

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



**TESIS**

**“EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA LÍNEA DE ADUCCIÓN  
SECTOR CONO NORTE USANDO MODELAMIENTO DE REDES EN  
LA CIUDAD DE TACNA - 2021”**

**PARA OPTAR:**

**EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. CRYSTIAN MACHACA ARUGA**  
**Bach. BRYAN CARLOS JEFF CHURA CABALLERO**

**TACNA – PERÚ**

**2021**

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

**TESIS**

**“EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA LÍNEA DE  
ADUCCIÓN SECTOR CONO NORTE USANDO  
MODELAMIENTO DE REDES EN LA CIUDAD DE TACNA -  
2021”**

**Tesis sustentada y aprobada el 27 de noviembre de 2021; estando el  
jurado calificador integrado por:**

**PRESIDENTE : Mtro. ULIANOV FARFÁN KEHUARUCHO**

**SECRETARIO : Mtro. GIANCARLOS JAVIER MACHACA FRIAS**

**VOCAL : Mag. ALFONSO OSWALDO FLORES MELLO**

**ASESOR : Mtro. JIMMI YURI SILVA CHARAJA**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Crystian Machaca Aruga, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 70025005.

Yo Bryan Carlos Jeff Chura Caballero, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 70618008.

Declaramos bajo juramento que:

1. Somos autores de la tesis titulada:  
*“Evaluación y mejoramiento de la línea de aducción sector cono norte usando modelamiento de redes en la ciudad de Tacna - 2021”* el mismo que se presenta 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 referencia 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 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 ellos en favor de tercero con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumimos las consecuencias y sanciones que de

mi acción se derive, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

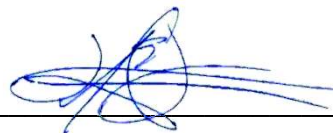
Tacna, noviembre de 2021



---

Bach. Crystian Machaca Aruga

DNI: 70025005



---

Bach. Bryan Carlos Jeff Chura Caballero

DNI: 70618008

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mi madre Bonifacia, por darme la vida y por ser un ejemplo de persona, valiente y perseverante, que estuvo a mi lado incondicionalmente y que siempre confió en mí, a mi Padre Néstor que me enseñó a nunca rendirse y verle siempre el lado positivo a las cosas, a mi hermana Fiorella que desde el cielo debe sentirse orgullosa de su hermano. A Dios por permitirme dar este gran pasó en mi vida.

A mis docentes de la Universidad Privada de Tacna, compañeros y a todas las personas por su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera profesional.

**Bryan Carlos Jeff Chura Caballero**

Quiero dedicar esta tesis a Dios, ya que él siempre ha estado para mí y mi familia protegiéndonos, a mis padres Odilon y Marcelina porque ellos han dado razón a mi vida, por brindarme su apoyo incondicional y sus consejos para hacer de mí una mejor persona, a mis hermanas Nilda, Elizabeth y Mary Luz por sus palabras de aliento y su compañía, a mi novia Melissa por su amor, sus palabras y su confianza, a mis sobrinos Fernanda y Harvey por alegrar mis días, a mis abuelitos Modesto y Casimira quienes desde el cielo me iluminan y cuidan siempre.

A mis Docentes de la Universidad Privada de Tacna, compañeros y a todas las personas que han contribuido con mi desarrollo profesional.

**Crystian Machaca Aruga**

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestra Asesor de Tesis Ing. Jimmy Yuri Silva Charaja por su apoyo para la realización de nuestro trabajo de investigación.

Agradecemos a los docentes de la carrera profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Privada de Tacna, por la excelente labor de formar profesionales líderes y por brindarnos todos sus valiosos conocimientos y experiencias que serán de mucha utilidad en nuestro camino profesional.

## ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DEL JURADO.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Descripción del Problema.....	3
1.2. Formulación del problema.....	4
1.2.1. Problema General.....	4
1.2.2. Problemas Específicos.....	4
1.3. Justificación e importancia.....	4
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo General.....	6
1.4.2. Objetivos Específicos.....	6
1.5. Hipótesis.....	6
1.5.1. Hipótesis General.....	6
1.5.2. Hipótesis Específica.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes de Estudios.....	7
2.2. Bases Teóricas.....	8
2.2.1. Sistema de abastecimiento de agua.....	8
2.2.2. Criterios para el Diseño de una Línea de Aducción por Gravedad.....	10
2.2.3. Norma os.010: Captación y Conducción de agua para consumo humano.....	14
2.2.4. Componente de una línea de aducción.....	16
2.2.5. Software EPANET.....	25
2.2.6. Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento Ámbito Rural.....	26
2.3. Definición de Términos.....	26
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	29

3.1.	Tipo y diseño de investigación .....	29
3.1.1.	Tipo de investigación .....	29
3.1.2.	Diseño de la investigación .....	29
3.2.	Población y/o muestra de estudio .....	29
3.3.	Operacionalización de variables .....	31
3.4.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos .....	32
3.4.3.	Descripción del sistema actual.....	37
3.4.4.	Estudio Topográfico.....	38
3.4.5.	Recolección de parámetros hidráulicos in situ .....	50
3.5.	Procesamiento y análisis de datos.....	59
3.5.1.	Georreferenciación .....	59
3.5.2.	Reconstrucción del trazo en planta.....	63
3.5.3.	Información para el modelamiento del estado actual .....	66
3.5.4.	Modelamiento del estado actual .....	68
3.5.5.	Análisis de parámetros hidráulicos Insitu - Modelamiento de Redes.....	80
3.5.6.	Propuesta de mejora N° 1.....	84
3.5.7.	Propuesta de mejora N° 2.....	90
3.5.8.	Validación por juicio de expertos .....	96
CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....		97
4.1.	Inspección visual de campo .....	97
4.2.	Estudio topográfico .....	97
4.3.	Parámetros hidráulicos .....	99
4.4.	Modelado.....	101
4.5.	Propuesta de mejora 1 .....	101
4.6.	Propuesta de mejora 2 .....	102
4.7.	Resumen de Propuestas de Mejora.....	103
4.8.	Juicio de expertos.....	103
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....		107
CONCLUSIONES .....		108
RECOMENDACIONES.....		110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		111
ANEXOS.....		113



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficiente de Hazen-Williams para diferentes materiales .....	12
Tabla 2. Coeficiente de rugosidad de Manning .....	14
Tabla 3. Coeficiente C de Hazen y Williams según RNE .....	15
Tabla 4. Características tubería PVC agua fría a presión NTP339.002.2015.....	18
Tabla 5. Características de tubería HDPE .....	19
Tabla 6. Sub sectores de abastecimiento sector Cono Norte Tacna .....	30
Tabla 7. Matriz de operacionalización de variables .....	31
Tabla 8. Ubicación del Área de estudio.....	38
Tabla 9. Coordenadas del punto de Muestreo del reservorio R10.....	39
Tabla 10. Coordenadas de referencia para el levantamiento topográfico.....	40
Tabla 11. Accesorios utilizados en la reconstrucción del trazo.....	65
Tabla 12. Datos para modelamiento tramo Reservorio R10-Válvula Bellavista.....	66
Tabla 13. Para modelado tramo Válv. Bellavista-Válv. San Pedro y San Pablo .....	67
Tabla 14. Datos para Reservorio R10.....	72
Tabla 15. Datos para VRP_Bellavista .....	74
Tabla 16. Datos para tubería (Línea de Aducción).....	75
Tabla 17. Comparativa aducción Cono Norte vs Consideraciones de diseño .....	83
Tabla 18. Datos de entrada propuesta N° 1-Tubería paralela 562 m.....	87
Tabla 19. Datos para punto de conexión n10.....	93
Tabla 20. Datos para tubería tramo 0+000 a 0+560.....	94
Tabla 21. Coordenadas UTM de los componentes de la línea de aducción .....	98
Tabla 22. Comparativo de parámetros hidráulicos de Propuestas de Mejora.....	103
Tabla 23. Cálculo del Coeficiente de Validez de Contenido .....	105
Tabla 24. Calculo de alfa de Cronbach de Confiabilidad .....	106

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Configuración típica de un sistema de abastecimiento de agua .....	9
Figura 2. Reservorio apoyado.....	17
Figura 3. Accesorios de unión de tuberías .....	20
Figura 4. Accesorios de cambio de trayectoria.....	21
Figura 5. Accesorios de cambio de trayectoria.....	22
Figura 6. Cámara con válvula de purga .....	22
Figura 7. Cámara con Válvula de Aire .....	23
Figura 8. Entorno del software EPANET.....	25
Figura 9. Esquema de línea de aducción y sub sectores de abastecimiento.....	30
Figura 10. Plano de base catastral y sub sectores de abastecimiento .....	32
Figura 11. Red proyectada de agua potable Asoc. San Pedro y San Pablo .....	32
Figura 12. Inspección de la caseta de válvulas .....	33
Figura 13. Macromedidor MAG5000 – Med. de caudal de línea de aducción Ø 8”.	34
Figura 14. Salida de la línea de aducción Ø 6”.....	34
Figura 15. Punto de salida hacia la calle.....	35
Figura 16. Macromedidor en Bypass R14-R10 .....	35
Figura 17. Válvula de aire en salida de línea de aducción .....	36
Figura 18. Mira para control del nivel de agua en el reservorio R10.....	36
Figura 19. Mediciones en cajas de válvulas.....	37
Figura 20. Mapa de ubicación del Área de estudio .....	39
Figura 21. BM 01 del levantamiento topográfico .....	40
Figura 22. BM 02 del levantamiento topográfico .....	40
Figura 23. Estación en BMs de control .....	41
Figura 24. Inicio de levantamiento, zona alta .....	42
Figura 25. Taludes en zona alta.....	42
Figura 26. Talud pronunciado en zona alta .....	43
Figura 27. Viviendas y calles zona alta .....	43
Figura 28. Muros de piedra y neumáticos .....	44
Figura 29. Accesos con relleno y talud pronunciado .....	44
Figura 30. Vía de acceso con relleno en zona intermedia .....	45
Figura 31. Levantamiento de trocha.....	45
Figura 32. Levantamiento de accesos .....	46
Figura 33. Levantamiento de escaleras y postes .....	46
Figura 34. Levantamiento de límites de propiedad.....	47

Figura 35. Zona cercana a la carretera a Tarata .....	47
Figura 36. Levantamiento de la carretera a Tarata .....	48
Figura 37. Modelo Digital De Elevación .....	49
Figura 38. Registro de caudales día 24 de julio de 2021 .....	50
Figura 39. Registro de caudales día 25 de julio de 2021 .....	50
Figura 40. Registro de caudales día 26 de julio de 2021 .....	51
Figura 41. Registro de caudales día 27 de julio de 2021 .....	51
Figura 42. Registro de caudales día 28 de julio de 2021 .....	52
Figura 43. Registro de caudales día 29 de julio de 2021 .....	52
Figura 44. Nivel de agua día 23 de julio de 2021 .....	53
Figura 45. Nivel de agua día 24 de julio de 2021 .....	53
Figura 46. Nivel de agua día 25 de julio de 2021 .....	53
Figura 47. Nivel de agua día 26 de julio de 2021 .....	54
Figura 48. Nivel de agua día 27 de julio de 2021 .....	54
Figura 49. Válvula reductora de presión Bellavista, vista externa.....	55
Figura 50. Válvula reductora de presión Bellavista, vista interna.....	55
Figura 51. Presiones día 27 de julio de 2021-Bellavista.....	56
Figura 52. Presiones día 28 de julio de 2021-Bellavista.....	56
Figura 53. Presiones día 29 de julio de 2021-Bellavista.....	57
Figura 54. Válvula reductora de presión San Pedro San Pablo, vista externa.....	57
Figura 55. Válvula reductora de presión San Pedro San Pablo, vista interna.....	58
Figura 56. Presiones día 27 de julio de 2021-San Pedro y San Pablo .....	58
Figura 57. Presiones día 28 de julio de 2021-San Pedro y San Pablo .....	59
Figura 58. Presiones día 29 de julio de 2021-San Pedro y San Pablo .....	59
Figura 59. Mapa google earth con georreferenciación del reservorio R10 .....	60
Figura 60. Puntos de levantamiento topográfico del reservorio R10 .....	61
Figura 61. Mapa google earth con georreferenciación de la cámara Bellavista.....	61
Figura 62. Puntos de levantamiento topográfico de la cámara Bellavista.....	62
Figura 63. Mapa Georreferenciado de cámara San Pedro y San Pablo .....	62
Figura 64. Levantamiento Top. cámara San Pedro y San Pablo .....	63
Figura 65. Caseta de válvulas reservorio R10 .....	64
Figura 66. Planta y perfil Línea de Aducción Cono Norte existente .....	65
Figura 67. Planta y perfil Línea de Aducción Cono Norte existente .....	65
Figura 68. Trazo de Línea de Aducción .....	68
Figura 69. Archivo a guardar en extensión (.dxf).....	69
Figura 70. Archivo a abrir en extensión (.dxf).....	69
Figura 71. Configuración de propiedades .....	70

Figura 72. Fichero con extensión (.inp).....	70
Figura 73. Importación de Fichero con extensión (.inp).....	71
Figura 74. Vista del trazo de la Línea de Aducción .....	71
Figura 75. Configuración de unidades y fórmulas .....	72
Figura 76. Configuración de Reservorio (Embalse).....	72
Figura 77. Configuración de Conexiones (n30).....	73
Figura 78. Configuración de Conexiones (VRP_SanPedro_SanPablo).....	73
Figura 79. Configuración de Válvulas (VRP_Bellavista).....	74
Figura 80. Configuración de Tuberías .....	75
Figura 81. Modelo finalizado con éxito .....	75
Figura 82. Configuración de etiquetas .....	76
Figura 83. Visualización de Resultados .....	76
Figura 84. Selección de tipo de tabla .....	77
Figura 85. Selección de resultados requeridos .....	77
Figura 86. Tabla de Resultados .....	78
Figura 87. Selección de tipo de tabla .....	78
Figura 88. Selección de resultados requeridos .....	79
Figura 89. Tabla de Resultados .....	79
Figura 90. L.G.H. según parámetros hidráulicos in situ.....	80
Figura 91. L.G.H. Modelamiento de Redes del estado actual .....	81
Figura 92. Curva de presión de vapor del agua .....	82
Figura 93. Trazo en planta de tubería paralela.....	86
Figura 94. Trazo en perfil de tubería paralela .....	86
Figura 95. Incorporación de válvulas en línea de aducción existente.....	87
Figura 96. Modelado propuesta N° 1 .....	89
Figura 97. Modelado propuesta N° 1 .....	90
Figura 98. Resultado general del modelado propuesta N° 1 .....	90
Figura 99. Trazo en planta de tubería propuesta de mejora 2.....	92
Figura 100. Trazo en perfil de tubería propuesta de mejora 2.....	92
Figura 101. Configuración de punto de conexión n10 .....	93
Figura 102. Configuración de tuberías tramo propuesta de mejora 2.....	94
Figura 103. Visualización de resultados.....	95
Figura 104. Visualización del entorno de resultados de presiones .....	95
Figura 105. Visualización del entorno de resultados de velocidades.....	95
Figura 106. Perfil topográfico producto del estudio topográfico .....	98
Figura 107. Caudal máximo, Caudal mínimo, Caudal promedio. ....	99
Figura 108. Nivel de agua en reservorio R10.....	99

Figura 109. Presión medida antes de válvula reguladora de presión de bellavista	100
Figura 110. Presión antes de válv. reguladora de presión Asoc. San Pedro .....	100
Figura 111. Gráfico de perfil combinando las gradientes .....	101
Figura 112. L.G.H de propuesta 1 (tub. paralela) y L.G.H. de mediciones in situ ..	101
Figura 113. L.G.H. de propuesta 1(tub. existente) y L.G.H. de mediciones in situ.	102
Figura 114. L.G.H. de propuesta 2 (tub. existente) y L.G.H. de mediciones in situ	102
Figura 115. Pregunta 1 del juicio de expertos .....	103
Figura 116. Pregunta 2 del juicio de expertos .....	104
Figura 117. Pregunta 3 del juicio de expertos .....	104
Figura 118. Pregunta 4 del juicio de expertos .....	104
Figura 119. Pregunta 5 del juicio de expertos .....	105

**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1. Certificado de calibración de estación total .....	113
Anexo 2. Matriz de consistencia .....	114
Anexo 3. Lista de expertos consultados.....	115
Anexo 4. Encuesta realizada a los expertos .....	115
Anexo 5. Planos.....	115

## RESUMEN

En la presente tesis “Evaluación y mejoramiento de la línea de aducción sector Cono Norte usando modelamiento de redes en la ciudad de Tacna - 2021”, se planteó evaluar la línea de aducción de agua potable sector Cono Norte existente, la cual abastece a los subsectores 5, 6 y 7 del Cono Norte de la ciudad de Tacna, con base a un estudio de campo que incluye un estudio topográfico, inspección visual y mediciones hidráulicas in situ en conjunto a la normativa peruana de obras de saneamiento del Reglamento Nacional de Edificaciones Norma OS-010 Captación y conducción de agua para consumo Humano. Con la información recabada en campo y producto de su procesamiento, se desarrolló el modelamiento de la línea de aducción con el software Epanet y se comparó los parámetros hidráulicos teóricos con los reales obtenidos del estudio de campo. En conclusión, con el estudio de campo realizado se determinaron la presencia de presiones negativas y el fenómeno de cavitación, para lo cual se propuso el cambio del diámetro y material de la tubería (HDPE de 200 mm) de longitud 560 m, además de la mejora de la topografía en el tramo de presiones negativas y la instalación de una tubería paralela (HDPE de 160mm) de longitud 580 m como alternativas eficientes de mejora para la línea de aducción, cumpliendo con los parámetros mínimos de diseño y validadas a través de un juicio de expertos.

**Palabras Claves:** Cavitación, Línea de aducción, Modelamiento de redes, Parámetros hidráulicos.

## ABSTRACT

In this thesis "Evaluation and improvement of the Cono Norte sector adduction line using network modeling in the city of Tacna - 2021", it was proposed to evaluate the existing Cono Norte sector drinking water adduction line, which supplies subsectors 5, 6 and 7 of the Cono Norte of the city of Tacna, based on a field study that includes a topographic survey, visual inspection and in situ hydraulic measurements in conjunction with the Peruvian regulations of sanitation works of the National Building Regulations Standard OS-010 Collection and conduction of water for human consumption. With the information collected in the field and the product of its processing, the modeling of the adduction line was developed with Epanet software and the theoretical hydraulic parameters were compared with the real ones obtained from the field study. In conclusion, the field study determined the presence of negative pressures and the cavitation phenomenon, for which a change in the diameter and material of the pipe (HDPE of 200 mm) of 560 meters in length was proposed, as well as the improvement of the topography in the section of negative pressures and the installation of a parallel pipe (HDPE of 160mm) of 580 meters in length as efficient improvement alternatives for the adduction line, complying with the minimum design parameters and validated through a judgment of experts.

**Key words:** Cavitation, Pipeline, Network modeling, Hydraulic parameters.



## INTRODUCCIÓN

El agua es el elemento más importante para la vida, por ello es vital el transporte de este recurso a cada ser vivo de forma eficiente, segura y de calidad.

Actualmente, la población tacneña se abastece con aguas de las represas ubicadas en las zonas alto andinas, también captan aguas superficiales del río Caplina y Uchusuma, además de depósitos de aguas subterráneas que se renuevan con la presencia de lluvias y pozos perforados en puntos estratégicos en la ciudad.

