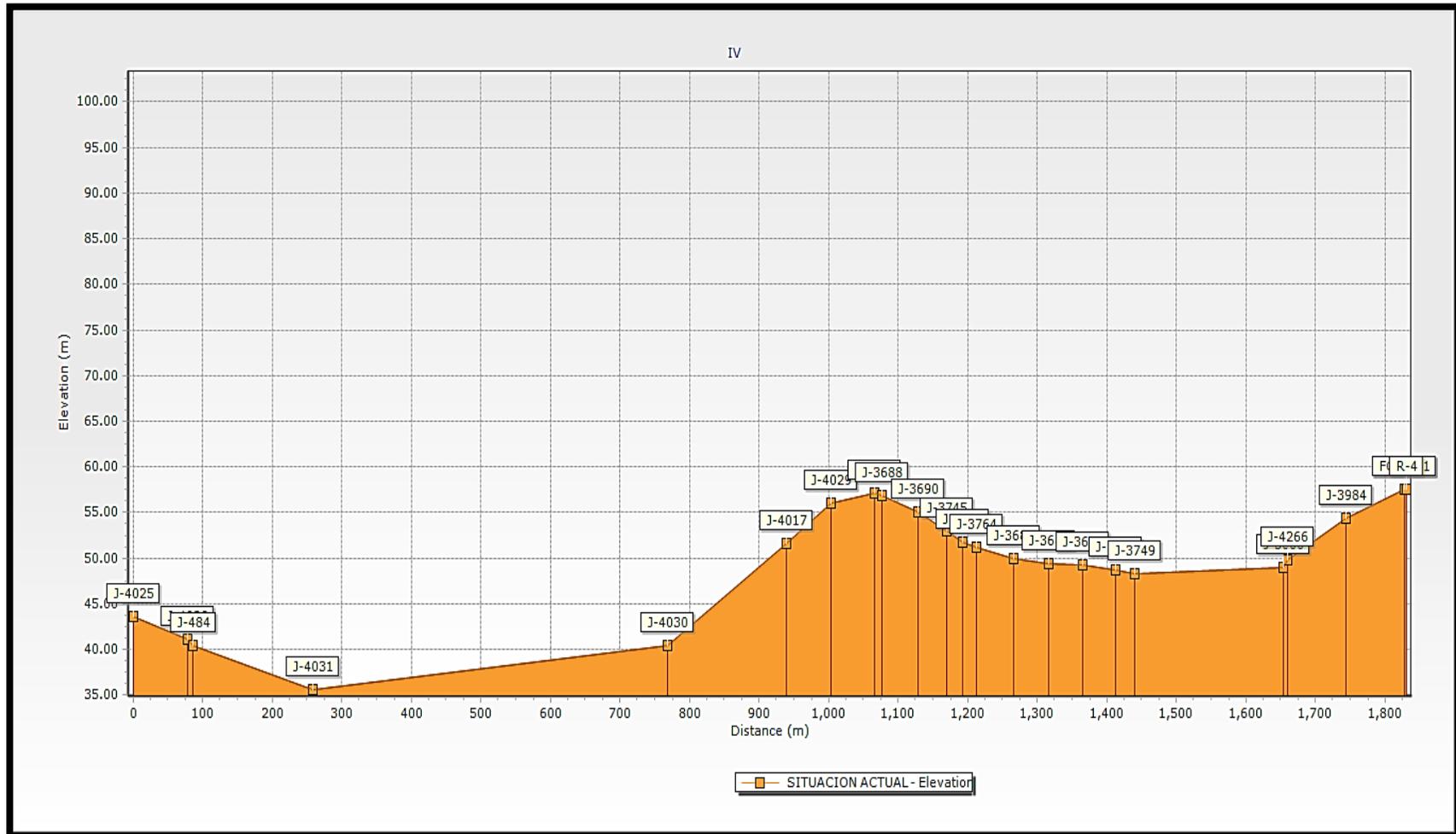
En el siguiente grafico (figura 34) podemos observar el perfil hidráulico precisando que existe un flujo que asciende desde una cota 44 metros sobre el nivel del mar a una cota de 58 metros sobre el nivel del mar. Teniendo que realizar acciones complementarias ante posibles fallas que puedan suceder.

También observamos en el gráfico (figura 34), como el perfil hidráulico hace la ascendencia del flujo para llegar hasta a las zonas más altas como se encuentra indicado en la línea de conducción, así mismo es necesario indicar que, al existir puntos altos en los sistemas de agua potable, estos deben tener una válvula de aire, que permita disipar las bolsas de aire que se generan en estas zonas altas. Ya que de no hacer esto, estaríamos generando un golpe de ariete a cada incremento de caudal que se den en este tramo.

Este perfil hidráulico al igual que los anteriores muestran un pico alto en la topografía que generaría un flujo ascendente, lo cual podría generar dificultades en la operación de la línea.

**Figura 34**

*Perfil hidráulico de la línea de conducción Cata Catas para el tramo IV*



A continuación, procedemos a realizar los cálculos obtenidos con el software, para determinar el caudal, la velocidad, la gradiente y el material.

Los resultados mostrados (tabla14) nos indican que emite un caudal máximo diario de 34 l/s, también se aprecian las velocidades y pérdidas de carga que están dentro del rango admisible, lo cual aparentemente no tendría parámetros de riesgo.

**Tabla 14**

*Cuadro resumen de datos calculados para tuberías del tramo IV*

Label	Length (Scaled) (m)	Diameter (mm)	Material	Hazen Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss Gradient (m/m)
P-5303	2	110	PVC-15	150	0	0	0
P-5304	1	110	PVC-15	150	0	0	0
P-1827	83	300	PVC-15	150	-17	0,24	0
P-1605	85	300	PVC-15	150	17	0,24	0
P-3805	41	200	PVC-15	150	-8,5	0,27	0
P-3776	41	200	PVC-15	150	-8,5	0,27	0
P-4032	78	350	PVC-15	150	-34	0,35	0
P-4053	65	350	PVC-15	150	34	0,35	0
P-285	7	350	PVC-15	150	34	0,35	0
P-286	172	350	PVC-15	150	34	0,35	0
P-1573	510	350	PVC-15	150	-34	0,35	0
P-1615	170	350	PVC-15	150	34	0,35	0
P-1623	62	350	PVC-15	150	-34	0,35	0
P-3772	27	200	PVC-15	150	-17	0,54	0,001
P-1628	53	200	PVC-15	150	-17	0,54	0,001
P-1630	23	200	PVC-15	150	-17	0,54	0,001
P-1632	20	200	PVC-15	150	-17	0,54	0,001
P-1633	53	200	PVC-15	150	17	0,54	0,001
P-1635	49	200	PVC-15	150	17	0,54	0,001
P-1637	49	200	PVC-15	150	17	0,54	0,001
P-1639	47	200	PVC-15	150	17	0,54	0,001
P-1641	214	200	PVC-15	150	17	0,54	0,001
P-5539	10	200	PVC-15	150	-17	0,54	0,001

En este último tramo (tabla 15) se establece que el material de la tubería será de PVC clase 15, la cual está en función a presión máxima de 66 metros de columna de agua en la cota de progresiva 4+031 que tiene una elevación de 35,58 metros y la presión mínima de 15 metros de columna de agua en la cota registrada de 3+879.

**Tabla 15**

*Presiones y gradiente hidráulico para la línea del tramo IV*

<b>Label</b>	<b>Pressure (m H<sub>2</sub>O)</b>	<b>Elevation (m)</b>	<b>Hydraulic Grade (m)</b>
J-3879	15	86	100,64
J-3893	18	82,45	100,66
J-4134	41	60,45	101,06
J-3718	44	57,06	101,13
J-3688	44	56,86	101,12
J-4029	45	56,01	101,15
J-3690	46	54,99	101,05
J-3984	46	54,33	100,37
J-3745	48	53,02	101,04
J-3679	49	51,76	101
J-4017	50	51,54	101,18
J-3764	50	51,21	100,98
J-3681	51	49,89	100,91
J-4266	51	49,78	100,39
J-3683	51	49,41	100,84
J-3685	51	49,32	100,77
J-5000	51	48,94	100,39
J-3750	52	48,67	100,71
J-3749	52	48,26	100,68
J-4025	58	43,58	101,47
J-2252	50	41,15	90,77
J-4028	60	41,06	101,45
J-484	61	40,41	101,44
J-4030	61	40,4	101,23
J-4031	66	35,58	101,39

## **4.2. Perfil General de la Línea de Conducción Cata Catas**

Continuando con la optimización mediante el modelamiento, obtenemos un mejor panorama del comportamiento hidráulico de la línea de conducción, en la siguientes imágenes y tablas se muestran los resultados del perfil hidráulico integrando los tramos mencionados anteriormente.

Analizado el perfil hidráulico general, identificamos que existen 8 picos altos en la topografía, estos picos generan un ascenso del flujo en los puntos identificados.

El comportamiento de este fluido en el sistema de agua potable de la línea de conducción Cata Catas se presenta en dos situaciones; cuando el sistema se encuentra vacío y cuando el sistema se encuentra presurizado.

### ***4.2.1. Cuando el Sistema se encuentra Vacío***

Este tal vez es el escenario más desfavorable del comportamiento de los fluidos en los sistemas de agua potable, ya que cuando el sistema se encuentra vacío, cargar la red nuevamente puede tardar horas, siendo esto motivo de análisis, ya que en esta se presentan distintos escenarios siendo los más comunes; el impedimento del transitorio y el reducido caudal de ingreso a la red.

### ***4.2.2. Cuando el Sistema se encuentra Presurizado***

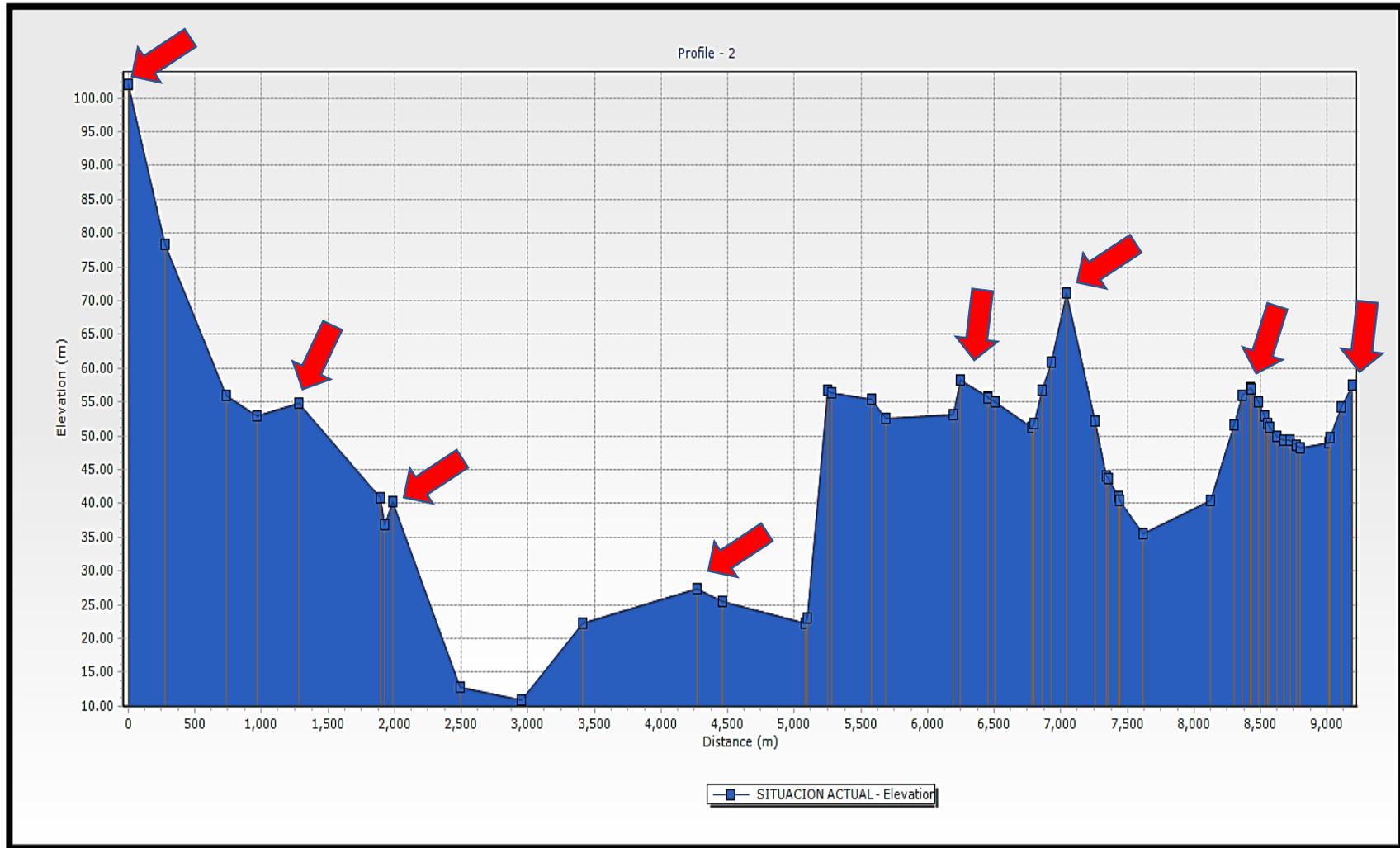
El escenario cuando el sistema se encuentran presurizados, se presentan una serie de efectos en función a las velocidades de los fluidos, estos se manifiestan con la acumulación de aire producido por la cavitación.

Así mismo al mantener un sistema presurizado con estas presiones altas, hacen de este sistema de riesgo alto, ya que una mala maniobra en la operación de su infraestructura podría generar un golpe de ariete en esta.

En el grafico a continuación (figura 35), se muestran la vista del perfil hidráulico completo de la línea de conducción señalando los picos altos en la topografía, estos puntos generan un ascenso del flujo donde anteriormente las tuberías fallaban continuamente.