El tramo de tubería destinado a conducir los caudales desde un reservorio hasta el punto de entrega del sistema de red de distribución, bajo condiciones favorables que satisfagan la necesidad de la población, se le conoce como línea de aducción.

Los caudales indudablemente están asociados a las demandas por parte de los consumidores, así como las condiciones de presión y calidad del suministro difieren en el tiempo y espacio, así como factores no ajenos al sistema de abastecimiento como son el deterioro de los elementos que componen el sistema durante su tiempo de vida útil, todo esto origina que la capacidad y condición de transporte hidráulico se vea afectado. Esto también, se ve afecto al incremento demográfico y producto de las actividades económicas en la región, que influyen significativamente en la demanda de dotación de agua.

Por ello, los sistemas de abastecimiento de agua potable deben ser administrados de maneras eficiente, aquí es cuando la palabra optimización entra a calar profundamente debido a que la disponibilidad de este líquido vital disminuye, lo que conlleva a su difícil obtención.

El diseño óptimo de la línea de aducción en los sistemas de abastecimiento de agua potable posee aspectos relevantes de comportamiento hidráulico como lo son las presiones, velocidades máximas y mínimas que para efectos de la presente tesis llamaremos parámetros hidráulicos; cada uno de estos factores tiene una trascendencia a partir la etapa de planeamiento, diseño, operación y mantenimiento.

Es por ello que, el presente proyecto de investigación pretende evaluar y mejorar las condiciones de operación actuales de la línea de aducción sector Cono Norte de la ciudad de Tacna, a través de soluciones técnicas eficientes que permitan mejorar los parámetros hidráulicos de presión, caudal y velocidad; además de garantizar un óptimo servicio a los usuarios de la red distribución.

La industria de la ingeniería en temas de software ha ido novando constantemente debido a la necesidad de simplificar cálculos complejos y tediosos

de antaño, por ello se desarrollaron diferentes softwares que facilitan el cálculo hidráulico.

En la presente tesis se utilizó el software Epanet 2.0, el cual es una herramienta de simulación para el análisis de sistemas de distribución de agua potable o de cualquier fluido no compresible con flujo a presión.

A través de este software se desarrolló las simulaciones del comportamiento hidráulico de la línea de aducción, considerando parámetros establecidos en la normativa y valores recolectados en campo, con la finalidad de que la evaluación de la línea de aducción Sector Cono Norte sea lo más cercano a la realidad; de esta manera plantear soluciones eficientes que permitan dar una solución acorde a la problemática suscitada.

## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción del Problema

El Perú cuenta con 1,89 % de la disponibilidad de agua dulce del mundo, pero su acceso aun es limitado, por ello existen proyectos pendientes a realizar para evitar una eminente crisis de abastecimiento del recurso hídrico (ANA, 2021).

La ciudad de Tacna, se ubica en una de las zonas más desérticas del mundo próxima al desierto de Atacama, por tal particularidad, el déficit hídrico es la mayor problemática para su desarrollo sostenible, en donde la demanda generada producto de las actividades del hombre supera a la oferta.

El sistema de abastecimiento de agua potable consta de varios componentes (Fuente de abastecimiento, Captación, Línea de Conducción, Planta de tratamiento, Reservorio, Línea de Aducción y Redes de Distribución), la importancia de todos ellos reunidos, radica en suministrar eficientemente a los usuarios con un servicio continuo de agua y de calidad, tanto en cantidad y presión adecuadas.

En los últimos años, se vienen registrando quejas recurrentes por parte de los usuarios del sector Cono Norte de la ciudad de Tacna, con respecto a las condiciones del servicio de abastecimiento de agua potable, aduciendo que en su sector actualmente se les suministra agua potable con una presión deficiente durante determinadas horas del día en sus conexiones domiciliarias. Este malestar producto de la mala calidad del servicio de abastecimiento de agua potable ha generado un desacuerdo e inconformidad respecto a las tarifas que pagan los usuarios.

Por lo que se solicitó información al jefe de distribución de la EPS, el ingeniero Jimmy Silva y el operador a cargo de la línea de aducción, sobre la problemática suscitada, se dio a entender que existe la posibilidad de falla en la línea de aducción, debido a un trazo inadecuado producto de la horizontalidad propia del terreno en el tramo inicial de la línea de aducción, además la no implementación de dispositivos como válvulas de eliminación de aire, también se mencionó el tema de las conexiones clandestinas cuya posibilidad es remota debido a que las viviendas aledañas a la línea de aducción actualmente se abastecen de otra red.

En dicho contexto es necesario determinar las posibles causas de pérdida de presión en la línea de aducción del sistema de abastecimiento de agua potable mediante la evaluación del sistema actual, a fin de poder mejorar las condiciones de servicio del sector Cono Norte, para lo cual se desarrollará el proyecto de investigación titulado *“Evaluación y mejoramiento de la línea de aducción sector cono norte usando modelamiento de redes de la ciudad de Tacna - 2021”*

## **1.2. Formulación del problema**

De lo mencionado anteriormente se formula las siguientes interrogantes:

### **1.2.1. Problema General**

¿Cómo sería el mejoramiento de la línea de aducción sector Cono Norte usando modelamiento de redes en la ciudad de Tacna- 2021?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- ¿Cómo determinar el estado actual de la línea de aducción sector Cono Norte de la ciudad de Tacna - 2021?
- ¿Cómo determinar los parámetros hidráulicos en la línea de aducción sector Cono norte en la ciudad de Tacna-2021?
- ¿Cómo diseñar alternativas eficientes para el mejoramiento de la línea de aducción sector Cono Norte en la ciudad de Tacna - 2021?

## **1.3. Justificación e importancia**

En la ciudad de Tacna, se registran quejas recurrentes sobre las dificultades relacionadas a la baja presión del servicio de agua potable en el sector Cono Norte, realizadas por los usuarios de los sub sectores a los cuales abastece la línea de aducción.

La historia de los romanos quienes fueron los primeros en innovar algunas técnicas para la extracción y almacenamiento de agua, que para lograr ello era fundamental ubicar una fuente de agua pura que tuviese un caudal continuo y suficiente para abastecer a toda la población, con ello se construyeron los primeros acueductos en donde se tenía en consideración evitar una gran cantidad de impedimentos sin que el agua se estancara. Por ello mismo debía tener pendiente moderada, ya que esto podía desgastar la estructura debido a la aceleración del agua. Para disminuir la aceleración del agua se construían depósitos con pequeñas cascadas. No siempre se podía encontrar un trazo directo hasta las ciudades así que estos acueductos llegaban a atravesar montañas a través de galerías. Lo más complicado de evitar eran las depresiones profundas. Una de las opciones era tratar de bordearlas y en caso de no poder lograrse, se usaba el sifón. El sifón hacía descender el agua de formas más rápida para que con su misma fuerza esta lograra

ascender otra vez (Econet, 2017). La importancia de los criterios para el diseño de línea de transporte de agua como los acueductos que actualmente se conocería como línea de aducción.

El trabajo de investigación tuvo en consideración varias tesis, como, por ejemplo: "*Evaluación y rediseño hidráulico de los reservorios y línea de aducción como alternativa de solución para el abastecimiento de agua en los aa.hh. Nuevo moro y el Arenal del distrito de Moro*", un trabajo de investigación que se centra analizar la baja presión de salida de la línea de aducción hacia la red de distribución, debido a las condiciones existentes que presenta la propia línea de aducción. La tesis expuesta nos demuestra la importancia de analizar la baja presión en el punto de inicio de la red de distribución para poder solucionar la problemática sobre la condición del servicio de abastecimiento de agua potable de la población.

Con este trabajo de investigación se pretende evaluar y mejorar las condiciones de operación de la línea de aducción Sector Cono Norte de la ciudad de Tacna, optimizando los parámetros de la línea por medio de un modelamiento de redes.

El modelamiento de redes es un proceso muy utilizado actualmente para el cálculo de líneas de conducción, aducción, impulsión y distribución de agua potable, para ello existen software de simulación que procesan información recopilada en campo, proporcionando resultados de gran exactitud. Los análisis de sus resultados ayudan a proponer posibles alternativas de mejora a las redes, a fin de garantizar un óptimo funcionamiento del servicio de abastecimiento de agua potable.

Por ende, nuestro trabajo de investigación podrá ser considerado como base y antecedente para futuros estudios y proyectos de mejoramiento del servicio de abastecimiento de agua potable no solo del sector Cono Norte sino en los demás subsectores de la ciudad de Tacna.

Actualmente la empresa prestadora de servicios EPS Tacna, como medida alterna al desabastecimiento de agua potable en el sector Cono Norte viene realizando el bombeo de agua hacia el reservorio R14, para poder dotar de caudal a la línea de aducción de Ø 6" por medio de un Bypass. El mejoramiento de la línea de aducción Cono Norte pretende dar solución al problema del costo que genera este bombeo, ya que luego de la ejecución de las alternativas de solución no sería necesario dicha acción.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Proponer alternativas de mejora en la línea de aducción sector cono norte usando el modelamiento de redes en la ciudad de Tacna-2021.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Determinar el estado actual de la línea de aducción sector Cono Norte de la ciudad de Tacna - 2021
- Determinar los parámetros hidráulicos en la línea de aducción sector Cono norte en la ciudad de Tacna-2021
- Diseñar alternativas eficientes para el mejoramiento de la línea de aducción sector Cono Norte en la ciudad de Tacna – 2021

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis General**

La utilización del modelamiento de redes permite evaluar y proponer alternativas eficientes de mejoramiento de la línea de aducción sector Cono Norte de la ciudad de Tacna – 2021.

### **1.5.2. Hipótesis Específica**

- El estudio de campo determina el estado actual de la línea de aducción sector Cono Norte de la ciudad de Tacna - 2021.
- El modelamiento de redes determina los parámetros hidráulicos en la línea de aducción sector Cono Norte de la ciudad de Tacna - 2021.
- El análisis de los parámetros hidráulicos permite proponer alternativas eficientes para el mejoramiento de la línea de aducción sector Cono Norte de la ciudad de Tacna - 2021.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de Estudios

En la Tesis Titulada "*Diseño del sistema de agua potable, conexiones domiciliarias y alcantarillado del asentamiento humano "Los Pollitos" – Ica, usando los programas watercad y sewerCAD*", se concluye que acuerdo a la Norma OS.050 la presión estática en los diferentes puntos de la red no deberán tener un valor mayor de 50 mca, por lo que, al verificar la presión máxima del sistema, se llega a la conclusión que el diseño cumple con la normativa vigente al tener una presión máxima de 24.90 mca y en condiciones de demanda máxima horaria, la presión mínima es de 10 mca; por lo que, al revisar la presión mínima del sistema, se llega a la conclusión que el diseño cumple con la normativa vigente al tener una presión mínima de 17.10 mca (Doroteo, 2014).

En la Tesis Titulada: "*Evaluación y rediseño hidráulico de los reservorios y línea de aducción como alternativa de solución para el abastecimiento de agua en los aa.hh. Nuevo Moro y el Arenal del distrito de Moro*", concluye que, se debe sustituir el diámetro de la tubería de aducción del aa.hh. Nuevo Moro de 4 a 6 pulg., para asegurar presiones mínimas de salida. Según los cálculos realizados el reservorio de Arenales esta sobre dimensionado en 100 m<sup>3</sup> y se debe mantener una carga de agua mínima en los reservorios de 0,30 m para garantizar una presión mínima de salida para las redes de distribución (Chávez y Rodríguez, 2015).

En la Tesis Titulada: "*Propuesta de optimización del servicio de la red de distribución de agua potable -rdap- del municipio de Madrid, Cundinamarca*", concluye que, el modelo optimizado de la red de distribución de agua potable, mejora las presiones de servicio y disminuye el índice de agua no contabilizada, que se elaboró con el programa EPANET, puesto que en el punto de estudio de Pedregal las presiones de servicio mejoran de 3 mca a 32 mca y el punto de estudio de San José las presiones de servicio mejoran de 6 mca a 34,92 mca, mejorando en ambos casos las condiciones de funcionalidad (Shanel, 2017).

En la Tesis Titulada: "*Evaluación de los sistemas de abastecimiento de agua potable de la localidad de Shirac, San Marcos - Cajamarca. Propuesta de mejora*", concluye que, según el modelado hidráulico realizado con el programa Watercad hay zonas con presiones desmedidas en las viviendas, lo que afecta a los usuarios y la administración, elevando los costos de mantenimiento. Se logra determinar que la evaluación realizada a los sistemas de abastecimiento de agua potable en la localidad de Shirac, son ineficientes, por tanto, se sugiere un rediseño hidráulico, y a

su vez un mejoramiento en la prestación del servicio con base en la incorporación de charlas de capacitación e instrucción (Albarragan, 2019).

En la Tesis titulada: “*Evaluación de la red existente de agua potable del subsector de distribución 24 en el distrito coronel Gregorio Albarracín Lanchipa, provincia y región de Tacna*”, en la cual se concluye que, la utilización de los softwares Watercad y Epanet, son fiables para la realización de cálculos de redes de distribución, puesto que arrojan resultados semejantes a los datos obtenidos de la EPS Tacna S.A.C. (Cotrado y Gutierrez, 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*”, la cual concluye que la ecuación reformada de HAZEN - WILLIAMS que está en la presente Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural, incrementa la pérdida de carga a similitud de la fórmula general, la cual da un resultado semejante utilizando la fórmula de DARCY – WEISBECH (Seminario y Tantajulca, 2019).

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Sistema de abastecimiento de agua**

Un sistema de abastecimiento de agua es un sistema capaz de captar, conducir, almacenar y distribuir agua a un lugar, cumpliendo condiciones de cantidad y calidad del agua (Narvaez, 2010).

Para la elaboración de un proyecto de abastecimiento de agua debe realizarse un estudio previo en la localidad donde se brindará el servicio, con la finalidad de determinar su capacidad de consumo y su crecimiento poblacional.

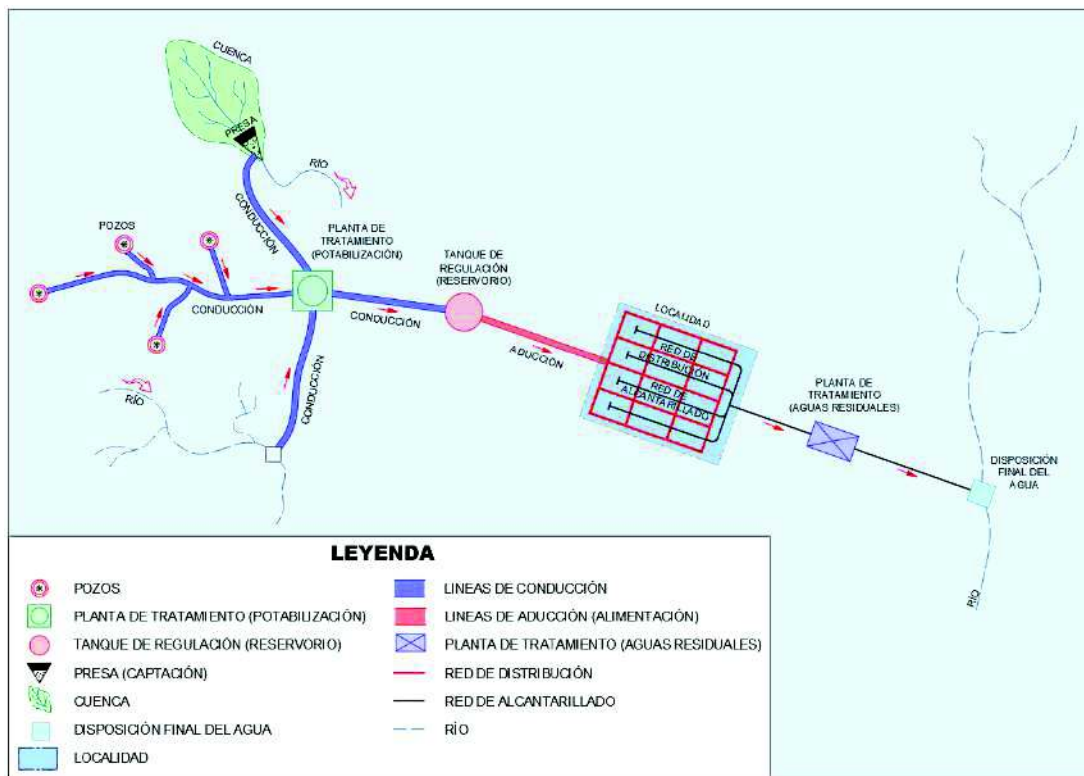
### **Partes de un sistema de abastecimiento de agua**

Las partes que conforman un sistema de abastecimiento de agua por lo general se presentan como en la siguiente figura 1:



Figura 1

Configuración típica de un sistema de abastecimiento de agua



Nota. Adaptado del libro Abastecimiento de Agua de Ricardo Narvaez.

- **Fuente de abastecimiento:** Las principales fuentes de abastecimiento son el agua superficial y el agua freática o subterránea, las cuales para ser utilizadas para el consumo humano deben respetar las condiciones de calidad y cantidad (Narvaez, 2010).
- **Captación:** Es la parte del sistema en donde se extrae el agua y la introduce a una tubería, debe realizar la función de acondicionar el agua y protegerla de contaminación (Arnalich, 2008).
- **Línea de conducción:** Son tuberías o canales los cuales conducen el agua desde la captación hasta el reservorio, el cual almacena el agua durante un tiempo, de acuerdo al consumo poblacional (Narvaez, 2010).
- **Planta de tratamiento:** Instalaciones necesarias de tratamientos unitarios para purificar el agua de abastecimiento para una población (Hernández y Corredor, 2017).
- **Líneas de impulsión:** Es la tubería que conduce el agua desde la fuente hacia el reservorio a través de un sistema de bombeo o impulsión utilizando la misma tubería de la línea de conducción (Narvaez, 2010).

- **Reservorio:** Estructura que sirven para almacenar una determinada cantidad de un volumen de agua de acuerdo al consumo de la población (Narvaez, 2010).
- **Línea de aducción:** Es la tubería que conduce el agua desde el reservorio a la red de distribución (Chávez y Rodríguez, 2015).
- **Red de distribución:** Es el conjunto de tuberías que inicia desde el reservorio de distribución y sigue su desarrollo por las vías de acceso de la ciudad. Su función es llevar agua potable al usuario, proporcionando un buen servicio en calidad, cantidad y presión adecuada (Narvaez, 2010).

### **2.2.2. Criterios para el Diseño de una Línea de Aducción por Gravedad**

Teniendo en cuenta que todo diseño debe estar sustentado en base a criterios técnicos y económicos, una línea de aducción por gravedad debe aprovechar al máximo la energía disponible para conducir el gasto deseado, lo que nos conducirá a la selección del diámetro mínimo que permita presiones iguales o menores que las que la resistencia física del material a utilizar (Arocha, 1977).

Los criterios para un correcto diseño de una línea de aducción por gravedad son:

1. Carga disponible o diferencia de elevación.
2. Capacidad para transportar el gasto máximo diario.
3. La clase de tubería capaz de soportar las presiones hidrostáticas.
4. La clase de tubería en función del material.
5. Diámetros.