**Figura 35**

*Perfil hidráulico general de la línea de conducción Cata Catas*



**Tabla 16***Presiones y gradientes hidráulicos para la línea de conducción de Cata Catas*

Label	Length (Scaled) (m)	Diameter (mm)	Material	Hazen Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss Gradient (m/m)
P-96	297	600	PVC-15	150	44,5	0,16	0
P-252	200	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-294	80	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-295	18	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-434	505	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-435	60	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-4106	217	500	PVC-15	150	-34	0,17	0
P-252	48	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-252	283	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-253	13	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-253	58	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-253	73	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-253	114	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-252	6	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-147	105	500	PVC-15	150	34	0,17	0
P-5501	19	600	Asbestos	140	59,2	0,21	0
P-87	33	600	PVC-15	150	59,2	0,21	0
P-5502	152	600	Asbestos	140	59,2	0,21	0
P-1827	83	300	PVC-15	150	-17	0,24	0
P-1605	85	300	PVC-15	150	17	0,24	0
P-4139	460	800	Asbestos	140	-133	0,26	0
P-4127	620	800	Asbestos	140	-133	0,26	0
P-4140	858	800	Asbestos	140	132,7	0,26	0
P-4	187	800	Asbestos	140	132,7	0,26	0
P-2088	506	800	Asbestos	140	132,7	0,26	0
P-2281	465	800	Asbestos	140	132,7	0,26	0
P-3	32	800	Asbestos	140	132,7	0,26	0
P-2089	61	800	Asbestos	140	-133	0,26	0

**Tabla 16 (Continuación)***Presiones y gradientes hidráulicos para la línea de conducción de Cata Catas*

Label	Length (Scaled) (m)	Diameter (mm)	Material	Hazen Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss Gradient (m/m)
P-4126	276	800	Asbestos	140	132,7	0,26	0
P-4134	231	800	Asbestos	140	132,7	0,26	0
P-4135	319	800	Asbestos	140	132,7	0,26	0
P-4133	456	800	Asbestos	140	132,7	0,26	0
P-2	607	800	Asbestos	140	132,7	0,26	0
P-3805	41	200	PVC-15	150	-8,5	0,27	0
P-3776	41	200	PVC-15	150	-8,5	0,27	0
P-4053	65	350	PVC-15	150	34	0,35	0
P-286	172	350	PVC-15	150	34	0,35	0
P-1573	510	350	PVC-15	150	-34	0,35	0
P-1615	170	350	PVC-15	150	34	0,35	0
P-1623	62	350	PVC-15	150	-34	0,35	0
P-4032	78	350	PVC-15	150	-34	0,35	0
P-285	7	350	PVC-15	150	34	0,35	0
P-3772	27	200	PVC-15	150	-17	0,54	0,001
P-1628	53	200	PVC-15	150	-17	0,54	0,001
P-1630	23	200	PVC-15	150	-17	0,54	0,001
P-1632	20	200	PVC-15	150	-17	0,54	0,001
P-1633	53	200	PVC-15	150	17	0,54	0,001
P-1635	49	200	PVC-15	150	17	0,54	0,001
P-1637	49	200	PVC-15	150	17	0,54	0,001
P-1639	47	200	PVC-15	150	17	0,54	0,001
P-1641	214	200	PVC-15	150	17	0,54	0,001
P-5539	10	200	PVC-15	150	-17	0,54	0,001

Evaluando los resultados de velocidades y pérdidas de carga (tabla 16), se verifica, que se encuentran dentro del rango admisible, obteniendo velocidades dentro del rango de 0.26 a 0.54 m/s y pérdidas de carga mínimas de 0 a 0.001.

Sin embargo, algo que debemos tener en cuenta es que el software Watercad, Watergems o Epanet, modela sistemas hidráulicos presurizados, estos softwares no

reconocen, sistemas o subsistemas que no se encuentren presurizados.

Es por ello por lo que es necesario las evaluaciones hidráulicas sean realizadas por ingenieros con criterio técnico que sepan analizar los resultados y evaluarlos.

**Tabla 17**

*Resultados del cálculo hidráulico en nodos de la línea*

<b>Label</b>	<b>Pressure (m H<sub>2</sub>O)</b>	<b>Elevation (m)</b>	<b>Hydraulic Grade (m)</b>
J-3870	11	90,74	101,53
J-3879	15	86	100,64
J-3893	18	82,45	100,66
J-4073	24	78,32	101,98
J-3868	29	72,58	101,49
J-4965	30	71,32	101,31
J-4122	30	71,13	101,49
J-4972	32	69,04	101,35
J-5308	41	60,91	101,5
J-4134	41	60,45	101,06
J-4977	43	58,44	101,53
J-4105	43	58,31	101,53
J-4968	44	57,7	101,56
J-4970	44	57,52	101,56
J-3718	44	57,06	101,13
J-3688	44	56,86	101,12
J-4064	45	56,75	101,58
J-5307	45	56,66	101,5
J-4969	45	56,27	101,58
J-4029	45	56,01	101,15
J-4074	46	55,9	101,94
J-5304	46	55,68	101,52
J-4123	46	55,32	101,57
J-5305	46	55,05	101,52
J-3690	46	54,99	101,05
J-4076	47	54,75	101,9

**Tabla 17 (Continuación)***Resultados del cálculo hidráulico en nodos de la línea*

<b>Label</b>	<b>Pressure (m H<sub>2</sub>O)</b>	<b>Elevation (m)</b>	<b>Hydraulic Grade (m)</b>
J-3984	46	54,33	100,37
J-4982	48	53,15	101,54
J-3745	48	53,02	101,04
J-4075	49	52,89	101,92
J-4976	49	52,51	101,56
J-5303	49	52,35	101,48
J-4121	49	52,25	101,48
J-3679	49	51,76	101
J-1237	50	51,72	101,56
J-5306	50	51,72	101,5
J-4017	50	51,54	101,18
J-1774	50	51,22	101,5
J-3764	50	51,21	100,98
J-3681	51	49,89	100,91
J-4266	51	49,78	100,39
J-3683	51	49,41	100,84
J-3685	51	49,32	100,77
J-5000	51	48,94	100,39
J-3750	52	48,67	100,71
J-3749	52	48,26	100,68
J-4979	57	44,05	101,47
J-4025	58	43,58	101,47
J-2252	50	41,15	90,77
J-4028	60	41,06	101,45
J-2514	61	40,92	101,85
J-484	61	40,41	101,44
J-4030	61	40,4	101,23
J-4165	62	40,21	101,84
J-4082	65	36,89	101,85
J-4031	66	35,58	101,39

**Tabla 17 (Continuación)**

*Resultados del cálculo hidráulico en nodos de la línea de conducción*

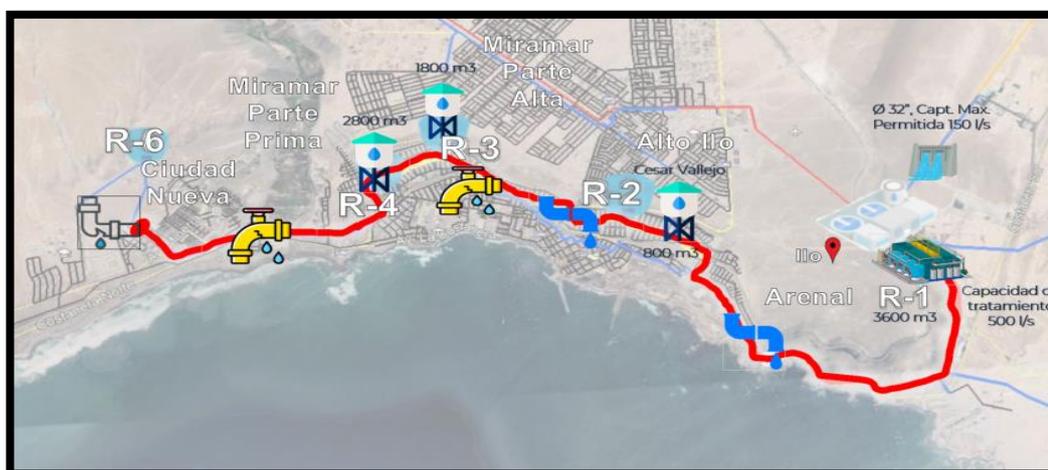
Label	Pressure (m H <sub>2</sub> O)	Elevation (m)	Hydraulic Grade (m)
J-4084	74	27,39	101,66
J-4081	76	25,43	101,64
J-3965	17	25,22	42,04
J-3966	17	25,06	42,01
J-4352	19	22,61	42
J-3979	20	22,58	42,3
J-4083	79	22,32	101,73
J-4069	79	22,25	101,6
J-4078	89	12,77	101,8
J-4077	91	10,9	101,77

En cuanto a los resultados como se muestra en la tabla 17 las presiones del sistema de obtiene una presión mínima de 11 metros de columna de agua y máxima de 91 metros de columna de agua estas fueron evaluadas en condiciones críticas en flujos presurizados (figura 36).

La presión de 91 metros de columna de agua es alta, sin embargo, esta es una presión es admisible para la clase de tubería que la soporta siendo esta tubería clase A-14 (soportando presiones de hasta 143 metros de columna de agua).

**Figura 36**

*Ruta de la línea de conducción desde el embalse hasta el reservorio 6*

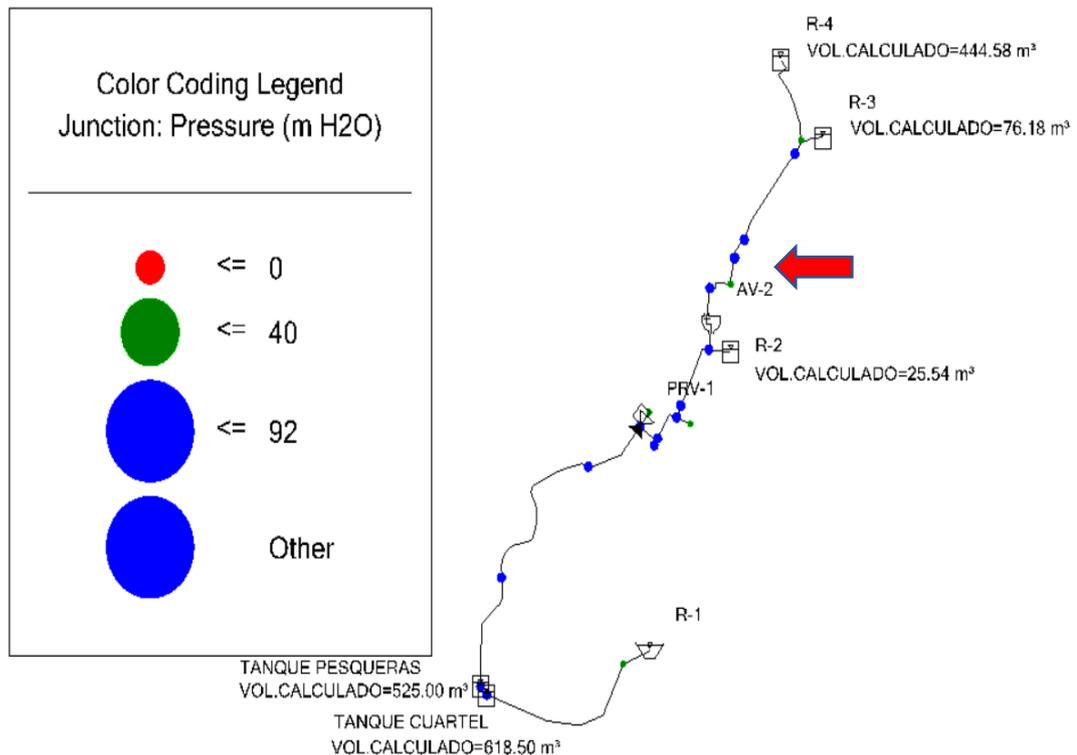


#### 4.2.3. Reducción de Presión de la Infraestructura Hidráulica

En el siguiente grafico (figura 37), mostramos el diagrama de los resultados de la optimización de la línea de conducción con los resultados obtenidos de las presiones que soportara para que el sistema funcione correctamente.

**Figura 37**

*Diagrama de presiones del sistema*



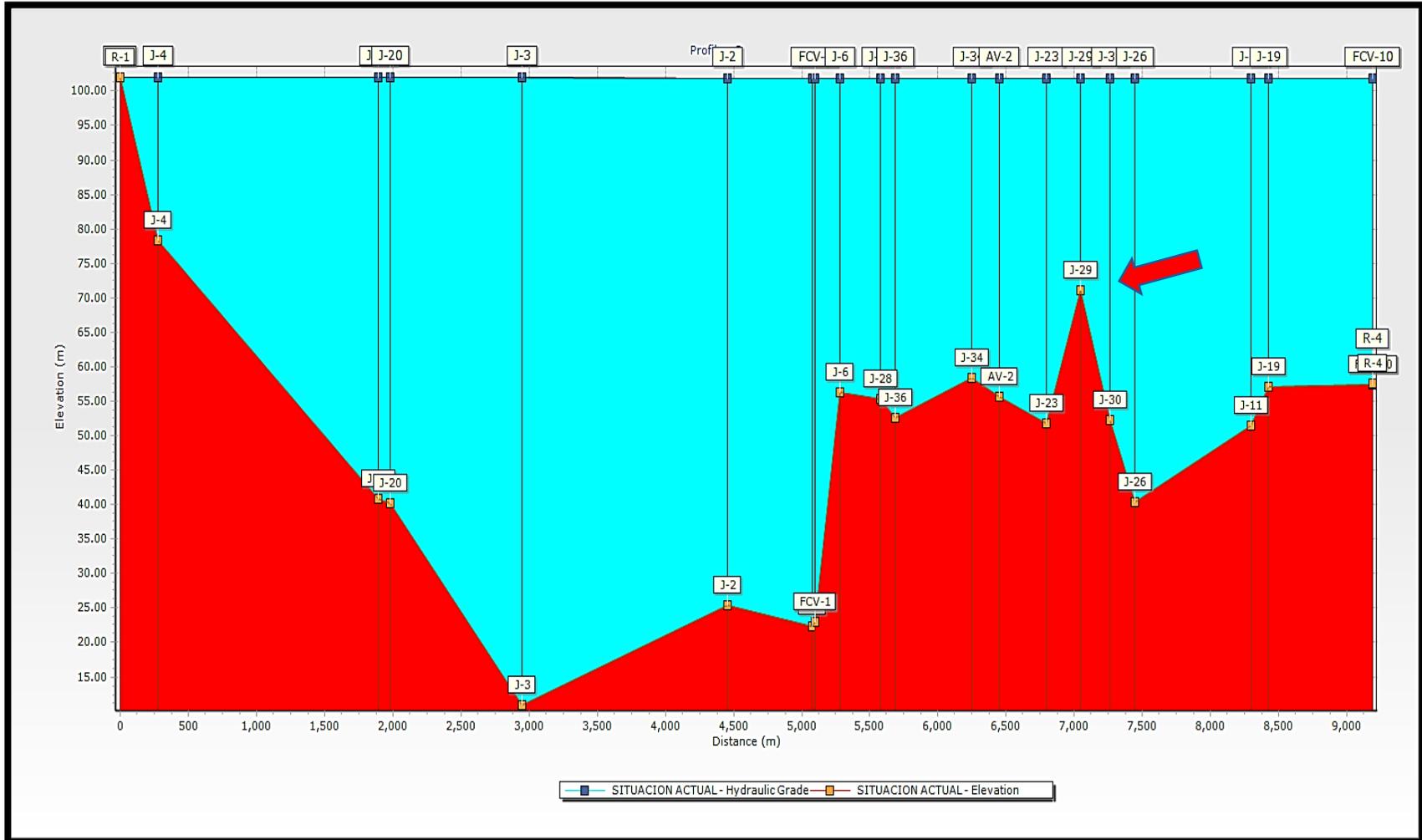
En la imagen mostrada (figura 38) se aprecia que las presiones en su mayoría superan los 40 metros de columna de agua, siendo la más alta de estas la de 92 metros de columna de agua

Estas presiones generan que tras su constante operación la infraestructura se vea fatigada por la fricción que estas presiones puedan causar, sin embargo, también debe considerarse que el diámetro del tramo I (800 mm), es demasiado para un caudal máximo de 132 l/s, por lo que podemos decir que este tramo está sobredimensionado. De tal forma que se deben analizar dos escenarios:

- Incorporar válvulas de aire para mitigar los efectos del sobredimensionamiento.
- Redimensionar el sistema de conducción con el diámetro y material adecuado.