#### **2.2.2.1. Fórmula de Hazen y Williams**

La fórmula de Hazen y Williams tiene origen empírico ecuación (1). Es usada ampliamente en cálculos de tuberías para abastecimiento de agua. La utilización de esta fórmula, está limitada al agua en flujo turbulento, para tuberías de diámetro superior a 2" y velocidad límite de 3 m/s (Rocha, 2007).

$$H_f = 10,67 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} * \left(\frac{L}{D^{4,87}}\right) \quad (1)$$

- $H_f$  : Pérdida de Carga  
 $Q$  : Gasto en litros por segundo  
 $C$  : Coeficiente de rugosidad de Hazen y Williams  
 $D$  : Diámetro interior de la tubería en  
 $L$  : Longitud en m

#### 2.2.2.2. Coeficiente de Rugosidad de Hazen – Williams (C)

Se considera que el coeficiente  $C_{HW}$  ecuación (2) es un índice que depende únicamente de la condición de la superficie del conducto y la edad del mismo (Pérez, 2002).

Se pueden encontrar tablas como la que se muestra en la tabla 1, donde existen valores referenciales para los diferentes tipos de materiales para cuando son nuevos y cuando llevan varios años de uso.

Este último, toma en consideración la acumulación de sedimentos y depósitos que se acumulan en la parte interna del conducto. Los conductos con superficies más lisas tienen valores más altos del coeficiente  $C_{HW}$  en comparación con los más rugosos.

Se conoce muy poco la información que se brinda en estas tablas correspondientes a diámetros iguales o mayores que 1000 mm para diámetros menores que 1000 mm se realiza una corrección a los valores de los coeficientes de Hazen-Williams que aparecen tabulados para obtener unos valores corregidos de dichos coeficientes (Christensen, 2000).

*Coeficiente de fricción Hazen-Williams corregido*

$$C_{HWc} = 0,1(1 - D)C_{HW} \quad (2)$$

- $C_{HWc}$  : Coeficiente de fricción de la ecuación de Hazen-Williams corregido (dim.)  
 $D$  : Diámetro de la tubería (m)  
 $C_{HW}$  : Coeficiente de fricción de la ecuación de Hazen-Williams (dim.).

**Tabla 1***Coeficiente de Hazen-Williams para diferentes materiales*

<b>Material</b>	<b>C</b>	<b>Material</b>	<b>C</b>
Asbesto cemento	140	Hierro galvanizado	120
Latón	130 - 140	Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100	Plomo	130 - 140
Hierro fundido nuevo	130	Plástico (PE, PVC)	140 - 150
Hierro fundido, 10 años de edad	107 - 113	Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años de edad	89 - 100	Acero nuevo	140 - 150
Hierro fundido, 30 años de edad	75 - 90	Acero	130
Hierro fundido, 40 años de edad	64 - 83	Acero rolado	110
Concreto	120 - 140	Lata	130
Cobre	130 - 140	Madera	120
Hierro dúctil	120	Hormigón	120 - 140

*Nota.* Tabla extraída de American Water Works Association, donde el coeficiente “C” corresponde a la rugosidad del material.

### 2.2.2.3. Ecuación de Darcy – Weisbach

También conocida con el nombre de Darcy – Weisbach ecuación (3). El coeficiente  $f$  de Darcy se designa también con la letra  $\lambda$  en algunas bibliografías.

La ecuación de Darcy es en esencia la ecuación de Chezy. Esto se demuestra usando los conceptos expuestos anteriormente y usando transformaciones algebraicas.

La ecuación de Darcy permite calcular la pérdida de carga  $h_f$  que se presenta en un tramo de tubería de longitud  $L$ , diámetro  $D$  y velocidad media  $V$  (Rocha, 2007).

$$H_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

Donde:

$H_f$  : 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

#### 2.2.2.4. Coeficiente F de Darcy (en tuberías circulares)

En lo que respecta al flujo laminar,  $f$  ecuación (4), es una función del número de Reynolds. En el flujo turbulento, el significado de  $f$  es más complejo. En general, es función tanto del número de Reynolds como de la rugosidad relativa (Rocha, 2007).

*Ecuación de Darcy-Weisbach*

$$f = \varphi, \left( Re * \frac{k}{D} \right) \quad (4)$$

$Re$  : Numero de Reynolds

$k$  : Rugosidad absoluta

$D$  : Diámetro interno

La rugosidad es la relación entre la rugosidad absoluta y el diámetro de la tubería. La rugosidad absoluta depende de la calidad de las paredes expresadas por:

- a) Altura media de las irregularidades de la superficie
- b) Variación de la altura con respecto a la media
- c) Forma de las irregularidades del contorno
- d) Separación entre irregularidades adyacentes

#### 2.2.2.5. Fórmula de Manning

Originalmente fue desarrollada para canales abiertos, en tuberías lisas de polietileno de diámetros y para caudales pequeños la fórmula de Manning da buenos resultados.

Robert Manning en 1890 propuso para determinar el valor de la C de Chezy, la expresión  $C = 1/n$ . Strickler en 1923 propuso hacer  $1/n = 21,1/e^{(1/6)}$ , donde  $e$  representa el espesor de la rugosidad de la pared.

Esta forma, es usada mucho en Europa, denominándola fórmula de Manning-Strickler. La utilización de la fórmula de Manning es para régimen turbulento y que no es aplicable a tubos lisos o virtualmente lisos (Pérez, 2002)

*Formula de Manning*

$$Hf = 10,3 * n^2 * \frac{Q^2}{D^3} * L \quad (5)$$

$Q$  : Caudal (m<sup>3</sup>/s)

$D$  : Diámetro de tubería

- $L$  : Longitud de la tubería  
 $n$  : Coeficiente de rugosidad de Manning

El coeficiente de rugosidad de Manning va acorde al tipo de material de la tubería a diseñar, como se puede observar en la siguiente tabla 2.

**Tabla 2**  
*Coeficiente de rugosidad de Manning*

<b>Material</b>	<b>N</b>
PVC	0,009
Cemento de granulometría fría	0,010
Acero	0,011
Hierro Fundido	0,015

*Nota.* ICG - Modelación y diseño de sistemas de distribución de agua

### **2.2.3. Norma os.010: Captación y Conducción de agua para consumo humano**

El objetivo es asegurar las condiciones para una correcta elaboración de proyectos de captación y conducción de agua para consumo humano. Se tomó como referencia los requisitos mínimos que especifica la presente norma respecto a los diseños de captación y conducción en localidades mayores a 2000 habitantes, debido a que una línea de aducción cumple la misma función que el de una línea de conducción; el cual es un sistema que sirve para transportar agua desde una ubicación a otra.

#### **2.2.3.1. Conducción por gravedad**

##### **Tubería:**

- Para el diseño de la conducción con tuberías se debe tener en cuenta las condiciones topográficas, las características del suelo y la climatología de la zona a fin de determinar el tipo y calidad de la tubería.
- La velocidad mínima no debe producir depósitos ni erosiones, la velocidad mínima será de 0,60 m/s
- La velocidad máxima admisible será:
 

En los tubos de concreto	= 3 m/s
En tubos de asbesto-cemento, acero y PVC	= 5 m/s

Para otros materiales deberá justificarse la velocidad máxima admisible.

- d) Para el cálculo hidráulico de las tuberías que trabajen como canal, se recomienda la fórmula de

Manning, con los siguientes coeficientes de rugosidad:

Asbesto-cemento y PVC = 0,010

Hierro Fundido y concreto = 0,015

Para otros materiales deberá justificarse los coeficientes de rugosidad

- e) Para el cálculo de las tuberías que trabajan con flujo a presión se utilizarán fórmulas racionales. En caso de utilizarse la fórmula de Hazen y Williams, se usarán los coeficientes de fricción que se establecen en la Tabla 3. Para el caso de tuberías no consideradas, se deberá justificar técnicamente el valor a utilizar.

**Tabla 3**

*Coefficiente C de Hazen y Williams según RNE*

<b>Tipo de Tubería</b>	<b>"C"</b>
Acero sin costura	120
Acero soldado en espiral	100
Cobre sin costura	150
Concreto	110
Fibra de vidrio	150
Hierro fundido	100
Hierro fundido con revestimiento	140
Hierro galvanizado	100
Polietileno, Asbesto Cemento	140
Poli (cloruro de vinilo) (PVC)	150

*Nota.* "C" coeficiente de rugosidad que depende del material,  
Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE

**Accesorios:**

- a) Válvulas de aire

Las líneas de conducción por gravedad y/o bombeo, debe tener implementadas válvulas extractoras de aire cuando haya cambio de dirección en los tramos con pendiente positiva. En los tramos de pendiente uniforme se colocarán cada 2.0 km como máximo.

En caso de colapso de la tubería a causa del material de la misma y de las condiciones de trabajo, se utilizarán las válvulas de doble acción (admisión y

expulsión). El dimensionamiento de las válvulas se determinará en función del caudal, presión y diámetro de la tubería.

b) Válvulas de purga

Se utilizarán válvulas de purga en los puntos bajos, teniendo en consideración la calidad del agua a conducirse y la modalidad de funcionamiento de la línea. Las válvulas de purga se dimensionarán de acuerdo a la velocidad de drenaje, siendo recomendable que el diámetro de la válvula sea menor que el diámetro de la tubería.

c) Estas válvulas deberán ser instaladas en cámaras o estructuras seguras, de fácil acceso y con elementos que permitan su fácil operación y mantenimiento.

### **2.2.3.2. Consideraciones especiales**

a) En el caso de suelos agresivos o condiciones severas de clima, se debe considerar tuberías de material adecuado y debidamente protegido.

Los cruces con carreteras, vías férreas y obras de arte, deberán diseñarse en coordinación con el organismo competente.

b) Deberá diseñarse anclajes de concreto simple, concreto armado o de otro tipo en todo accesorio, ó válvula, considerando el diámetro, la presión de prueba y condición de instalación de la tubería.

c) En el diseño de toda línea de conducción se deberá tener en cuenta el golpe de ariete.

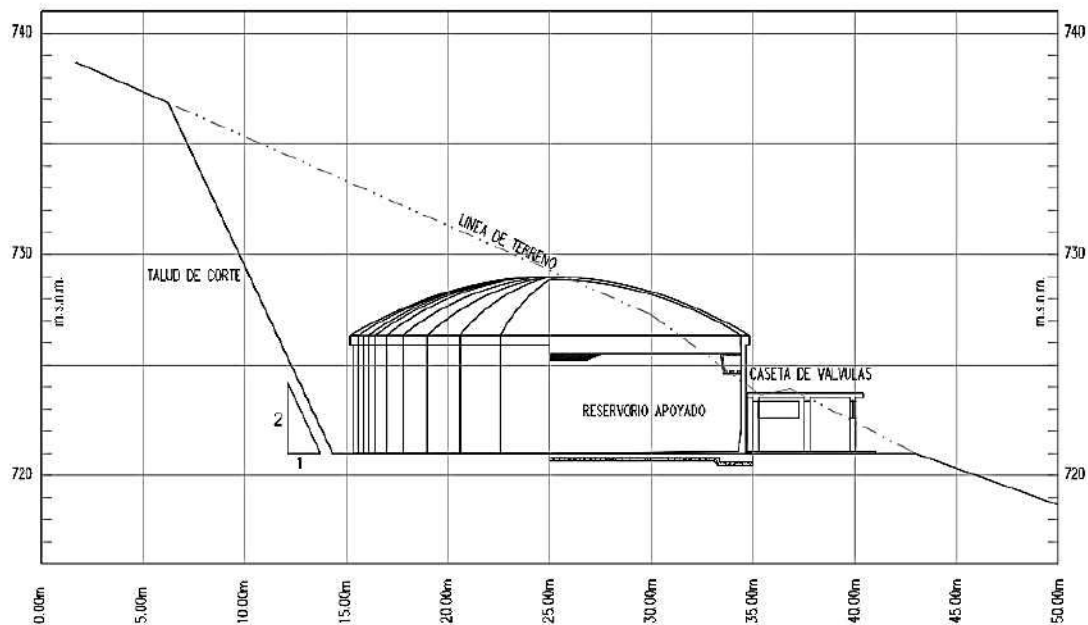
### **2.2.4. Componente de una línea de aducción**

#### **2.2.4.1. Reservorio**

Son estructuras para almacenar una determinada cantidad de volumen de agua de acuerdo al consumo poblacional (Narvaez, 2010).

Los reservorios de almacenamiento pueden ser de tipo elevados, apoyados y enterrados, los reservorios apoyados como la figura 2, son principalmente tienen forma rectangular y circulares, estos son construidos directamente sobre la superficie del suelo, son ejecutados para capacidades medianas y pequeñas.



**Figura 2****Reservorio apoyado**

*Nota.* Estructura típica de un reservorio apoyado con casera de válvulas.

#### 2.2.4.2. Tubería de PVC

Las tuberías de PVC para la conducción de agua (tabla 4), son fabricadas con norma NTP 399.002. Las tuberías varían en diámetros desde ½" hasta 12" en Clase 5, 7.5, 10 y 15 para una presión de trabajo de 5, 7.5, 10 y 15 bar respectivamente.

*Ventajas:* Los tubos de PVC presentan características deseables tales como hermeticidad, resistencia química, resistencia a la corrosión, flexibilidad, ligereza, facilidad de instalación, resistencia a la tensión y no altera la calidad del agua

*Desventajas:* A pesar de los muchos beneficios asociados con las tuberías de PVC, son susceptibles a daños durante su manejo, a temperaturas menores a 0 °C, el PVC reduce su resistencia al impacto, a temperaturas mayores a 25 °C, se debe reducir la presión de trabajo.

**Tabla 4***Características tubería PVC agua fría a presión NTP339.002.2015*

Diámetro		Longitud		Clase 5 72 PSI (5 bar)		Clase 7,5 108 PSI (7,5 bar)		Clase 10 145 PSI (10 bar)	
Nominal (pulg)	Real (mm)	Total (m)	Útil (m)	Espesor (mm)	Peso (kg/tubo)	Espesor (mm)	Peso (kg/tubo)	Espesor (mm)	Peso (kg/tubo)
1/2"	21,0	5,00	4,97	-	-	-	-	1,80	0,84
3/4"	26,5	5,00	4,96	-	-	-	-	1,80	1,08
1"	33,0	5,00	4,96	-	-	-	-	1,80	1,37
1 1/4"	42,0	5,00	4,96	-	-	1,80	1,76	2,00	1,94
1 1/2"	48,0	5,00	1,96	-	-	1,80	2,02	2,30	2,55
2"	60,0	5,00	4,95	1,80	2,54	2,20	3,09	2,90	4,02
2 1/2"	73,0	5,00	4,94	1,80	3,11	2,60	4,44	3,50	5,91
3"	88,5	5,00	4,93	2,20	4,61	3,20	6,63	4,20	8,59
4"	114,0	5,00	4,90	2,80	7,56	4,10	10,94	5,40	14,24
6"	168,0	5,00	4,86	4,10	16,33	6,10	23,99	8,00	31,10
8"	219,0	5,00	4,82	5,30	27,52	-	-	-	-

*Nota.* Extraído de Pavco

### 2.2.4.3. Tubería de HDPE

El Sistema de tubería HDPE, están elaborados de resina de polietileno de alta densidad y de alta resistencia mecánica y alta capacidad hidráulica para el manejo de fluidos sin presión. Fabricado bajo el estricto cumplimiento de la norma NTP ISO 4427(Agua), la tabla 5 muestra las características de la tubería HDPE.

*Ventajas:* Los tubos de polietileno ofrecen características deseables similares a las ventajas de las tuberías de PVC, como la hermeticidad, alta capacidad de conducción, ligereza, flexibilidad, facilidad de instalación, inmunidad a la corrosión, resistencia química y no alteran la calidad del agua.

Además, presentan otras ventajas como la termofusión, económicos en cuestión de excavaciones para instalaciones, compresibilidad, rapidez de instalación, compatibilidad y durabilidad.

*Desventajas:* Las tuberías de polietileno, no son resistentes a los ácidos oxidantes, las cetonas y a los hidrocarburos clorados, además son de mayor costo que las tuberías de otros materiales.

**Tabla 5***Características de tubería HDPE*

Diámetro Externo (mm)		Diam. Medio	Ovalidad	SDR 26		SDR 33		SDR 41	
				Tipo de PE		S 12,5	S 16	S 20	
Min (DM)	Máx.			PE 80	PN 5	PN 4	PN 5	PN 3,2	PN 4
				PE 100	PN 6				
				e min	Peso	e min	Peso	e min	Peso
20	20,30	20,20	1,20	-	-	-	-	-	-
25	25,30	25,20	1,20	-	-	-	-	-	-
32	32,30	32,20	1,30	-	-	-	-	-	-
40	40,40	40,20	1,40	-	-	-	-	-	-
50	50,40	50,20	1,40	2,00	0,31	-	-	-	-
63	63,40	63,20	1,50	2,50	0,49	-	-	-	-
75	75,50	75,30	1,60	2,90	0,68	-	-	-	-
90	90,60	90,30	1,80	3,50	0,99	-	-	-	-
110	110,70	110,40	2,20	4,20	1,45	-	-	-	-
160	161,00	160,50	3,20	6,20	3,11	-	-	-	-
200	201,20	200,60	4,00	7,70	4,83	-	-	-	-
250	251,50	250,80	5,00	9,60	7,53	-	-	-	-
280	281,70	280,40	9,8	10,70	9,41	-	-	-	-
315	316,90	316,00	11,1	12,10	11,96	9,70	9,67	7,70	7,72
35	357,20	356,10	12,5	13,60	15,16	10,90	12,24	8,70	9,83
400	402,40	401,20	14,00	15,30	19,21	12,30	15,56	9,80	12,48
450	452,70	451,40	15,60	17,20	24,30	13,80	19,65	11,00	15,76
500	503,00	501,50	17,50	19,10	29,98	15,30	24,20	12,30	19,58
560	563,40	561,70	19,60	21,40	37,62	17,20	30,47	13,70	24,43
630	633,80	631,90	22,10	24,10	47,66	19,30	38,47	15,40	30,89
710	716,40	713,20	-	27,20	60,71	21,80	49,04	17,40	39,39
800	807,20	803,60	-	30,60	76,97	24,50	62,11	19,60	50,00
900	908,10	904,10	-	34,40	97,34	27,60	78,71	22,00	63,14
1000	1009,00	1004,50	-	38,20	120,11	30,60	96,97	24,50	78,12

*Nota.* Extraído de Pavco

#### 2.2.4.4. Accesorios de tubería para unión

Todos los elementos de la línea de tuberías deben estar correctamente unidos a otras tuberías o a los equipos, válvulas y aparatos del proceso.

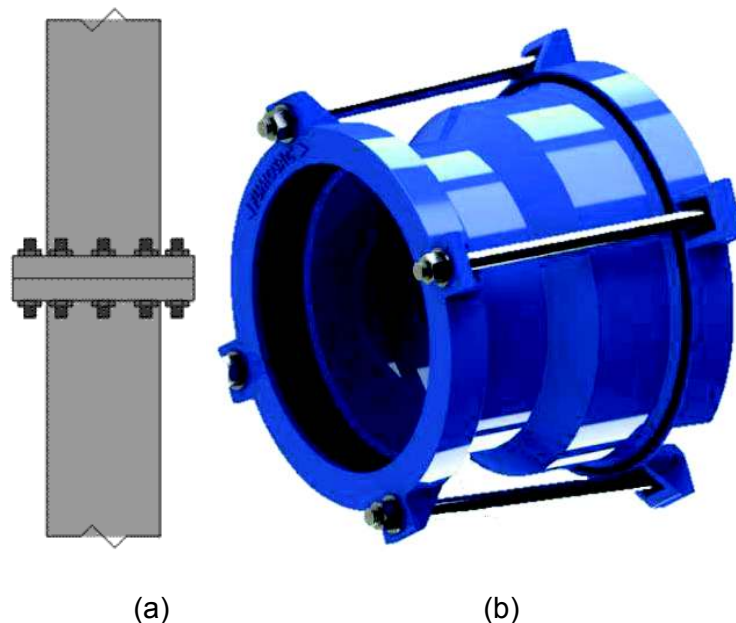
Por lo que se pueden usar diferentes tipos de uniones dependiendo de las condiciones en las que se encuentran las partes a unir, como la presión o la temperatura, y de los requerimientos de construcción de la instalación. A continuación, se describe los tipos de uniones disponibles.