**Figura 38**

*Perfil hidráulico resultante de la línea de conducción Cata Catas*



#### 4.2.3.1. Propuesta Técnica para Reducir la Fatiga

Al evaluar los resultados en la infraestructura hidráulica y el comportamiento del fluido en el sistema hidráulico de la línea de conducción, se identificaron 8 puntos críticos los cuales están situados en zonas elevadas de acuerdo con el perfil topográfico presentado.

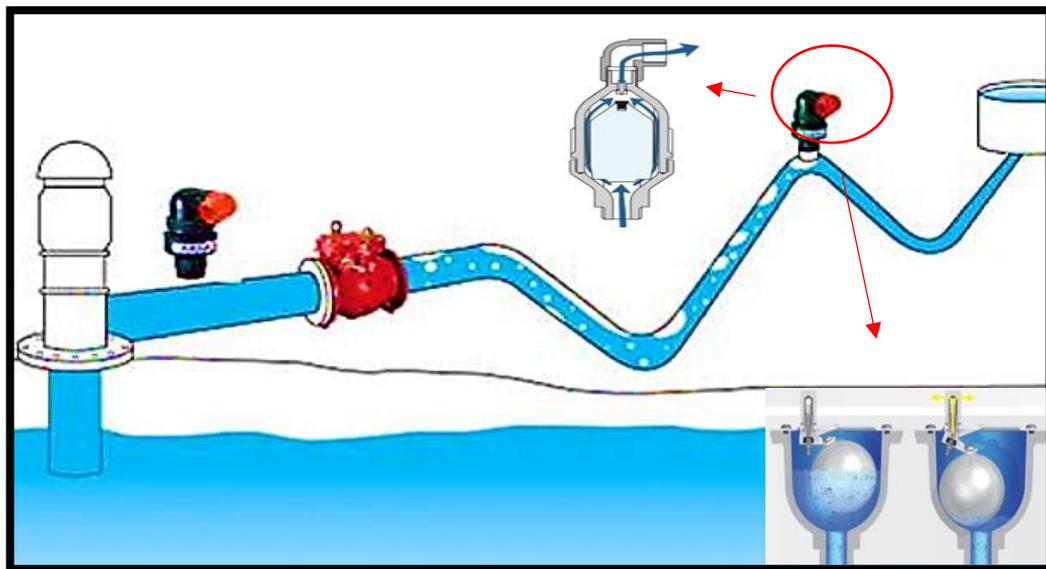
Estos puntos identificados, en un sistema en proceso de llenado, estarían podrían generar golpes de ariete producidos por maniobras operacionales, es por ello, que con el fin de mitigar estas posibles fallas se recomienda la instalación de válvulas de purga de aire triple efecto (tabla 18).

Con estas válvulas de aire se podrá mitigar la acumulación de bolsas de aire en los puntos identificados, así mismo permitirá el acceso de aire necesario el llenado de la red y la expulsión dinámica de aire, cuando el sistema se encuentre presurizado.

Estas válvulas de aire deben ser instaladas en los puntos ya identificados (figura 35), como las válvulas mostradas en la siguiente figura 39.

**Figura 39**

*Válvula eliminadora de aire para la línea de conducción*



A lo largo del transcurso del llenado de la tubería de la línea de conducción, continuamente se acumularán bolsas de aire en los puntos altos. Estas bolsas, por la presión del agua que llena la tubería, se mueven en sentido contrario a gran velocidad. El aire que queda atrapado en la parte superior, al perder esa velocidad, aumenta su volumen, provocando una constricción de la vena líquida.

**Tabla 18**

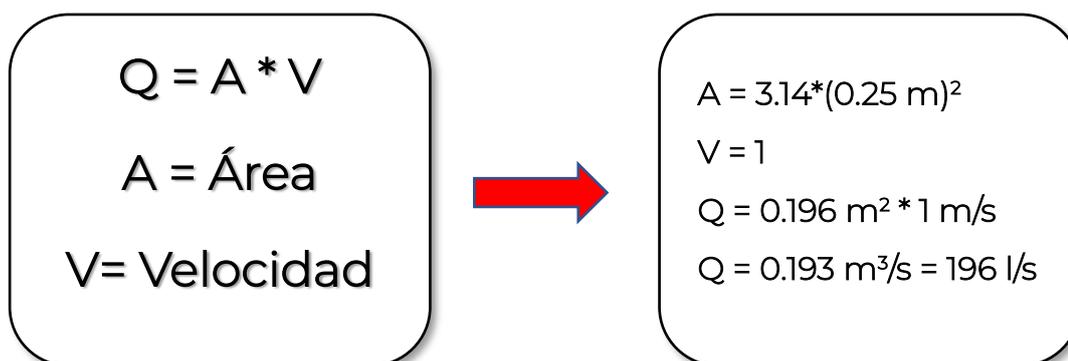
*Cuadro de coordenadas para la ubicación de las válvulas de aire*

Descripción	Este	Norte
Válvula de aire 01	251169,92	8044397,73
Válvula de aire 02	250360,91	8043864,52
Válvula de aire 03	249625,16	8044115,78
Válvula de aire 04	250535,83	8045996,14
Válvula de aire 05	251067,30	8046153,10
Válvula de aire 06	251589,45	8047059,33
Válvula de aire 07	251632,40	8047394,75
Válvula de aire 08	251746,90	8047429,94

Con el fin de mejorar las condiciones físicas de la infraestructura e incrementar su tiempo de vida, se plantea la renovación de tubería y cambio de diámetro (figura 40) del tramo I (tubería de 800 milímetros de asbesto de cemento), remplazándolas por tuberías de 500 mm, ya que este diámetro cumpliría con los caudales en la red.