**Bridas:** Son piezas metálicas que unen dos componentes mediante perforaciones donde montar pernos de unión. Se utilizan debido a que facilitan el montaje de sistemas de tuberías y permiten el montaje o desmontaje de los elementos sin acciones destructivas.

**Uniones tipo dresser:** La figura 3 muestra un accesorio que une toda clase de tubos (acero, HDPE, hierro dúctil, fibra de vidrio, etc.), proporciona conexiones flexibles, a prueba de fugas que duran la vida de la tubería. Son fáciles de instalar dando un ajuste exacto al tubo, absorben las vibraciones y movimiento de la tubería (dilatación-contracción). Sirven para realizar tendido, reemplazo, montajes y desmontaje rápidos en unidades de bombeo, para mantenimiento, sirven para todo tipo de equipamiento donde se utilizan tuberías.

**Figura 3**

*Accesorios de unión de tuberías*



*Nota.* (a) Unión de tuberías con bridas, (b) Unión tipo Dresser.

Extraído de Válvulas y Conexiones del Pacífico

### 2.2.4.5. Accesorios para cambio de trayectoria

Para regular y variar el flujo que circula por las tuberías no solo se usarán válvulas o equipos como bombas o compresores. Por ejemplo, Si el cambio a efectuar es bastante pequeño es más económico el uso de accesorios como reductores para hacer variar la velocidad del flujo.

En el caso de variar la dirección del fluido sin cambiar las condiciones de este se utilizarán accesorios de unión de tuberías como los codos, las tees o las cruces que tienen las características de la figura 4 y continuación se describe el uso de cada accesorio.

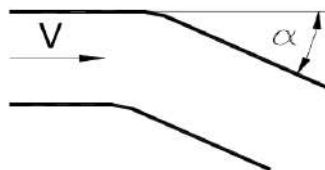
*Reducciones:* Son accesorios en forma de cono destinados a reducir el diámetro de la tubería y consecuentemente disminuir el caudal aumentando la velocidad. En general se utilizará las reducciones excéntricas para las reducciones en tuberías de vapores que puedan generar condensados. De esa manera se evitará crear volúmenes muertos en las tuberías o que las bombas caviten.

*Codos:* Son accesorios en forma curvada que se utilizan para variar la dirección que toman las líneas de las tuberías. Estos pueden tener diferentes ángulos según la dirección a establecer ( $11.25^\circ$ ,  $22.5^\circ$ ,  $45^\circ$  y  $90^\circ$ ).

*Tees:* Accesorios en forma de T como indica su nombre, utilizadas para las uniones entre tres tuberías y su función es la de combinar o dispersar el flujo de un fluido. Estas pueden ser del mismo tamaño o reductibles.

**Figura 4**

*Accesorios de cambio de trayectoria*



*Nota.* Los ángulos  $\alpha$  estándar son de  $11.25^\circ$ ,  $22.5^\circ$ ,  $45^\circ$  y  $90^\circ$ , extraído de opciones tecnológicas de sistemas para el saneamiento del ámbito rural.

### 2.2.4.6. Válvula de compuerta

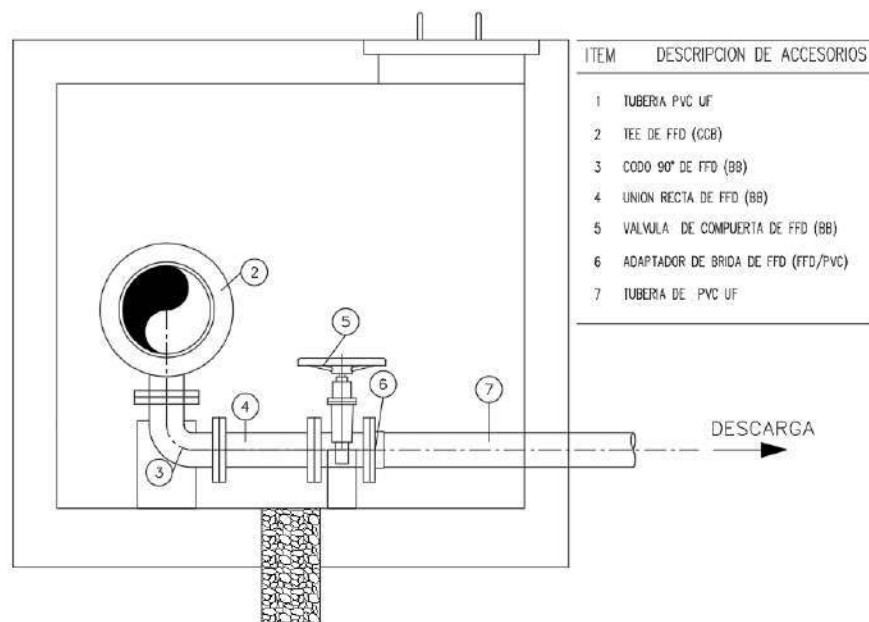
Todo sistema de distribución debe contar con válvulas de control o válvulas de compuerta como el mostrado en la figura 5, instalados a lo largo de la red, para aislar sectores en caso de roturas de tuberías o de incendio y seguir suministrando el agua al resto de la población o para atender las actividades de mantenimiento de las redes.

**Figura 5***Accesorios de cambio de trayectoria*

*Nota.* Extraído de válvulas y conexiones del pacífico VCP

### 2.2.4.7. Válvula de purga o limpieza

En líneas de aducción con topografía accidentada, hay tendencia a la acumulación de sedimentos en los puntos bajos, por lo cual resulta conveniente colocar dispositivos que permitan periódicamente la limpieza de tramos de tuberías, estas se instalan dentro de las cámaras como la mostrada en la figura 6. La limpieza consiste en una derivación de la tubería, provista de llave de paso (Arocha, 1977).

**Figura 6***Cámara con válvula de purga*

*Nota.* Sección transversal de una válvula de purga de aire y accesorios

### 2.2.4.8. Válvula de aire

Las líneas por gravedad tienen la tendencia de acumular aire en los puntos altos. Cuando se tienen presiones altas, el aire tiende a disolverse y continúa en la tubería hasta que es expulsado, pero en los puntos altos de relativa baja presión el aire no se disuelve creando bolsas que reducen el área útil de la tubería. La acumulación de aire en los puntos altos provoca una reducción del área de flujo del agua y consecuentemente se produce un aumento de las pérdidas y una disminución del gasto.

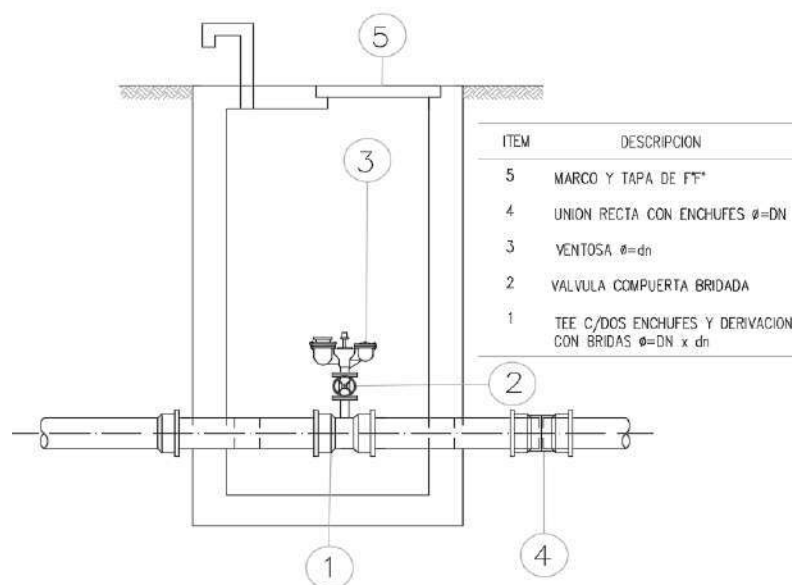
Con el fin de evitar y prevenir este fenómeno debe utilizarse válvulas automáticas como la mostrada en la figura 7, que están ubicadas en los puntos altos que permitan la expulsión del aire acumulado y la circulación del gasto deseado. La implementación de las válvulas de aire proporcionará al sistema un factor de seguridad que asegurará la sección útil para la circulación del gasto deseado (Arocha, 1977).

Las funciones de las Válvulas de Aire son las siguientes:

- Expulsar el aire de las tuberías mientras se llenan. Cuando el agua alcanza el interior de la válvula, el flotador sube sellando la salida.
- Evitar el aplastamiento, pues si se produce depresión, el flotador cae, permitiendo que el aire entre en las tuberías, restableciendo la presión atmosférica en su interior.

**Figura 7**

*Cámara con Válvula de Aire*



*Nota.* Sección transversal de cámara y válvula de aire

#### **2.2.4.9. Válvula de aire de doble efectos**

Las funciones de la Válvulas de Aire de Doble Efecto son las siguientes:

- Expulsar el aire en tuberías pequeñas mientras se llenan.
- Cuando el agua alcanza el interior de la válvula, el flotador sube sellando la salida.
- Mantener de modo automático y continuo su función de purgado sobre toda bolsa de aire que pueda llegar a la válvula, pues éstas provocan el descenso inmediato del flotador y la apertura parcial o total del orificio de cierre. La presión del agua no impide esta función.
- Proteger del aplastamiento en tuberías pequeñas, pues con la mínima depresión baja el flotador abriendo el cierre, permitiendo que el aire exterior entre en las tuberías de inmediato.

#### **2.2.4.10. Válvula de Aire de Triple Efecto**

Las funciones de las Válvulas de Aire de Triple Efecto son las siguientes:

- Expulsar el aire de las tuberías mientras se llenan.
- Cuando el agua alcanza el interior de la válvula, el flotador sube sellando la salida.
- Mantener de modo automático su función de purgado del aire que pueda llegar a la válvula, pues ello provoca el descenso inmediato del flotador y la apertura parcial o total del orificio de cierre.
- La presión del agua no impide esta función.
- Evitar el aplastamiento, ya que con la mínima depresión cae el flotador y abre el cierre, con lo que el aire atmosférico entra en la tubería de forma inmediata.

#### **2.2.4.11. Válvula Reductora de Presión**

Las válvulas reductoras de presión tienen la función de proteger a las tuberías de sobrepresiones. Las válvulas reductoras de presión producen en su interior una pérdida de carga constante, cualquiera que sea la presión de entrada y el gasto, estas pueden ser instaladas sin mayores inconvenientes en la línea de aducción, ya que el régimen hidráulico puede considerarse permanente, no hay requerimiento de mantener presiones limitadas por razones de servicio como lo sería en las tuberías de distribución (Arocha, 1977).



### 2.2.4.12. Válvula Reguladora de Presión

Se usan para mantener una presión constante en la descarga, aunque en la entrada varíe el flujo o la presión. (Arocha, 1977).

### 2.2.5. Software EPANET

EPANET (figura 8), es un software de aguas libre desarrollado por la EPA (Environmental Protection Agency) y es validados y reconocido por las ingenierías y constructoras de mayor reputación.

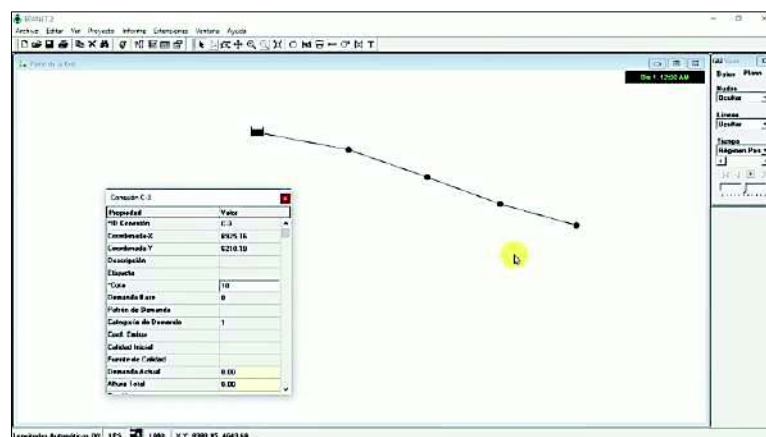
Este software permite realizar simulaciones en periodos prolongados (uno o varios días) del comportamiento hidráulico y de la evolución de la calidad del agua en redes de suministro a presión.

Una red puede estar constituida por tuberías, nudos (uniones de tuberías), bombas, válvulas y depósitos de almacenamiento o embalses. Esta realiza un seguimiento de la evolución de los caudales en las tuberías, las presiones en los nudos, los niveles en los depósitos, y la concentración de productos químicos suspendidos en el agua, a lo largo del periodo de simulación. Incluso, permite analizarlo en varios intervalos de tiempo.

Ha sido desarrollado por la División de Recursos Hídricos y Suministros de Agua (anteriormente División de Investigación del Agua Potable) del Laboratorio Nacional de Investigación para la Prevención de Riesgos (NRMRL) de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de EEUU (USEPA).

**Figura 8**

*Entorno del software EPANET.*



*Nota.* Software libre EPANET

### **2.2.6. Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento Ámbito Rural**

Consideraciones presentes en la Norma Técnica de Diseño para Líneas de Aducción:

- La línea de aducción debe diseñarse teniendo en consideración el caudal máximo horario (Qmh).
- Se considera para el diseño una presión máxima de 50 mca para la clase 10 con el fin de asegurar el correcto funcionamiento del sistema.
- Se debe tener en consideración que la velocidad mínima en la línea de aducción debe ser de 0.6m/s y la máxima deberá ser de 3,0 m/s.
- En el trazo de la Línea se encuentra el siguiente tipo de terreno:
  - Tramo con Terreno de tipo normal con presencia de material arcilloso, se usará tubería de PVC. La tubería estará enterrada a una profundidad mínima de 0,50 m con una zanja de 0,40 m, para la cama de apoyo se ha previsto utilizar material propio seleccionado.
  - Tramo con Terreno de tipo Rocoso, se usará la tubería HDPE la cual estará expuesta, se fijará con dados de anclaje.
- Dependiendo del levantamiento topográfico, se puede requerir proyectar en el trazo de la línea de aducción la construcción de pases aéreos, válvulas de purga y/o válvulas de aire.
- Se realizará la prueba hidráulica y la respectiva desinfección de la línea.

### **2.3. Definición de Términos**

*Altimetría:* Parte de la Topografía que enseña a medir alturas (Chávez y Rodríguez, 2015).

*Cota de Terreno:* Altura de un punto del terreno, referido a un nivel determinado (Chávez y Rodríguez, 2015).

*Caudal:* Volumen de agua que pasa por unidad de tiempo, su simbología es litros por segundo, metros cúbicos por segundo, galones por minuto (Chávez y Rodríguez, 2015).

*Cota Piezométrica:* Máxima presión dinámica en cualquier punto de la línea de conducción o distribución, es decir, que alcanzaría una columna de agua si en dicho punto se colocara un manómetro (Chávez y Rodríguez, 2015).

*Carga Estática:* Representada por la diferencia de elevación entre la obra de captación (nivel mínimo de aguas en la captación) y el estanque de almacenamiento (nivel máximo de aguas en el estanque) (Arocha, 1977).

*Línea de Gradiente Hidráulica:* Es la línea que indica la presión en columna de agua a lo largo de la tubería bajo condiciones de operación (Chávez y Rodríguez, 2015).

*Pérdida de Carga:* Pérdida de presión, debido a la fricción que existe entre el agua y las paredes de la tubería (Chávez y Rodríguez, 2015).

*Pérdida de Carga Unitaria ( $hf$ ):* Es la pérdida de energía en la tubería por unidad de longitud debida a la resistencia del material del conducto al flujo del agua. Se expresa en m/km o m/m (Chávez y Rodríguez, 2015).

*Pérdida por Tramo ( $Hf$ ):* Viene a representar el producto de pérdida de carga unitaria por la longitud del tramo de tubería (Chávez y Rodríguez, 2015).

*Presión:* Carga o fuerza total que actúa sobre una superficie (Chávez y Rodríguez, 2015).

*Pérdidas Locales:* Elementos como codos, tees, válvulas, etc., actúan como puntos concentrados de pérdida por fricción. Las pérdidas que ocasiona dependen de su forma y del caudal que circulen por ellos (Chávez y Rodríguez, 2015).

*Carga Residual:* Es la cantidad de energía que permanece en el sistema después de que el caudal deseado haya llegado al punto de descarga. Representa la energía gravitatoria que sobra. Si se instala una válvula de control en el punto de descarga, se disipará dicha carga residual. Aunque reduzca el flujo de agua, probablemente conlleve características más deseables de presión en el sistema (Chávez y Rodríguez, 2015).

*Carga Residual Negativa:* Indica que no hay suficiente energía gravitatoria para desplazar la cantidad de agua deseada, así que dicha cantidad de agua no fluirá. La línea Piezométrica se debe recalcular empleando un caudal más pequeño y/o tuberías de mayor dimensión (Chávez y Rodríguez, 2015).

*Carga Residual Positiva:* Indica que existe un exceso de energía gravitatoria en el sistema. El sistema podría incluso desplazar una cantidad de agua mayor a la establecida. Si se permite que descargue libremente, la carga residual positiva hará que el caudal que circule por las tuberías tienda a aumentar. A medida que el caudal incrementa, las pérdidas de carga por fricción disminuirán la carga residual en el punto de descarga. El flujo aumentara hasta que la carga residual sea reducida a cero (Chávez y Rodríguez, 2015).

*Consumo no medido:* Categoría donde van a parar las fugas, las conexiones ilegales, riego de jardines, el agua que se derrama al llenar los recipientes, etc. (Arnaluch, 2008).

*Línea de Aducción:* Son las que conducen el agua del reservorio a la población (Chávez y Rodríguez, 2015).

*Válvulas de expulsión de aire:* Válvulas ubicadas en todos los puntos altos permiten la expulsión del aire acumulado y la circulación del gasto deseado (Arocha, 1977).

*Purgas o válvulas de limpieza:* Dispositivo que permite periódicamente la limpieza de tramos de tuberías de la acumulación de sedimentos, la limpieza consiste en una derivación de la tubería, provista de llave de paso (Arocha, 1977).

*Cámara rompe presión:* Son estructuras destinadas a reducir la presión relativa a cero (presión atmosférica), mediante la transformación de la energía disponible en altura de velocidad (Arocha, 1977).

*Válvulas reductoras de presión:* Tiene la función de proteger a las tuberías de sobrepresiones, produciendo una pérdida de carga constante, cualquiera sea la presión de entrada y el gasto (Arocha, 1977).

*Válvulas reguladoras de presión:* se usan para mantener una presión constante en la descarga, aunque en la entrada varíe el flujo o la presión (Arocha, 1977).

*Cavitación:* Fenómeno físico, mediante el cual un líquido, en determinadas condiciones ya sea debido al cambio de temperatura o por la disminución de presión, pasa a estado gaseoso y unos instantes después pasa nuevamente a estado líquido (Monge, 2018).

## CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Tipo y diseño de investigación

#### 3.1.1. Tipo de investigación

Algunos autores mencionan dos tendencias para investigar. La primera es la investigación básica, también conocida como investigación fundamental, exacta o investigación pura, que se ocupa del objeto de estudio sin considerar una aplicación inmediata, pero teniendo en cuenta que, a partir de sus resultados y descubrimientos, pueden surgir nuevos productos y avances científicos (Cívicos y Hernandez, 2007).

La segunda es la investigación aplicada, entendida como la utilización de los conocimientos en la práctica, para aplicarlos en provecho de los grupos que participan en esos procesos y en la sociedad en general, además del bagaje de nuevos conocimientos que enriquecen la disciplina (Martinez, 2004).

En tal sentido la presente investigación será de tipo aplicada y explicativa, debido a que se realizará un estudio para determinar las causas de la baja presión de la línea de aducción sector Cono Norte de la ciudad de Tacna y en base a los resultados proponer alternativas de mejora a través de un modelamiento de redes a fin de dar solución al problema.

#### 3.1.2. Diseño de la investigación

Por la forma en que se recolectó la información, la investigación tiene un diseño de innovación y evaluativo, debido a que se propone una evaluación de los parámetros hidráulicos del estado actual de la línea de aducción, y una posterior propuesta de alternativas de mejora utilizando un software de modelamiento de redes con base en la normativa vigente.

### 3.2. Población y/o muestra de estudio

La Población comprende el sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Tacna y la muestra será la línea de aducción sector Cono Norte de tubería PVC 6", con una longitud de 2789,31 m, los cuales componen el sistema de abastecimiento de agua potable que abastecen a los sub sectores siguientes mostrados en la siguiente tabla 6 y la figura 9 muestra un esquema de ubicación:

Tabla 6

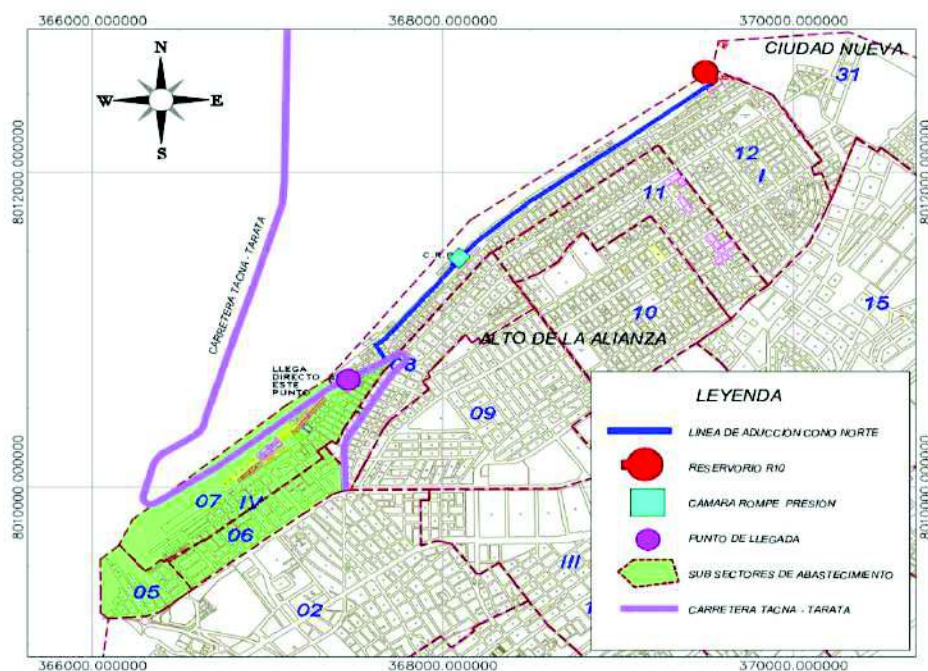
## Sub sectores de abastecimiento sector Cono Norte Tacna

Sub Sectores	Asociaciones
05	Asociación de vivienda La Florida, asociación de vivienda San Pedro.
06	Asociación urbanizadora Señor de los Milagros, Asociación urbanizadora Ramón Copaja, Cooperativa de vivienda Jorge Basadre.
07	Asentamiento humano Sagrado Corazón de Jesús, asociación Cristo de la Paz, asociación de vivienda Virgen de la Asunta, asociación 8 de octubre, asociación de vivienda Túpac Amaru, Asociación Mirador Intiorko, Asociación Cerro Colorado, Asociación Cristo Morado, Asociación Balconcillos de Tacna, Asociación El Arenal, Asociación de vivienda Luz del Sol, Asociación de vivienda 27 de Agosto, Asociación Santa Bárbara, Asociación de vivienda San Juan de Dios, Asociación de vivienda San Pedro y San Pablo, Cooperativa de vivienda Gregorio Albarracín.

Nota. Información obtenida de E.P.S. Tacna

Figura 9

## Esquema de línea de aducción y sub sectores de abastecimiento



Nota. Línea de aducción en zona urbana, cono norte de la ciudad de Tacna

### 3.3. Operacionalización de variables

**Tabla 7**

*Matriz de operacionalización de variables*

<b>Variables</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
Modelamiento de redes	Creación de modelos de simulación que permiten diseñar sistemas de distribución de agua potable, con la capacidad de ofrecer un servicio confiable y eficiente a los usuarios. El término simulación se refiere al proceso de usar una representación matemática de un sistema real (Mendez, 2014).	Se medirá a través del estudio de campo de las condiciones actuales del sistema.	Modelamiento de redes del sistema actual	Características de los componentes de la línea de aducción existente  Levantamiento topográfico
Evaluación y mejoramiento	Es un proceso continuo, ordenado y sistemático de recogida de información cuantitativa y cualitativa, que se obtiene a través de diversas técnicas e instrumentos, que permite emitir juicios de valor fundamentados y que facilita la toma de decisiones sobre el sujeto evaluado (acreditar sus logros o resultados y proponer acciones de mejora) (Gonzales, 2006).	Sera medido a través de la revisión y análisis de los parámetros hidráulicos.	Condiciones de operación actuales  Alternativas de mejora	Parámetros hidráulicos actuales  Parámetros hidráulicos mejorados

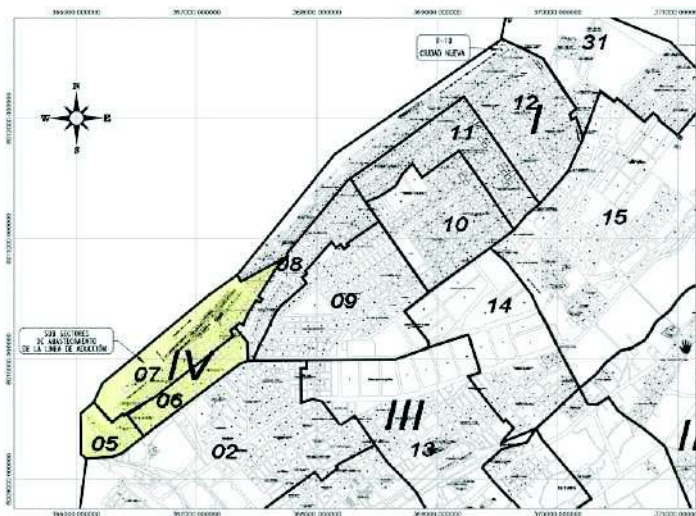
### 3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

#### 3.4.1. Recolección de información técnica existente

Se coordinó con área técnica de la empresa prestadora de servicios E.P.S. TACNA, a fin de obtener los planos del catastro y sub sectores de abastecimiento de la línea de aducción sector cono norte y demás estructuras existentes mostrados en la figura 10, los cuales sirvieron de base para los trabajos iniciales en campo que son presentadas en las figuras 11 y 11.

**Figura 10**

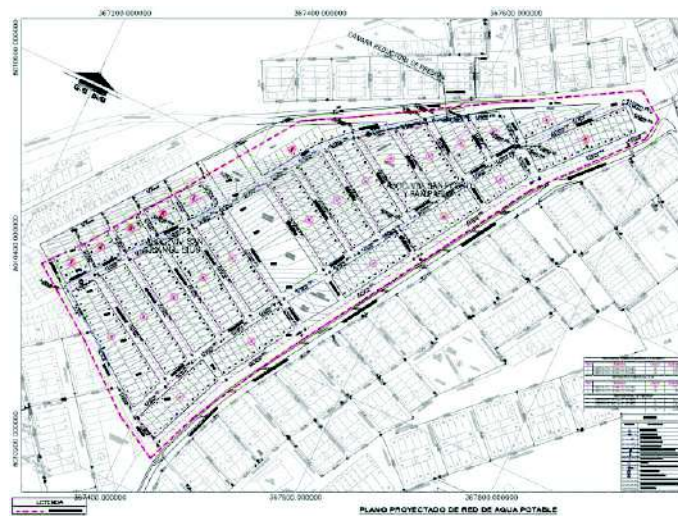
*Plano de base catastral y sub sectores de abastecimiento*



*Nota.* Información obtenida de E.P.S Tacna

**Figura 11**

*Red proyectada de agua potable Asoc. San Pedro y San Pablo*



*Nota.* Información obtenida de E.P.S Tacna



### 3.4.2. Inspección de los componentes de la línea de aducción

Con fecha 27 de julio del 2021, se realizó la visita con fines de inspección al reservorio R10 ubicado en el distrito de Ciudad Nueva, donde se pudo observar la operación del reservorio y se registraron cada uno de los componentes en funcionamiento internos y externos.

El reservorio R10 se trata de un reservorio apoyado con una capacidad de 2250 m<sup>3</sup>, la caseta de válvulas alberga una tubería de ingreso al reservorio de Ø 12", una tubería de limpia de Ø 14", una tubería de aducción de Ø 10" que abastece al sector Promuvi, una tubería de aducción de Ø 8" que abastece a 11 Asociaciones.

Además de una tubería de bypass de Ø 12" que sirve para acciones de mantenimiento del reservorio y una tubería de aducción Ø 6" que deriva de la línea de aducción de Ø 8" y abastece al sector como norte descrito en la presente tesis.

Todas las tuberías y accesorios de la caseta de válvulas son de acero y cuentan con válvulas que se accionan de forma manual y son operados por una persona que además se encarga de las labores de guardianía del recinto del reservorio R10 (figura 12).

**Figura 12**

*Inspección de la caseta de válvulas*



Se pudo observar que en la línea de aducción de Ø 8" se encuentra instalada el Macro medidor electromagnético MAG5000, el cual tiene como objetivo medir el caudal que deriva dicha línea de aducción (figura 13).

**Figura 13**

*Macromedidor MAG5000 – Med. de caudal de línea de aducción Ø 8"*



En la parte posterior a la caseta de válvulas se pudo apreciar la salida de nuestra línea de aducción Ø 6" donde también se encuentra instalado un manómetro de control de presión. Esta salida nos proporcionó la trayectoria aproximada de la tubería, ya que inicialmente no se contaba con información del recorrido (figura 14).

**Figura 14**

*Salida de la línea de aducción Ø 6"*



Se pudo observar la salida de la tubería de Ø 6" hacia la parte exterior, la profundidad aproximada de enterramiento en ese sector fue de 1,10 m el cual tomamos como punto de partida hacia el trazo en la calle. Se observó que el material de la zona es un material suelto (figura 15).

**Figura 15**

*Punto de salida hacia la calle*



El reservorio R10 cuenta con un Bypass el cual sirve para dotar de caudal directamente a la línea de aducción de 6" proveniente del reservorio R14, ubicado más arriba. En esta cámara de Bypass se encuentra también operativo un macro medidor que registra el caudal de salida (figura 16).

**Figura 16**

*Macromedidor en Bypass R14-R10*



Próximo a la salida de la línea de aducción  $\varnothing$  6" se encontró una válvula de aire operativa, la cual sirve para eliminar el aire atrapado en la tubería (figura 17).



**Figura 17**

*Válvula de aire en salida de línea de aducción*



Finalmente se tomaron medidas de todas las cajas de válvulas exteriores a la caseta, como también se inspeccionó el nivel del reservorio en el horario de 11:00 am, que aproximadamente era de 3,50 m, considerando que la altura máxima del reservorio es de 5,00 m, este se encontraba con un 60 % del volumen en ese instante. Este nivel de agua es medido en el lugar mediante una mira y un indicador sujeto a una cuerda, que llega hasta una boya en el interior del reservorio (figuras 18 y 19).

**Figura 18**

*Mira para control del nivel de agua en el reservorio R10*



**Figura 19**

*Mediciones en cajas de válvulas*



### **3.4.3. Descripción del sistema actual**

Actualmente el sector Cono Norte de la ciudad de Tacna se abastece del servicio de agua potable mediante líneas de aducción provenientes del reservorio R10 operado por la EPS Tacna, quien se encarga de su administración, operación y mantenimiento.

La línea de aducción sector Cono Norte de 6" se trata de un sistema por gravedad, constituido por un reservorio R10 con una cota de 750,40 m.s.n.m. y una capacidad de 2250 m<sup>3</sup> además de una serie de tuberías de cloruro de polivinilo PVC con un diámetro de 6", con una cota de entrega al sistema de red de distribución de 648,70 m.s.n.m, dos cámaras con válvulas reguladoras de caudal ubicadas en la asociación Bellavista y la segunda en la asociación de vivienda San Pedro y San Pablo, todo este sistema abastece a los sub sectores 05, 06 y 07 del Cono Norte de la ciudad de Tacna.

Luego de su instalación que data aproximadamente del año 2003, este sistema ha venido presentando deficiencias respecto a su presión de entrega hacia la red de distribución, debido a este inconveniente la EPS Tacna como medida contingente a previsto dotar de presión a esta línea de aducción consignando al reservorio R14 ubicado a una cota más elevada que el reservorio R10, como punto de inicio de la línea de aducción para de esta manera aumentar la carga dinámica.

De esta manera viene funcionando actualmente la línea de aducción, pero a pesar de las medidas realizadas ésta viene presentando deficiencias a nivel de servicio.

### 3.4.4. Estudio Topográfico

#### 3.4.4.1. Objetivos del estudio

El estudio propuso determinar las condiciones topográficas a detalle de los tramos comprendidos entre el reservorio R10, la válvula reductora de presión Bellavista y la válvula reductora de presión de la asociación de vivienda San Pedro y San Pablo, el cual es actualmente el punto de abastecimiento de los 3 sub sectores. Todo ello con el fin de obtener el modelo digital de elevaciones con curvas de nivel y calcular las diferencias de elevación entre los componentes de la línea de aducción sector Cono Norte existente.

#### 3.4.4.2. Área del levantamiento y alcances

El área del levantamiento de este estudio comprende pasajes angostos y calles en los que se emplazan muros de contención rústicos compuestos por neumáticos y piedras acomodadas, del mismo modo se registraron viviendas de material precario madera y esteras, muros, cerramientos, escaleras postes, buzones y todas aquellas interferencias que puedan ser de interés para el estudio.

En lo posible se han identificado los límites de propiedad existentes para ser compatibilizados con información oficial del catastro urbano, sin embargo, esto no ha sido posible en gran parte de los casos debido a la irregularidad de las construcciones y linderos físicos que se encuentran en el terreno. Por tal motivo se realizó un levantamiento convencional con estación total, enlazando varios puntos de estación para poder visualizar la mayoría de puntos. En la figura 20 y tablas 8 y 9 se muestra la ubicación del área de estudio.

#### 3.4.4.3. Ubicación del Área de Estudio

El proyecto se encuentra ubicado en:

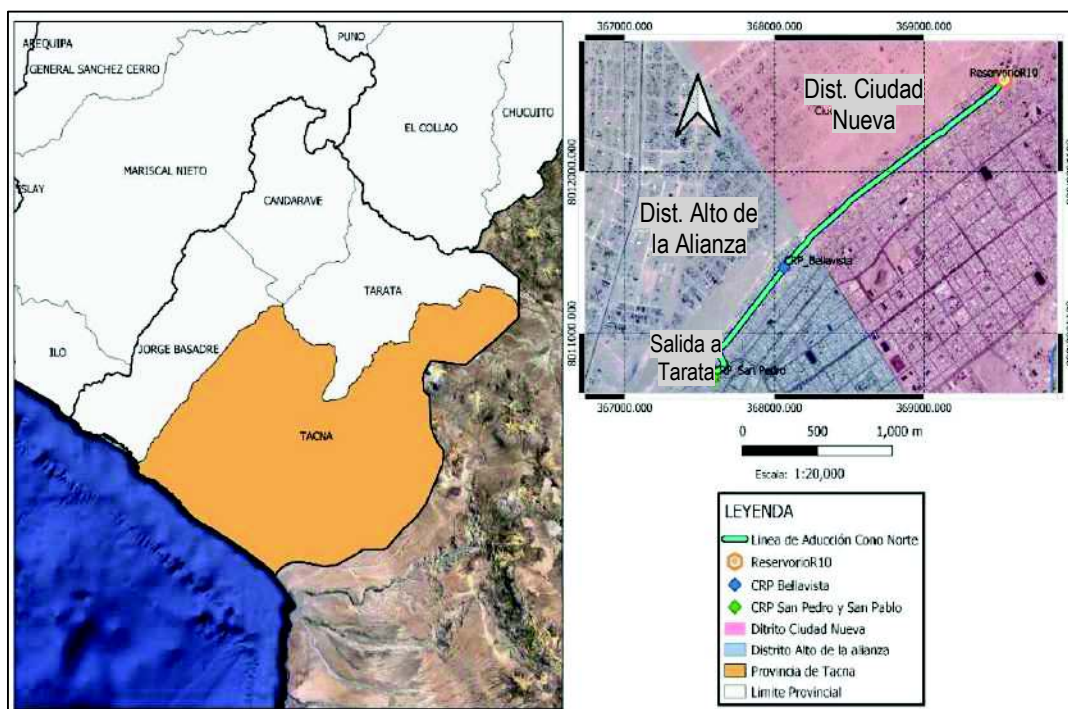
**Tabla 8**

*Ubicación del Área de estudio*

<b>Ámbito</b>	<b>Descripción</b>
Distrito	: Alto de la Alianza – Ciudad Nueva
Provincia	: Tacna
Departamento	: Tacna

**Figura 20**

*Mapa de ubicación del Área de estudio*



Se accede a la zona por la calle José Antonio Encinas del distrito de Ciudad Nueva, que da ingreso al reservorio R10, el cual se ubica en las siguientes coordenadas UTM presentes en la tabla 9:

**Tabla 9**

*Coordenadas del punto de Muestreo del reservorio R10*

Norte	: 8012562,000 m.
Este	: 369554,000 m.
Elevación	: 750,000 m.s.n.m.

#### 3.4.4.4. Sistema de coordenadas

El sistema de coordenadas empleado para los trabajos de topografía está referido al sistema de coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator, con el Datum WGS84. Se determinó trabajar con este sistema debido a que la información proporcionada por la empresa prestadora de servicios EPS Tacna, se encuentra en este sistema. Las coordenadas del levantamiento han sido obtenidas estableciendo 02 puntos de control, con coordenadas conocidas y a partir de estos puntos se han referenciado los demás vértices del levantamiento, los cuales constituyen hitos para el replanteo de obras futuras (figuras 21 y 22).



A continuación, en la tabla 10, se muestran los valores en coordenadas UTM de los vértices de poligonales considerados para el levantamiento topográfico.

**Tabla 10**

*Coordenadas de referencia para el levantamiento topográfico*

Descripción	Coordenadas UTM WGS84-19S		
	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m.s.n.m)
BM-01	8012515,7120	369498,4810	751,1200
BM-02	8012524,9060	369536,2780	750,7060

*Nota.* Información proporcionada por E.P.S. Tacna

**Figura 21**

*BM 01 del levantamiento topográfico*



**Figura 22**

*BM 02 del levantamiento topográfico*





#### 3.4.4.5. Trabajos de campo

A continuación, se detallan las labores de campo efectuadas los días 23, 24 y 25 de julio del 2021, el recorrido del levantamiento fue en base a las indicaciones del operador de la EPS Tacna, el cual nos indicó el trazo aproximado de la línea de aducción existente.