**Figura 40**

*Calculo simple para determinar el diámetro según el caudal*

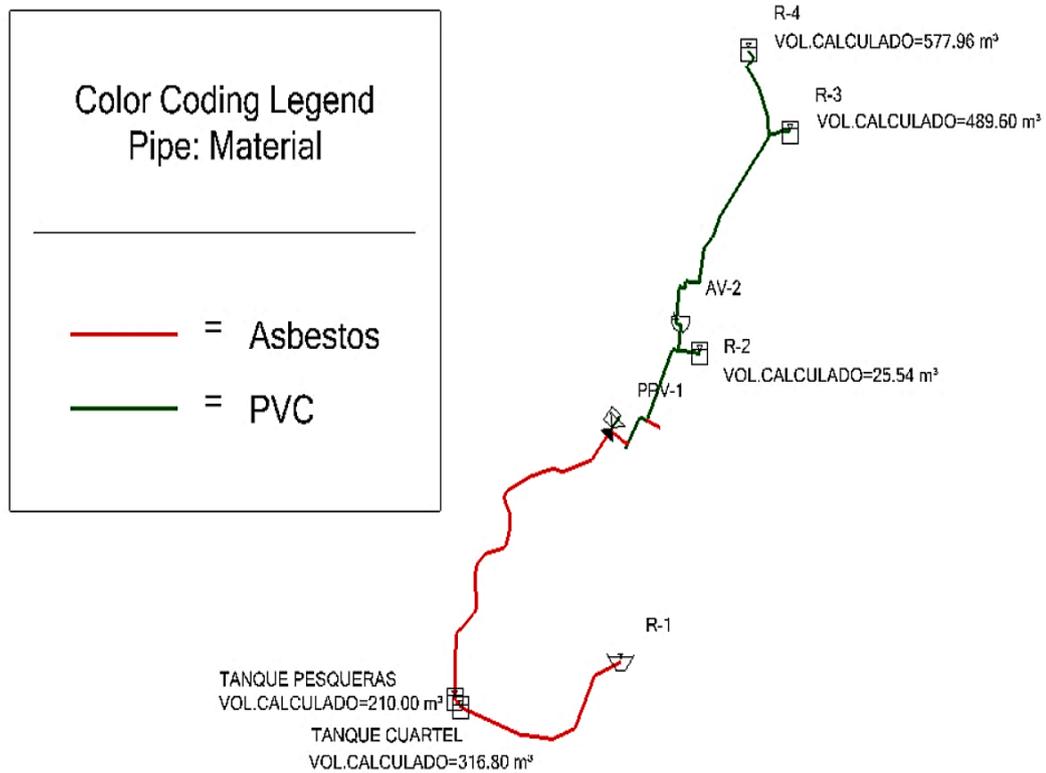


Así mismo se recomienda usar tuberías de HDPE PE100, ya que este diámetro puede cumplir con recibir caudales de hasta 785 l/s con velocidades de 1 m/s, así mismo el tipo de material posee gran resistencia química y a la abrasión, las tuberías de HDPE mantienen excelentes propiedades de escurrimiento durante su vida útil. Gracias a sus paredes lisas y a las características de impermeabilidad del PE, es posible obtener una mayor capacidad de flujo y mínimas pérdidas por fricción.

Las tuberías para hacer el cambio se sitúan en el tramo I con 5,430 metros tal como se muestra en el grafico a continuación (figura 41).

**Figura 41**

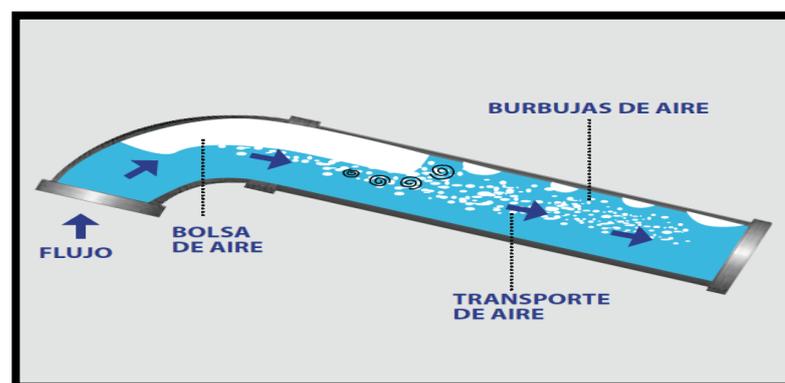
*Identificación de tramo critico a renovar*



Las tuberías en la línea de conducción que muestran el fenómeno de la cavitación en las cuales se realizará el cambio, se muestra en el grafico a continuación (figura 42).

**Figura 42**

*Formación de aire en tuberías*



Nota. Fluidos y Herramientas (2018).

## CAPÍTULO V : DISCUSIÓN

En la presente investigación se tuvo como primer objetivo proponer la optimización de tuberías mediante la evaluación de la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, Moquegua, 2022; los indicadores abordados tienen como antecedentes los estudios realizados por Navarro y Gonzalo (2021), donde se muestra una reducción significativa del índice del agua no facturada a partir de los hechos de tener un sistema controlado con válvulas de aislamiento y reductoras de presión, monitoreando variables de caudal y presión esto para una eficiente operación del sistema de distribución de agua de Ilo al realizar la modelación hidráulica a partir de una sectorización calculada en gabinete obteniendo 9 sectores que cuentan con presiones aceptables de 10 metros de columna de agua la mínima y 35 metros de columna de agua la máxima, encontrándose estas dentro del rango mínimo y máximo mencionado en la normativa OS 050. Teniendo una afinidad a esto, Ticona (2019) en su investigación donde su análisis fue similar elaborando un modelo hidráulico a fin contar con una herramienta para determinar las pérdidas de agua del sector del sector II-B de la ciudad de Ilo, lo que permitió evaluar caudales mínimos nocturnos y redujo las presiones que causaban desequilibrio hídrico esto se hizo mediante la automatización de válvulas reductoras de presión y concluyó que era posible reducir las pérdidas de agua potable por lo que a menor presión menor caudal de fuga y se determinó que las pérdidas de agua son igual al 41,94%, pérdidas aparentes (no Físicas) es igual al 1,32% y pérdidas físicas (operacionales) es igual al 40,62%.

A partir de los hallazgos encontrados, aceptamos la hipótesis que establece que mediante la evaluación de tuberías se optimizará y reducirá las roturas en la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo. Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Alvarado (2019) y Prudencio (2015) quienes plantean un modelado con el uso del procesamiento de datos Watercad donde concuerdan bastante en los métodos de operación, solo diferenciándose en que ellos plantean un modelado principal que tiene alrededor de 346 lotes, y en nuestra investigación se abordó a 15800 habitantes quiere decir un monitoreo de 15 kilómetros para una evaluación, modelamiento y optimización. Para el primer objetivo general donde se demuestra una moderada relación de los cálculos alcanzados con el modelamiento hidráulico, en los que se observan presiones estáticas elevadas de 91 metros de columna de agua lo cual tienen repercusiones físicas que afectan a las tuberías, más aún tomando en cuenta la antigüedad de las redes y la realidad de las fugas, para esto identificamos las zonas críticas con las tuberías que requieren ser

cambiadas para dar una solución óptima. Estas conclusiones se sustentan en el manual de hidráulica de tuberías y canales de Rocha (2007), de tal forma que los cálculos finales mediante el modelamiento con el programa Watergems se puede observar que el valor promedio de presiones en su mayoría superan los 40 metros de columna de agua, siendo la más alta de estas la de 92 metros de columna de agua, estas presiones generan que tras su constante operación la infraestructura se vea fatigada por la fricción que estas presiones puedan causar, sin embargo, también debe considerarse que el diámetro del tramo I (800 mm), es demasiado para un caudal máximo de 132 l/s, por lo que podemos decir que este tramo está sobre dimensionado.

Con el objetivo de realizar un modelamiento hidráulico de la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, previamente se estableció una comparación entre el uso del programa Epanet y el programa Watergems, concluimos que el programa Epanet a diferencia del programa Watergems no presenta un algoritmo de multi-iteración, por lo que se realizó un modelamiento óptimo con una iteración manual. Estas conclusiones previas al modelado son respaldadas por el curso de diseño de redes de abastecimiento de agua publicado en cursos ingeniería civil (2020), que recomienda el aislamiento de sectores que presenten una diferencia altimétrica considerable para obtener un mejor desempeño, para lo cual se advierte usar tuberías de HDPE PE100, ya que este diámetro puede cumplir con recibir caudales de hasta 785 l/s con velocidades de 1 m/s.

Observando estos cálculos obtenidos por el programa Watergems con respecto a la velocidad, el caudal, el diámetro de tubería y las presiones, se establece como aceptable dentro de las consideraciones. De igual forma estos resultados son similares a lo encontrado por Narváez (2011) que presenta un procedimiento similar para la modelación y el diseño de redes hidráulicas con el programa Watdis, ya que de igual manera se plantea una sectorización aislada de las redes de tuberías.