La brigada estuvo compuesta por 1 operador de estación total, 2 operador de prisma y 1 asistente.

Se procedió a ubicar el primer punto de estacionamiento sobre el BM-01, desde esa posición se comenzó a radiar hacia la vista o referencia atrás al punto BM-02 y posteriormente se realizó el levantamiento topográfico de los dos tramos de la línea de aducción (figuras del 23 al 36).

Se tomaron puntos principales previamente definidos, tales como vértices del terreno, vértices del muro perimétrico del reservorio R10 y tubería PVC 6", carama reductora de presión ubicada en la Asociación Bellavista, válvula reductora de presión ubicada en la asociación San Pedro y San Pablo, esquinas de las construcciones existentes y puntos importantes de los terrenos adyacentes, límites de propiedad, cajas, buzones de registro y muros de contención rústicos.

#### **Figura 23:**

*Estación en BMs de control*



*Nota.* Inicio del levantamiento topográfico ubicando los puntos BM-01 y BM-02.

**Figura 24**

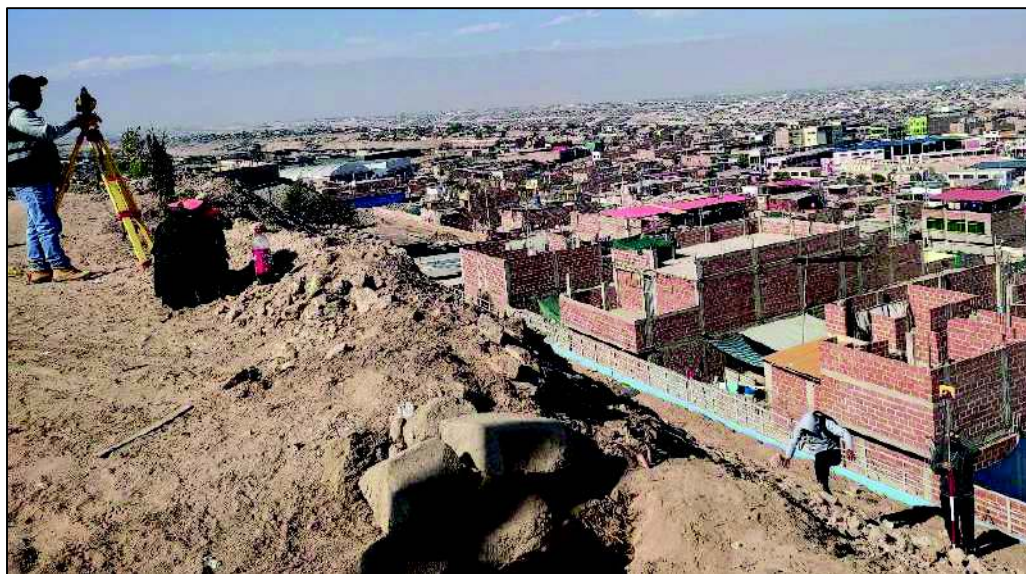
*Inicio de levantamiento, zona alta*



*Nota.* Lectura de los puntos en muros de piedras acomodadas y límites de propiedad de viviendas.

**Figura 25**

*Taludes en zona alta*

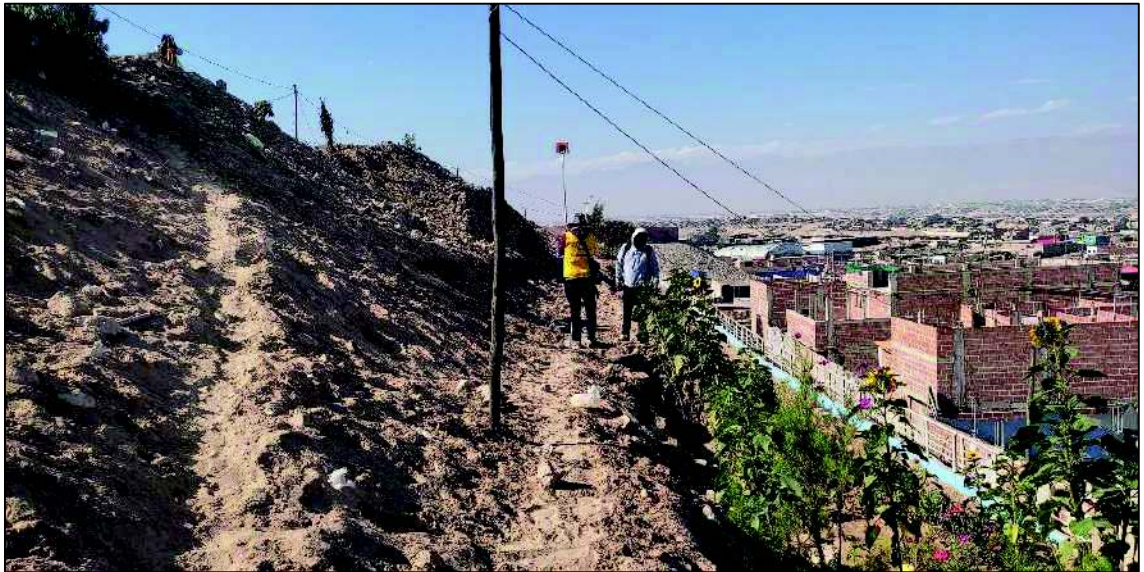


*Nota.* Lectura de puntos en la zona alta cerca al reservorio, se observa un muro de contención de concreto al pie del talud inferior.



**Figura 26**

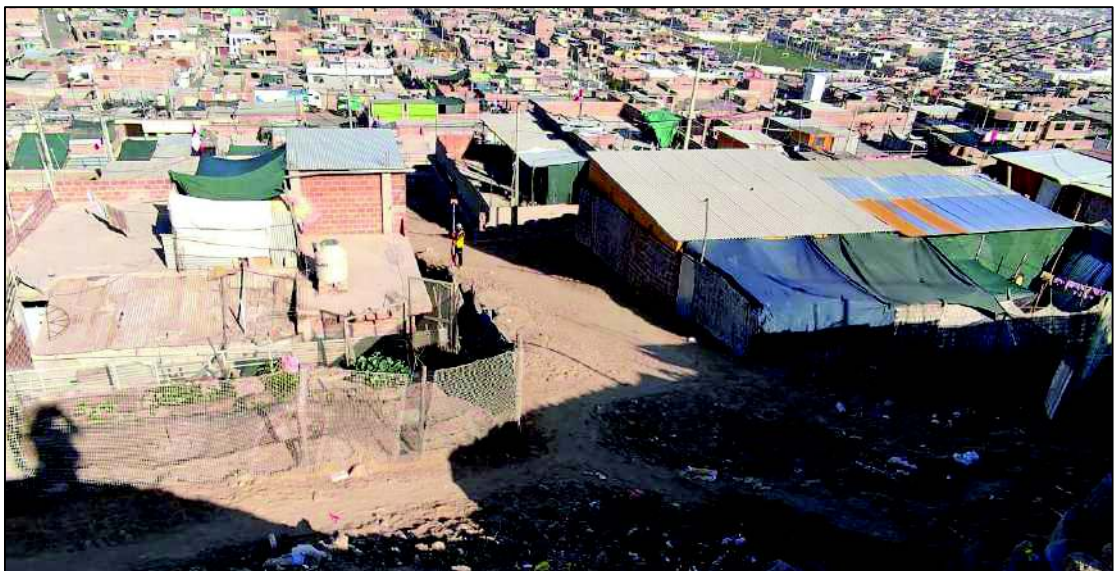
*Talud pronunciado en zona alta*



*Nota.* Lectura de puntos sobre el talud inferior, se pudo observar la zona de relleno reciente.

**Figura 27**

*Viviendas y calles zona alta*



*Nota.* Lectura de puntos en calles aledañas, se puede apreciar zonas de asentamiento de viviendas recientes.

**Figura 28**

*Muros de piedra y neumáticos*



*Nota.* Lectura de puntos en zonas de relleno sobre muros de piedra y neumáticos, se puede apreciar una altura aproximada de 2.50m.

**Figura 29**

*Accesos con relleno y talud pronunciado*



*Nota.* Lectura de puntos en la zona alta, se aprecia una pendiente longitudinal casi plana en esa zona.



**Figura 30**

*Vía de acceso con relleno en zona intermedia*



*Nota.* Lectura de puntos en la Asociación de vivienda Cesar Vallejo 2000, se observa disminución del relleno y el incremento de pendiente longitudinal.

**Figura 31**

*Levantamiento de trocha*



*Nota.* Lectura de puntos en zonas con pendiente, se observa la disminución del relleno producto de las construcciones.



**Figura 32**

*Levantamiento de accesos*



*Nota.* Lectura de puntos en accesos a la zona, se aprecia el talud con pendiente pronunciada.

**Figura 33**

*Levantamiento de escaleras y postes*



*Nota.* Lectura de puntos en zonas de graderías, se aprecia muros de sostenimiento de piedra.

**Figura 34**

*Levantamiento de límites de propiedad*



*Nota.* Lectura de puntos en la Asociación José Abelardo Quiñones, se puede apreciar otra vez una pendiente casi plana.

**Figura 35**

*Zona cercana a la carretera a Tarata*



*Nota.* Lectura de puntos en Asociación de vivienda Intiorko, se puede apreciar la pendiente accidentada de la zona.



**Figura 36***Levantamiento de la carretera a Tarata*

*Nota.* Lectura de puntos en carretera Tacna – Tarata.

#### **3.4.4.6. Materiales y equipos**

A continuación, mencionan los materiales y equipos utilizados, cabe mencionar que también se presentan como anexos los certificados de calibración respectivos.

##### **Materiales**

- 1 Libreta de campo
- 1 Flexómetro de 5,00m
- 10 Estacas de acero
- 1 Pintura esmalte tipo spray

##### **Equipos**

- 1 Estación total South
- 2 Prismas
- 1 GPS Garmin
- 1 Cámara fotográfica
- 1 Movilidad

Debido a que el equipo principal para realizar el levantamiento topográfico convencional es la estación total Topcon, se adjunta como anexo el certificado de calibración correspondiente para validar que los datos obtenidos de este levantamiento son válidos.



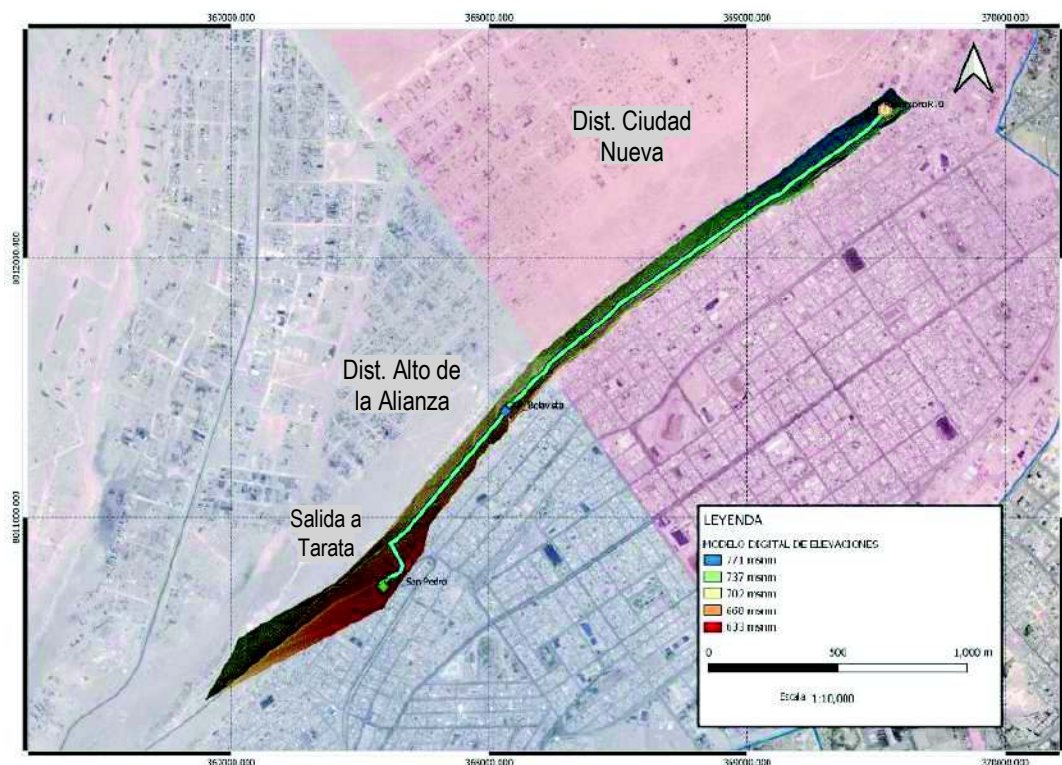
### 3.4.4.7. Modelo digital de elevaciones

- Para este fin se utilizó el software de procesamiento topográfico Autodesk Civil 3D en la versión 2021.
- Para ello se extrajo los datos de la estación total en formato de Datos Separados por Comas (.CSV), el cual contiene las coordenadas de los puntos registrados.
- En el software Autodesk Civil 3D se georreferenció la información configurando el Datum al WGS84 y la zona-19 Sur por encontrarnos en la zona 19 del hemisferio sur.
- Posteriormente se importó el archivo (.CSV) al software donde se procesó la información en puntos.
- Se generó una superficie con los puntos ingresados, los cuales se triangularon para lograr una mejor representación de la superficie del terreno.
- Se realizó el trazo del eje de línea de aducción tomando en cuenta las indicaciones de uno de los operadores de la EPS Tacna.

En la siguiente figura 37 se muestra el producto del procesamiento de la información.

**Figura 37**

*Modelo Digital De Elevación*



*Nota.* Elaboración realizada con el Software Qgis

### 3.4.5. Recolección de parámetros hidráulicos in situ

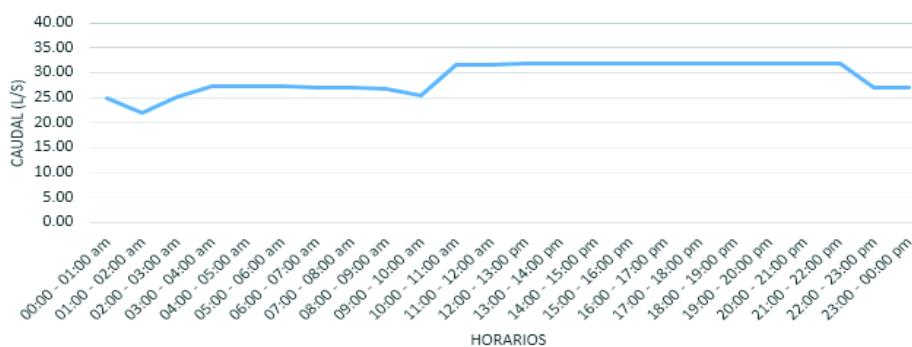
#### 3.4.5.1. Reservorio R10

##### Caudal:

Se solicitó el registro de los caudales durante el periodo del 24 al 29 de julio del presente año (figura 38), el cual fue facilitado por la EPS Tacna S.A, ya que el reservorio R10 cuenta con un registrador de datos digital (macromedidor) conectada a la línea de aducción de 6", el cual recolecta información y se deriva a un ordenador donde se registra los caudales horarios respectivos. Las mediciones del caudal tomadas cada hora durante el día 24 de julio del 2021, nos indican que los caudales fluctúan poco, teniendo como caudal máximo horario 31.97 l/s, caudal mínimo horario 21,89 l/s y un promedio de caudal horario de 29,00 l/s.

**Figura 38**

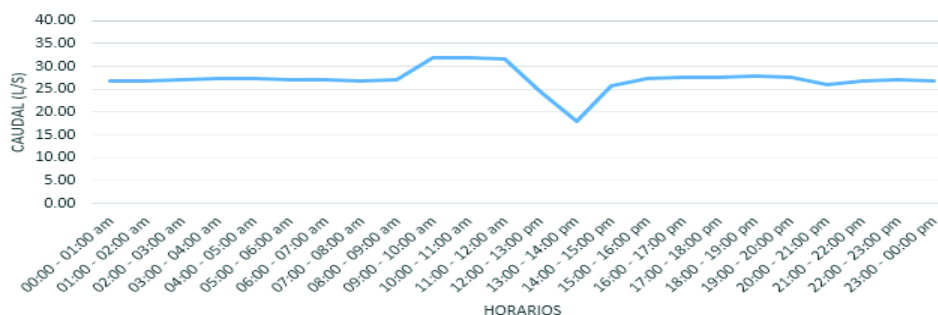
*Registro de caudales día 24 de julio de 2021*



Las mediciones del caudal tomadas cada hora durante el día 25 de julio del 2021 (figura 39), nos indican que los caudales fluctúan poco, teniendo como caudal máximo horario 32,00 l/s, caudal mínimo horario 18,00 l/s y un promedio de caudal horario de 27,19 l/s.

**Figura 39**

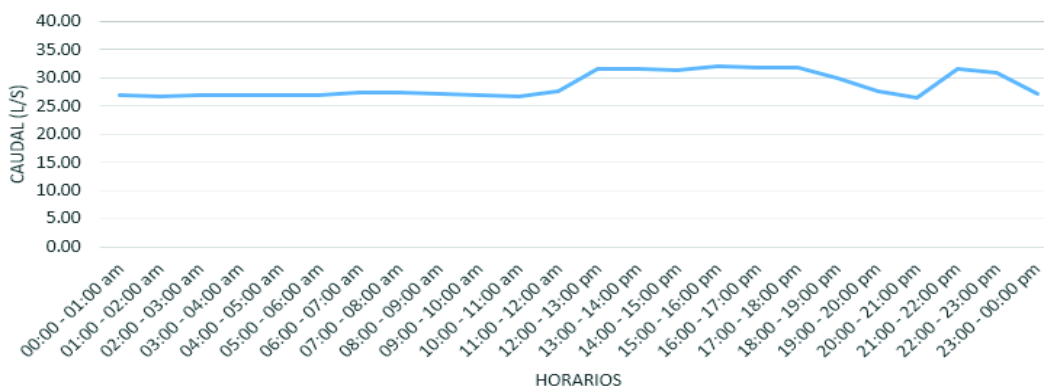
*Registro de caudales día 25 de julio de 2021*



Las mediciones del caudal tomadas cada hora durante el día 26 de julio del 2021 (figura 40), nos indican que los caudales fluctúan poco, teniendo como caudal máximo horario 32,00 l/s, caudal mínimo horario 26,50 l/s y un promedio de caudal horario de 28,1 l/s.

**Figura 40**

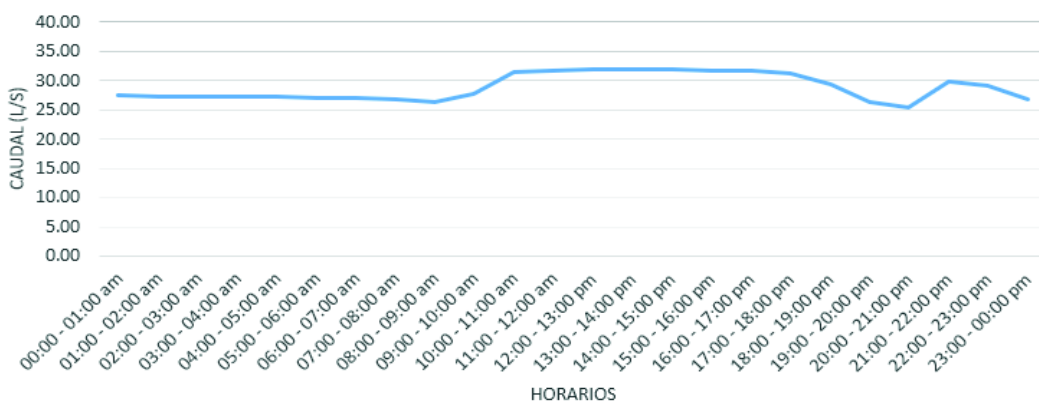
*Registro de caudales día 26 de julio de 2021*



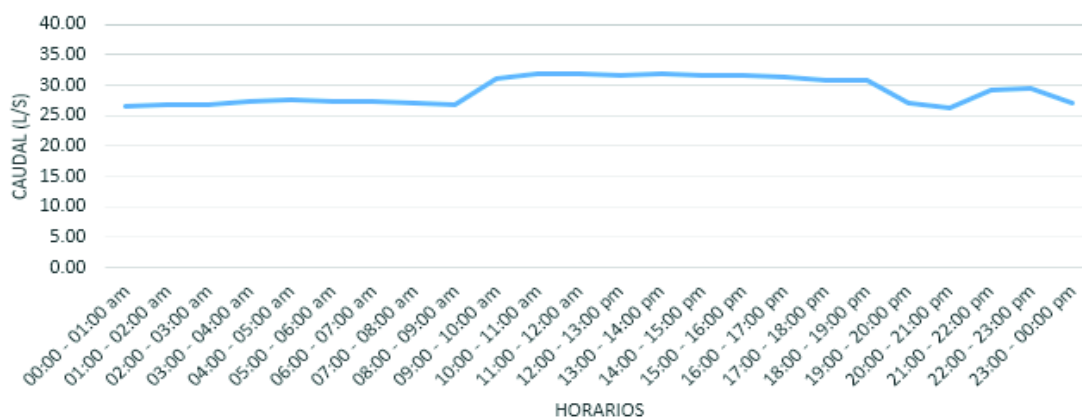
Las mediciones del caudal tomadas cada hora durante el día 27 de julio del 2021 (figura 41), nos indican que los caudales fluctúan poco, teniendo como caudal máximo horario 31,99 l/s, caudal mínimo horario 25,41 l/s y un promedio de caudal horario de 28,84 l/s.

**Figura 41**

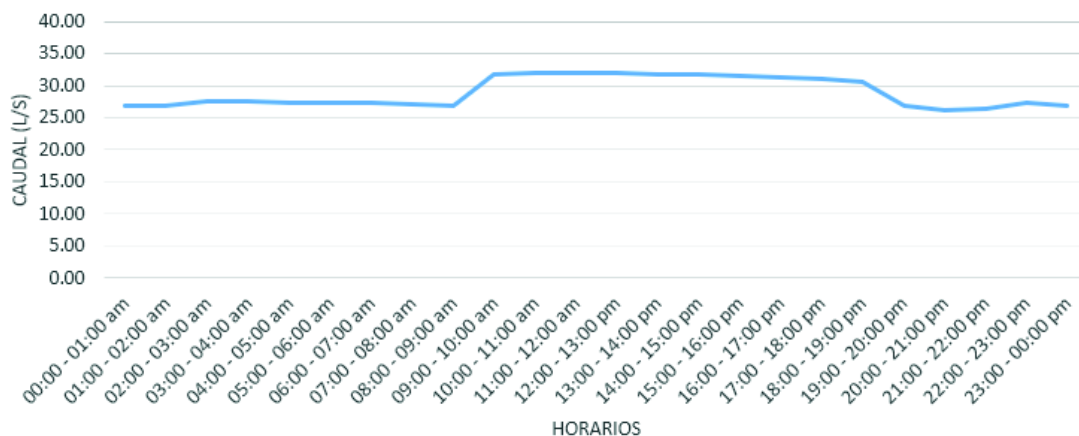
*Registro de caudales día 27 de julio de 2021*



Las mediciones del caudal tomadas cada hora durante el día 28 de julio del 2021 (figura 42), nos indican que los caudales fluctúan poco, teniendo como caudal máximo horario 31,95 l/s, caudal mínimo horario 26,39 l/s y un promedio de caudal horario de 29,08 l/s.

**Figura 42***Registro de caudales día 28 de julio de 2021*

Las mediciones del caudal tomadas cada hora durante el día 29 de julio del 2021 (figura 43), nos indican que los caudales fluctúan poco, teniendo como caudal máximo horario 31,99 l/s, caudal mínimo horario 26,26 l/s y un promedio de caudal horario de 28,92 l/s.

**Figura 43***Registro de caudales día 29 de julio de 2021*

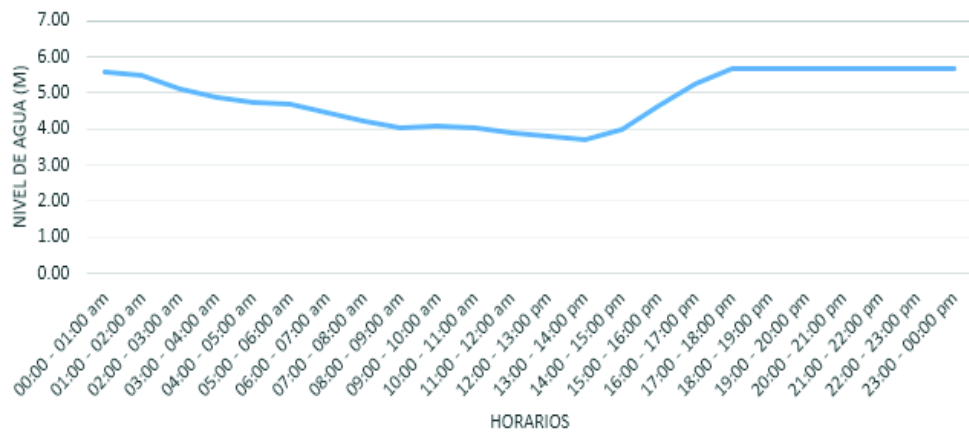
### 3.4.5.2. Altura del nivel de agua:

Se registró los niveles de agua del reservorio R10 durante el periodo del 23 al 29 de julio del presente año (figuras 44, 45, 46, 47 y 48). En siguientes gráficos se pueden apreciar la variación del nivel de agua que fluctúa de 2,90 a 5,75 m, se aprecia también que en horas de la mañana el consumo es mayor respecto a las horas de la tarde donde el reservorio conserva un solo nivel.

Los registros fueron los siguientes:

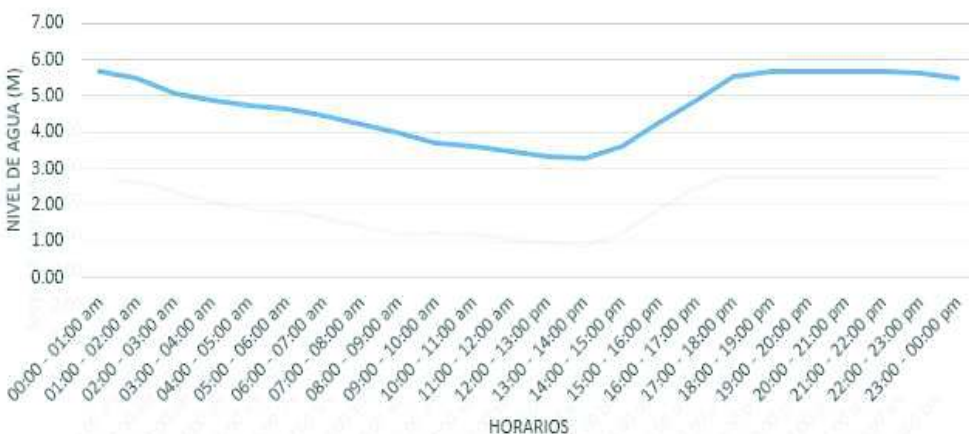
**Figura 44**

*Nivel de agua día 23 de julio de 2021*



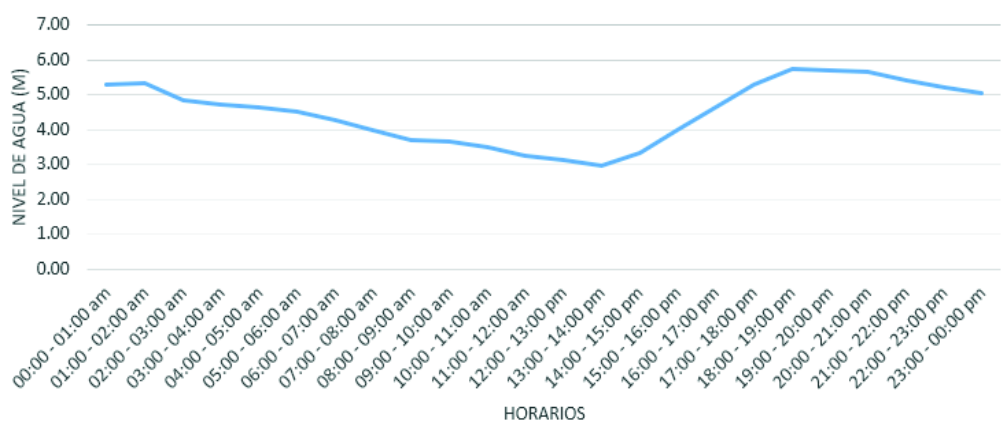
**Figura 45**

*Nivel de agua día 24 de julio de 2021*



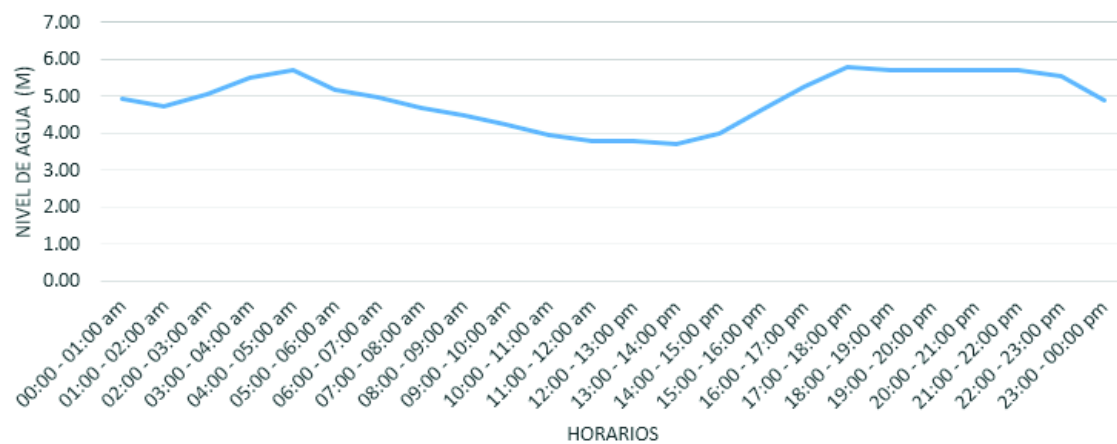
**Figura 46**

*Nivel de agua día 25 de julio de 2021*

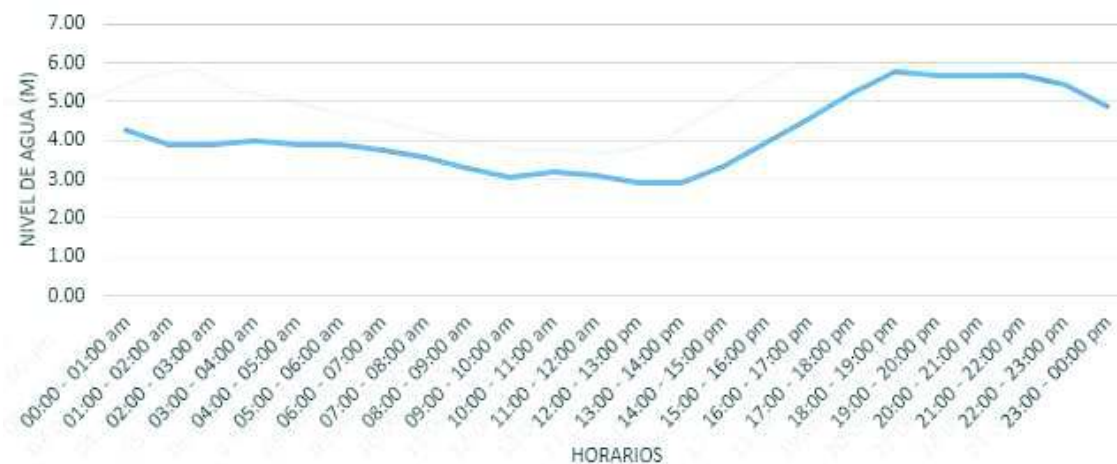


**Figura 47**

Nivel de agua día 26 de julio de 2021

**Figura 48**

Nivel de agua día 27 de julio de 2021



### 3.4.5.3. Válvula reductora de presión Bellavista

#### Presiones:

La válvula se encuentra ubicada en la asociación de vivienda Bellavista del distrito de Alto de la alianza mostrada en las figuras 49 y 50, se solicitó el registro de las presiones durante el periodo del 27, 28 y 29 de julio del presente año, el cual fue facilitado por la EPS Tacna S.A.



**Figura 49**

*Válvula reductora de presión Bellavista, vista externa.*

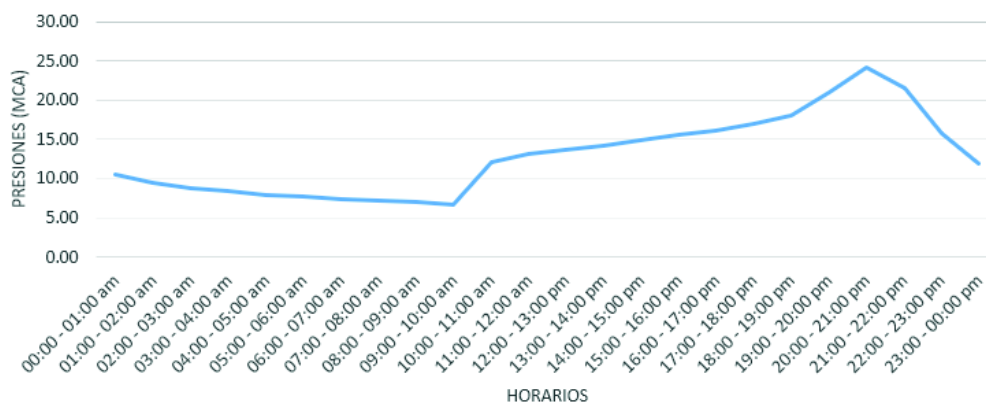
**Figura 50**

*Válvula reductora de presión Bellavista, vista interna.*

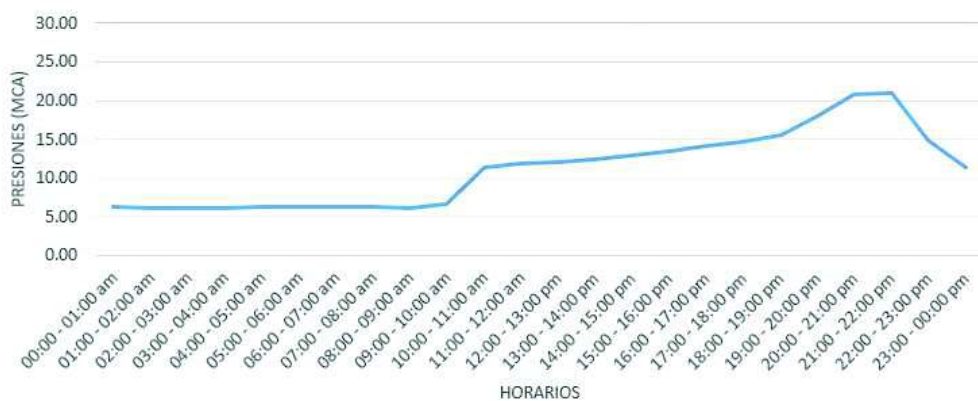


Cabe resaltar que las condiciones de operación actuales de la línea de aducción cuenta con variaciones debido a que en el horario de 10:00 am a 22:00 pm se activa un bypass proveniente del Reservorio R14, el cual dota de su caudal directamente a la línea de aducción, mejorando así su funcionamiento por ese periodo de tiempo durante el día. Los registros fueron los siguientes:

De acuerdo a los datos obtenidos el día 27 de julio del 2021 mostradas en la figura 51, nos indica que las presiones fluctúan considerablemente en las horas de 10:00 a 11:00 am mostrando el cambio de los valores de presiones horarias incrementándose de 6,73 a 12,15 m.c.a. y en las horas de 22:00 a 23:00 pm mostrándose el cambio de los valores de presiones horarias, disminuyéndose de 21,62 a 15,68 m.c.a.

**Figura 51***Presiones día 27 de julio de 2021-Bellavista*

De acuerdo a los datos obtenidos el día 28 de julio del 2021 mostradas en la figura 52, nos indica que las presiones fluctúan considerablemente en las horas de 10:00 a 11:00 am mostrando el cambio de los valores de presiones horarias incrementándose de 6,57 a 11,35 m.c.a. y en las horas de 22:00 a 23:00 pm mostrándose el cambio de los valores de presiones horarias disminuyéndose de 20,97 a 14,83 m.c.a.

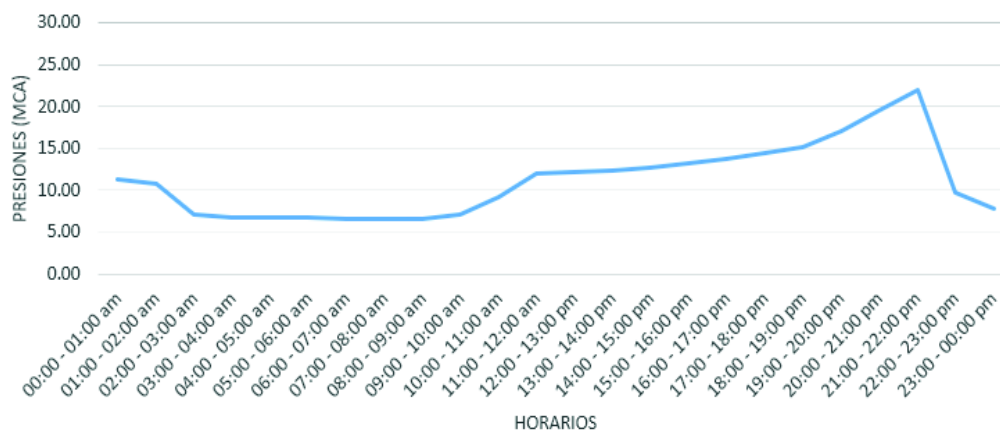
**Figura 52***Presiones día 28 de julio de 2021-Bellavista*

De acuerdo a los datos obtenidos el día 29 de julio del 2021 mostradas en la figura 53, nos indica que las presiones fluctúan considerablemente en las horas de 10:00 a 11:00 am mostrando el cambio de los valores de presiones horarias incrementándose de 7,03 a 9,28 m.c.a. y en las horas de 22:00 a 23:00 pm mostrándose el cambio de los valores de presiones horarias disminuyéndose de 22,00 a 9,80 m.c.a.



**Figura 53**

*Presiones día 29 de julio de 2021-Bellavista*



#### 3.4.5.4. Válvula reductora de presión San Pedro y San Pablo

La válvula se encuentra ubicada en la asociación de vivienda San Pedro y San pablo del distrito de Alto de la alianza (figura 54 y 55), se solicitó el registro de las presiones durante el periodo del 27, 28 y 29 de julio del presente año, el cual fue facilitado por la EPS Tacna S.A.