Analizando estos aspectos podemos ver qué; con lo que se refiere a velocidad de flujo en tuberías los resultados presenta un valor promedio de 1 m/s, cumplen con el mínimo de 0,60 m/s de la normativa; de igual manera como valor promedio de presión de 92 metros de columna de agua por lo que la presión es admisible para la clase de tubería que la soportara, así como se debe hacer el cambio de tubería en la zona que se sitúan en el tramo I con 5,430 metros.

## CONCLUSIONES

En esta tesis se propuso la optimización de tuberías mediante la evaluación de la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, porque implementaban acciones para dar solución a las deficiencias en su operación, colapsos y aniegos.

En la investigación se evaluó el comportamiento de la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, donde la evaluación demostró que se cuenta con 8 puntos críticos en el recorrido de esta los cuales requieren ser intervenidos, con el fin de evitar fallas en la operación del sistema. En la evaluación se observó que las presiones y velocidades pueden ser admisibles, sin embargo, debido a la falta de válvulas de aire una mala maniobra complicaría el funcionamiento del sistema.

La investigación se propuso optimizar la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, mediante tuberías adecuadas donde se llegó a obtener en los nudos de la línea de conducción presiones que están entre 11 metros de columna de agua y 91 metros de columna de agua según lo que a simple vista demuestra una carga alta de presión en la línea de conducción, sin embargo, la calidad de los materiales cumple con la resistencia de estos rangos de presión.

El estudio realizó un modelamiento hidráulico de la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, podemos decir que el modelamiento realizado por el programa Watergems de la línea de conducción carece de válvulas de aire, lo cual ha generado y seguirá generando fallas en la infraestructura, así mismo posee tramos con infraestructura obsoleta, que debe renovarse para extender su tiempo de uso, la simulación de la línea de conducción hizo una operación de llenado de reservorios, simulando las condiciones típicas de operación.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda la instalación de las 5 válvulas triple efecto mencionadas, con estas válvulas se mitigarán las deficiencias presentadas en el sistema ya que estas están diseñadas para la admisión y descarga de grandes bolsas de aire, y burbujas atrapadas dentro de las líneas de tubería con fluidos. Su especial diseño permite un cierre hermético y una confiabilidad aun en sistemas de baja presión.

Así mismo se recomienda cambiar los tramos de tuberías de A.C, ya que estas además de ser de una antigüedad mayor a 30 años, no son recomendables para el transporte de agua para el consumo humano.

Se deberán de renovar las tuberías de asbesto de cemento, a fin de extender el tiempo de uso de esta infraestructura.

Se recomienda usar tuberías de HDPE PE100, ya que con este diámetro cumple con recibir caudales de hasta 785 l/s con velocidades de 1 m/s, así mismo el tipo de material posee gran resistencia química y a la abrasión y mantienen excelentes propiedades de escurrimiento durante su vida útil.

Se recomienda la instalación de puntos de monitoreo de presión para línea de conducción con el modelo hidráulico, a fin de prever una operación adecuada de esta.

Se recomienda contar con personal capacitado con el fin de realizar una adecuada operación y mantenimiento del sistema y poder prolongar la vida útil de la infraestructura en los tramos críticos.

Para la elección e instalación de los diferentes tipos de válvulas, como lo investigado en esta tesis se sugieren las siguientes válvulas; válvulas de seccionamiento, válvulas reguladoras de presión (PRV), válvulas de retención, entre otras.

En el futuro cuando se disponga de más registros de datos del sector, se recomienda que se realice nuevamente la simulación con algunos de los softwares estudiados para verificar los resultados obtenidos en la presente investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado Sánchez, N. y Cauna Aguilar, H. (2019). *Análisis del índice de pérdidas para mejorar el sistema de abastecimiento de agua potable del sector VI de la ciudad de Tacna, 2019*. Universidad Privada de Tacna. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/821>
- Albarrán Tirado, L. (2019). *Evaluación de los sistemas de abastecimiento de agua potable de la localidad de Shirac, San Marcos, Cajamarca, 2019*. Universidad Nacional de Cajamarca. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3115>
- Ana, A. N. (2021). *Cultura del agua*. Obtenido de <https://www.ana.gob.pe/>
- Arnalich Castañeda, S. (2008). Abastecimiento de agua por gravedad, *España: Concepción, Diseño y dimensionamiento para proyectos de Cooperación*. <http://www.arnalich.com/es/libros.html>
- Arocha, R. S. (1977). *Abastecimiento de agua teoría y diseño*. Caracas: Vega. [https://drive.google.com/file/d/1KtYwN\\_Vay4Q3ZaddmwhyzFC0cePSvOLb/vi](https://drive.google.com/file/d/1KtYwN_Vay4Q3ZaddmwhyzFC0cePSvOLb/vi)w
- Bayona Pérez, J. E. (2015). *Renovación y sectorización de redes de agua potable de la ciudad Imperial provincia Cañete departamento de Lima, Septiembre 2015*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo EPIS Huaraz, Ancash. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/1615>
- Bayona, J. (2018). *Índice de agua no contabilizada*. Universidad de Piura, Peru: <https://hdl.handle.net/11042/3312>
- Bentley. (2016). *Software de análisis y diseño de sistemas de distribución de agua*. Obtenido de Software de análisis y diseño de sistemas de distribución de agua: <https://www.bentley.com/es/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/watergems>
- Castro, D.M. (2016). *Sobre la modelación hidráulica en obras de Saneamiento Básico Quito, Ecuador*. Departamento de Ciencias del Agua Escuela Politécnica Nacional.
- Campbell Gonzales, E. (2013). *Propuesta Para una Metodología de Sectorización de Redes de Abastecimiento de Agua Potable, Valencia*. Universidad Politecnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/39139/Tesina%20Master%20Ingenieria%20hidraulica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chávez, R. R. y Rodríguez, V. L. (2015). *Evaluación y rediseño hidráulico de los reservorios y línea de aducción como alternativa solución para el abastecimiento de agua en los AA.HH. nuevo moro y el arenal del distrito de Moro, Chimbote*. Universidad Nacional del Santa. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/2700>
- DeVellis, R. (1991). *Scale Development: Theory and Applications*. Newberry Park: Sage.
- EPS Tacna S.A. (2013-2043). *Plan Maestro Optimizado Actualizado 2013-2043*. Tacna: EPS Tacna S.A.
- Espinoza Medina, J. y Pérez Rodríguez, D. (2006). *Evaluación y Mejoramiento del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable en la localidad de El Sauce, departamento de León, Managua, Nicaragua, 2010*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua recinto universitario Rubén Darío. <https://repositorio.unan.edu.ni/4921/1/72449.pdf>

- Fallis, P., Hübschen K. y Oertlé, E. (2011). *Guía para la reducción de las pérdidas de agua*. republic, Frankfurt am Main: Rohland&more, Offenbach/Alemania.
- Fluidos y Herramientas (2018). Medidores para agua. *Equipos de medicion*. <http://fluidosyherramientas.com/medidores-de-agua/125/medidores-para-agua>.
- Gómez Gómez, E. (2010). *Diseño del sistema de conducción de agua potable para el casco urbano y diseño de carretera hacia la aldea los Maldonado del municipio de Malacatancito, Huehuetenango, Guatemala, 2010*. Universidad de San Carlos de Guatemala. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3093\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3093_C.pdf)
- Hernández, T. E. y Corredor, B. C. (2017). *Diseño y construcción de una planta modelo de tratamiento para potabilización de agua, se dispondrá en el laboratorio de aguas de la Universidad Católica de Colombia*. Universidad Católica de Colombia, Bogotá.
- Jiménez, J. (2013). *Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario, México*: Universidad Veracruzana.
- Marco Castro D., P. D.-I. (2016). *Sobre la modelación hidráulica en obras de saneamiento básico Quito, Ecuador*: Departamento de Ciencias del Agua.
- Ministerio de Servicios y Obras Públicas. (2004). *Instalaciones de agua - Diseño para sistemas de agua potable, Bolivia*: IBNORCA.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Consideraciones básicas de diseño de infraestructura sanitaria en OS.0100 (pág. OS.0100) Lima*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *OS.050 Redes de distribución de agua para consumo humano*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Navarro Copa, E. y Gonzalo Gonzalo, S. (2021). *Mejoramiento del modelamiento hidráulico para la sectorización de redes de agua potable de la ciudad de Ilo, 2021*. Universidad Privada de Tacna. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/1661>
- Narváez Pozo, W. (2011). *Rehabilitación del sistema de agua potable Sambache, Salcoto y diseño de la línea de impulsión al tanque de reserva Mushuñan, Ecuador, 2011*. Universidad Internacional del Ecuador. <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2047>
- Narváez, R. (2019). *Libro Abastecimiento de Agua, Ancash*: Obtenido de: <https://es.slideshare.net/freddyacunavilla/250603337-libroabastecimientodeaguaricardonarvaez>.
- Organización Panamericana de la Salud/CEPIS/05.145. (2005). *Guía para el diseño de redes de distribución en sistemas rurales de abastecimiento de agua, Lima*. <https://jeffreydiaz.files.wordpress.com/2008/08/disen-agua-potable.pdf>
- Patrick Fallis, Katja Hübschen, Emmanuel Oertlé,. (2011). *Guía para la reducción de las pérdidas de agua, republic Frankfurt am Main*: Rohland&more, Offenbach/Alemania.
- Pérez, F. D. (2002). *Evolución histórica de las fórmulas para expresar las pérdidas de carga en tuberías*. Cuba: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.
- Prudencio Arenas, J. y Requis Carbajal, L. (2016). *Modelo de simulación de líneas de conducción e impulsión del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Cerro de Pasco, 2015*. Universidad Nacional Daniel Alcides

- Carrión. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/95>
- Seminario Hernández, C. y Tantajulca Correa, D. (2019). *Evaluación de las pérdidas de carga en una línea de conducción de agua, caserío los huertos, Huanchaco, Trujillo, La libertad, 2019*. Universidad Cesar Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/41661>
- Rocha, F. A. (2007). *Hidráulica de tuberías y canales*. Lima: Facultad De Ingeniería Civil Universidad Nacional de Ingeniería.
- Shanel, B. F. (2017). *Propuesta de optimización del servicio de la red de distribución de agua potable -RDAP- del municipio de Madrid, Cundinamarca"-Cundinamarca*. Cundinamarca: Universidad Católica de Colombia.
- Tecfluid. (2018). Medidores electromagneticos en linea y de insercion. *Tecfluid the art of measuring*. <https://tecfluid.com/caudalímetros-electromagneticos-en-linea-o-insercion/>.
- Terán, I. J. (2012). *Manual para el diseño de Sistemas de Agua Potable*. Obtenido de: <https://www.uv.mx/ingenieriacivil/files/2013/09/Manual-de-Diseno-para-Proyectos-de-Hidraulica.pdf>
- Ticona Valdez, E. y Quiroz Ramos, J. (2019). *Reducción de pérdidas y agua no contabilizada del Sector IIB en la ciudad de Ilo, 2019*. Universidad Privada de Tacna. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/1208>
- Ulsen, M. A. (2017). *"Reducción de pérdidas en sistemas*. Santiago: pontificia Universidad Católica de Chile.
- Vogel, I. M. (2018). *Introducción a la gestión de perdidas de agua, Lima: SUNASS*.
- Wales, J. (2016). *Wikipedia enciclopedia libre*. Obtenido de el 13 de octubre de 2016: <https://es.wikipedia.org/wiki/WaterCAD>
- Wikipedia (2019). *Obtenido de wikipedia el 23 de setiembre del 2019:* <https://es.wikipedia.org/wiki/Electrov%C3%A1lvula>

## ANEXOS

## Matriz de Consistencia

“EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE TUBERÍAS EN LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA CATA CATAS AL DISTRITO ILO, MOQUEGUA, 2022”				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema General</b></p> <p>¿Cuál será el efecto de la evaluación y optimización de tuberías en la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, Moquegua, 2022?</p>	<p><b>Objetivo General</b></p> <p>Proponer la optimización de tuberías mediante la evaluación de la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, Moquegua, 2022.</p>	<p><b>Hipótesis General</b></p> <p>Mediante la evaluación de tuberías se optimizará y reducirá las roturas en la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, Moquegua, 2022.</p>	<p><b>Variable Independiente</b></p> <p>Clases de tuberías</p> <p><b>Indicadores:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tuberías de Acero</li> <li>- Tuberías HDPE</li> <li>- Tuberías de PVC</li> <li>- Hierro Dúctil</li> <li>- Población (Dotación)</li> <li>- Topografía</li> </ul>	<p><b>Tipo de investigación</b></p> <p>Explicativa</p> <p>Este tipo de investigación será cuantitativa transversal ya que busca encontrar las causas del problema. Por lo tanto, es de tipo explicativo ya que implica explicar la conducta de una variable (variable dependiente) en base a una o más variables independientes. Este tipo de estudio permite explicar, comprender e interpretar por qué ocurre un fenómeno y en qué circunstancias, para encontrar las raíces del problema.</p>
<p><b>Problemas Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Cuál es el diagnóstico de la evaluación del comportamiento de la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, Moquegua?</li> <li>- ¿Cómo optimizar la línea de conducción mediante tuberías adecuadas en la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, Moquegua?</li> <li>- ¿Como es el modelamiento hidráulico de la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, Moquegua?</li> </ul>	<p><b>Objetivos Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluar el comportamiento de la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, Moquegua.</li> <li>- Optimizar la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, mediante tuberías adecuadas.</li> <li>- Realizar un modelamiento hidráulico de la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, Moquegua.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis Específicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, presenta roturas en zonas bajas provocando aniegos.</li> <li>- Si se emplea tuberías adecuadas, se optimiza la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo.</li> <li>- El modelamiento hidráulico de la línea de conducción de la planta de tratamiento de agua Cata Catas al distrito Ilo, permitirá gestionar adecuadamente los eventos críticos.</li> </ul>	<p><b>Variable Dependiente</b></p> <p>Evaluación y optimización</p> <p><b>Indicadores:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Presión mínima de la tubería.</li> <li>- Velocidad mínima en la tubería.</li> <li>- Caudal de ingreso a la línea de conducción.</li> <li>- Diámetro mínimo de la tubería.</li> <li>- Costos.</li> </ul>	<p><b>Diseño de Investigación</b></p> <p>Comprensivo</p> <p>Para determinar el nivel de investigación, la tesis tiene como objetivo evaluar, explicar, proponer y modificar la línea de conducción de la planta potabilizadora de Cata Catas al distrito de Ilo, a través de la modelación hidráulica, para optimizar dicha línea con cambios de clases de tubería. y sistemas de reducción de presión, por lo que el nivel de investigación es Aprehensivo, Comprensivo - Integrativo.</p>