**Figura 54**

*Válvula reductora de presión San Pedro San Pablo, vista externa*



**Figura 55**

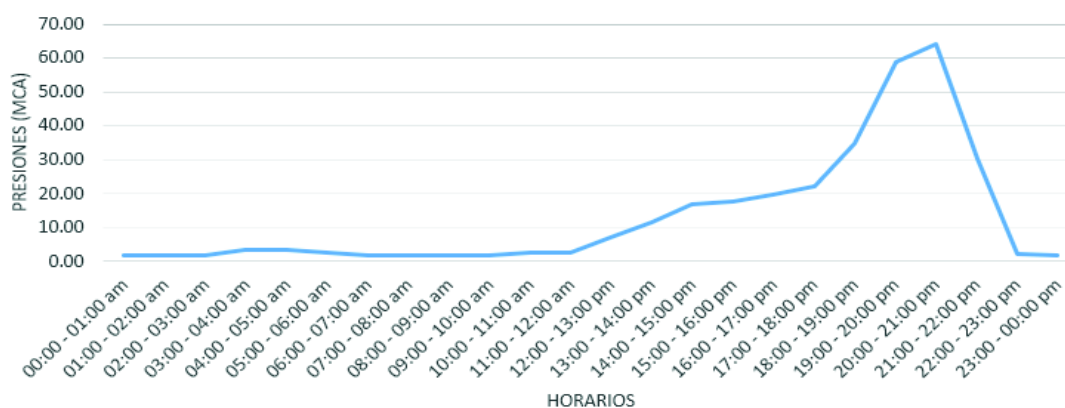
*Válvula reductora de presión San Pedro San Pablo, vista interna*



De acuerdo a los datos obtenidos el día 27 de julio del 2021 mostradas en la figura 56, nos indica que las presiones fluctúan considerablemente en las horas de 12:00 a 13:00 pm mostrando el cambio de los valores de presiones horarias incrementándose de 2,47 a 7,13 m.c.a. y en las horas de 22:00 a 23:00 pm mostrándose el cambio de los valores de presiones horarias disminuyéndose de 30,43 a 2,17 m.c.a.

**Figura 56**

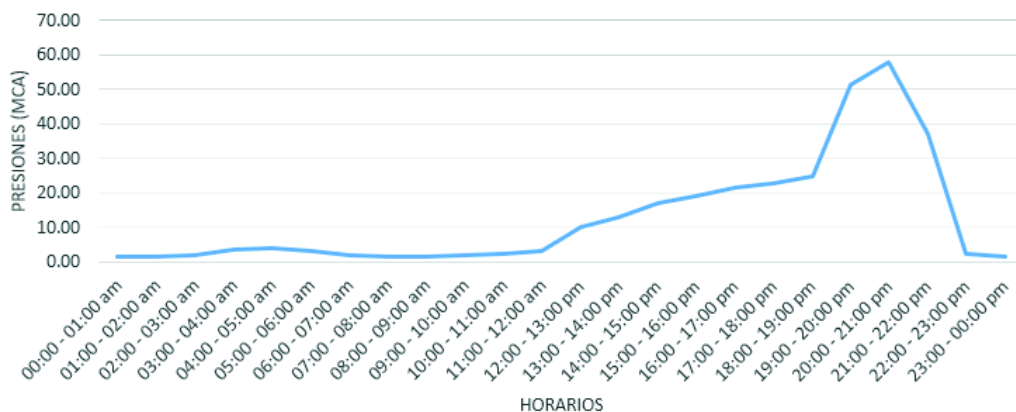
*Presiones día 27 de julio de 2021-San Pedro y San Pablo*



De acuerdo a los datos obtenidos el día 28 de julio del 2021 mostradas en la figura 57, nos indica que las presiones fluctúan considerablemente en las horas de 12:00 a 13:00 pm mostrando el cambio de los valores de presiones horarias incrementándose de 3,17 a 10,22 m.c.a. y en las horas de 22:00 a 23:00 pm mostrándose el cambio de los valores de presiones horarias disminuyéndose de 37,25 a 2,27 m.c.a.

**Figura 57**

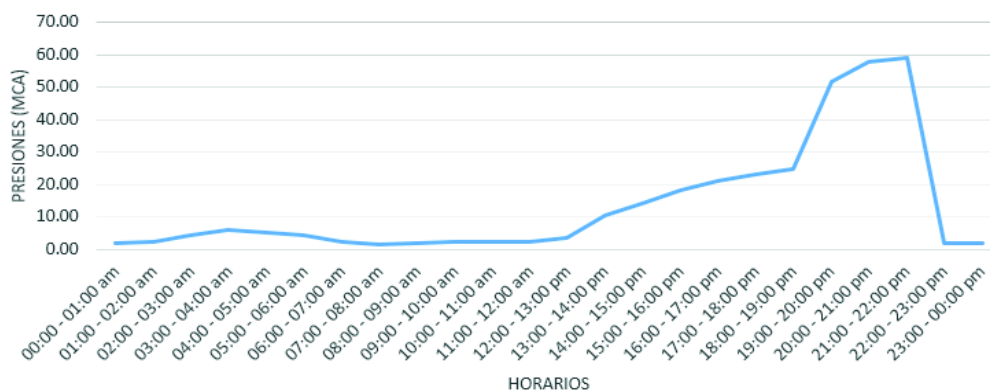
*Presiones día 28 de julio de 2021-San Pedro y San Pablo*



De acuerdo a los datos obtenidos el día 29 de julio del 2021 mostradas en la figura 58, nos indica que las presiones fluctúan considerablemente en las horas de 13:00 a 14:00 am mostrando el cambio de los valores de presiones horarias incrementándose de 3,60 a 10,30 m.c.a. y en las horas de 22:00 a 23:00 pm mostrándose el cambio de los valores de presiones horarias disminuyéndose de 59,05 a 1,77 m.c.a.

**Figura 58**

*Presiones día 29 de julio de 2021-San Pedro y San Pablo*



### 3.5. Procesamiento y análisis de datos

#### 3.5.1. Georreferenciación

Se procedió a contrastar las coordenadas del modelo digital de elevaciones con la base catastral, referido al sistema de coordenadas UTM WGS84. Se verificaron las ubicaciones de los siguientes elementos:

- a) El Reservorio R10
- b) Válvula Reductora de Presiones VRP Bellavista
- c) Válvula Reductora de Presiones VRP San Pedro y San Pablo

Para ello se superpuso el modelo digital de elevaciones con puntos sobre la base catastral, con la finalidad de poder compatibilizar las ubicaciones de los elementos antes mencionados.

Se pudo apreciar que las coordenadas del reservorio R10 compatibilizan con las coordenadas de los dos BMs 01 y 02, para ello se contrasto la referencia de las figuras 59 y 60.

### Figura 59

*Mapa google earth con georreferenciación del reservorio R10*

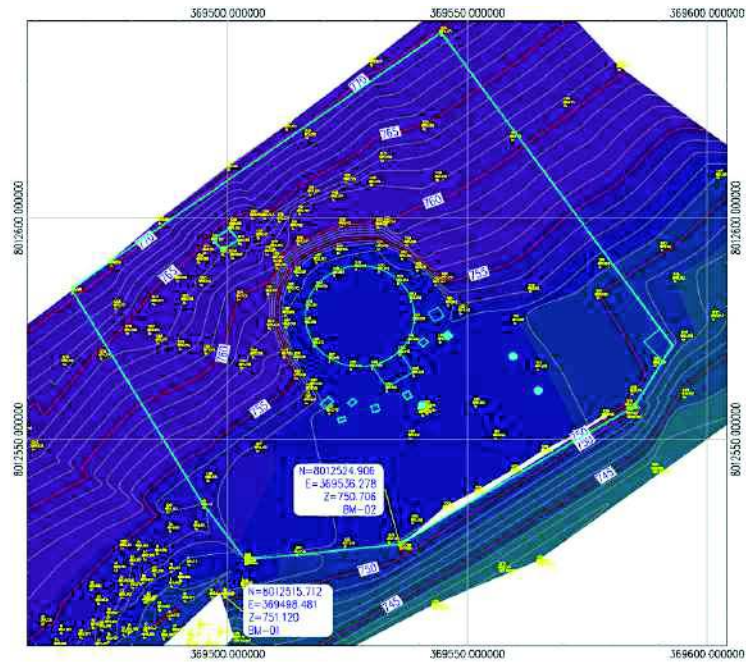


*Nota.* Elaboración propia con Software Qgis



**Figura 60**

*Puntos de levantamiento topográfico del reservorio R10*



*Nota.* Elaboración con Software Autodesk Civil 3D

Se verifico la correcta ubicación de la Válvula Reductora de Presión Bellavista, para ello se contrastó la referencia de las figuras 61 y 62.

**Figura 61**

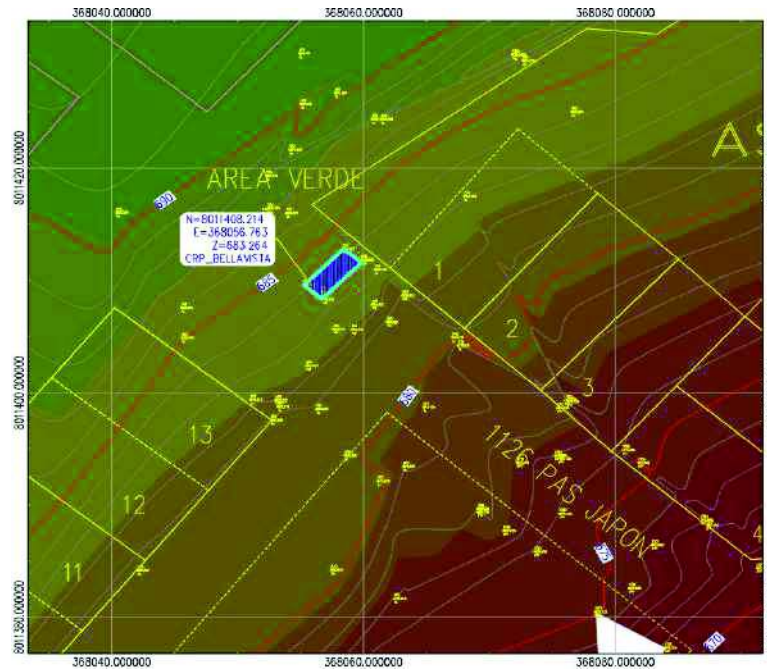
*Mapa google earth con georreferenciación de la cámara Bellavista*



*Nota.* Elaboración con Software Qgis

**Figura 62**

*Puntos de levantamiento topográfico de la cámara Bellavista*



*Nota.* Elaboración con Software Autodesk Civil 3D

Se verifico la correcta ubicación de la Cámara Reductora de Presión San Pedro y San Pablo, para ello se contrastó la referencia de las figuras 63 y 64.

**Figura 63**

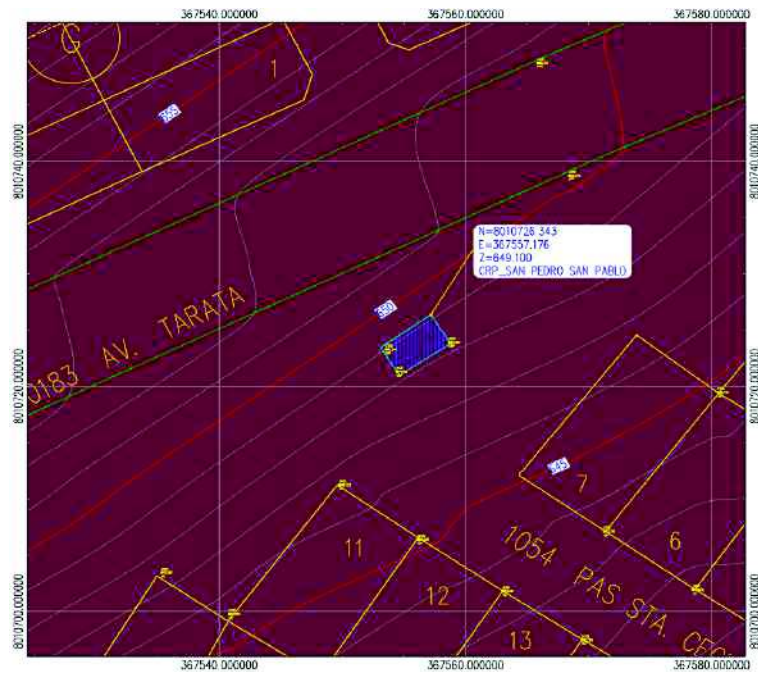
*Mapa Georreferenciado de cámara San Pedro y San Pablo*



*Nota.* Elaboración propia - Software Qgis

**Figura 64**

*Levantamiento Top. cámara San Pedro y San Pablo*



*Nota.* Elaboración con Software Autodesk Civil 3D

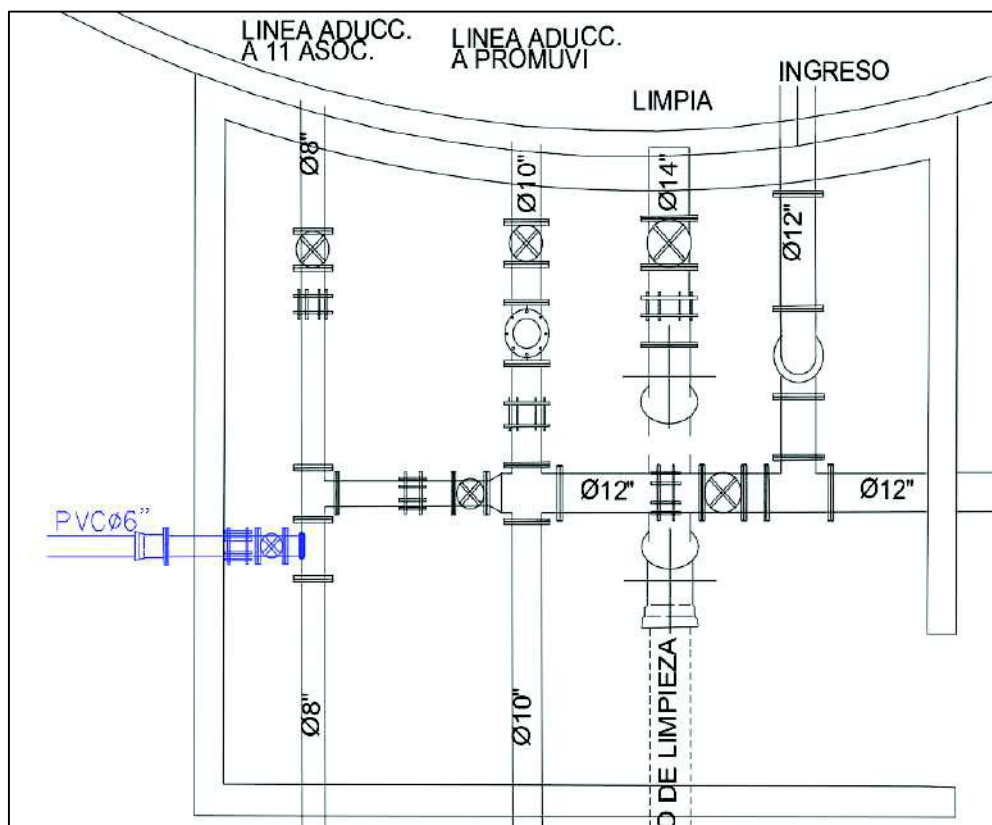
De esta manera se comprobó que el estudio topográfico fue realizado con el nivel de precisión esperado.

### **3.5.2. Reconstrucción del trazo en planta**

Una vez verificados los elementos, se realizó el trazo de la tubería aproximando lo mejor posible su recorrido y sus accesorios, esto debido a que no se contó con información técnica de su trazo, solo se contaba con las indicaciones brindadas por los operadores de la empresa prestadora de servicios EPS Tacna.

#### **3.5.2.1. Salida del Reservorio R10 Ciudad Nueva**

El trazo de la salida de la tubería de aducción desde la caseta de válvulas fue realizado gracias al levantamiento topográfico dentro y fuera de los muros perimetrales, además de las fotos de la visita a campo realizado, donde se pudo apreciar que la tubería de 6" deriva de una tubería de 8" mediante un accesorio tal y como se muestra en la siguiente figura 65.

**Figura 65***Caseta de válvulas reservorio R10*

*Nota:* Elaboración con Software Autodesk Civil 3D

### 3.5.2.2. Aproximación del trazo en planta

Se aproximó el trazo de la tubería por el lado izquierdo de la calle próximo al talud, zona donde según las indicaciones brindadas por los operadores de la EPS Tacna se encontraría la tubería enterrada. Para el trazo en planta se utilizaron codos de 11.25°, 22.5°, 45° y 90°, ya que son accesorios estándar para el cambio de trayectoria de las tuberías.

### 3.5.2.3. Aproximación del trazo en perfil

Para el trazo en perfil se aproximó de igual manera la profundidad a la cual estaría enterrada la tubería (figura 66 y 67), tomando en consideración que en la zona se habían asentado viviendas cuyo relleno fue depositado sobre el nivel de terreno inicial, aumentando de esta manera la profundidad de enterramiento. La información de los accesorios se describe en la siguiente tabla 11 con cantidades.



**Tabla 11**

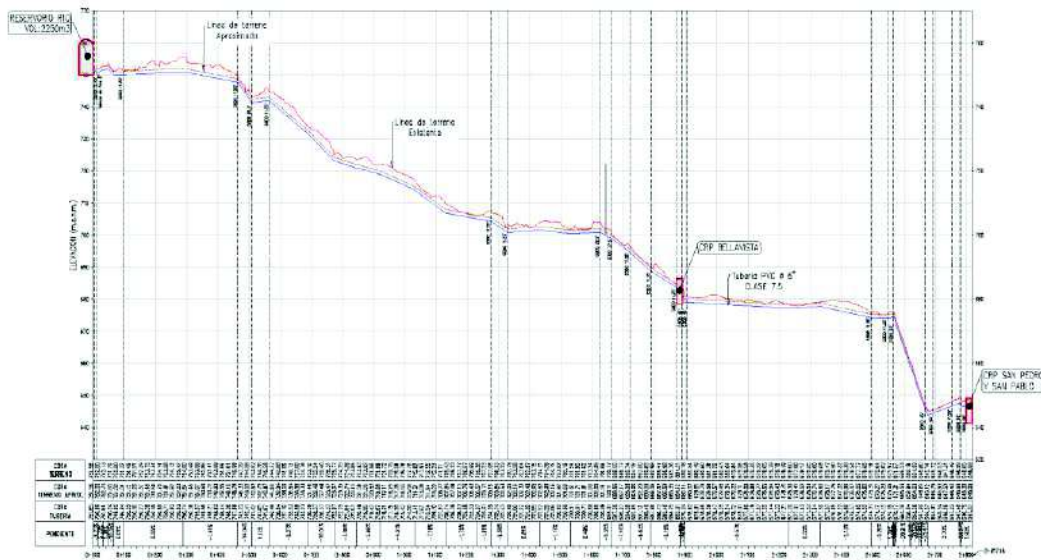
*Accesorios utilizados en la reconstrucción del trazo*

Descripción	Cantidad
Tubería PVC	2817m
Codo 11,25°	12 und
Codo 22,5°	3 und
Codo 45°	4 und
Codo 90°	3 und

*Nota. Accesorios de PVC*

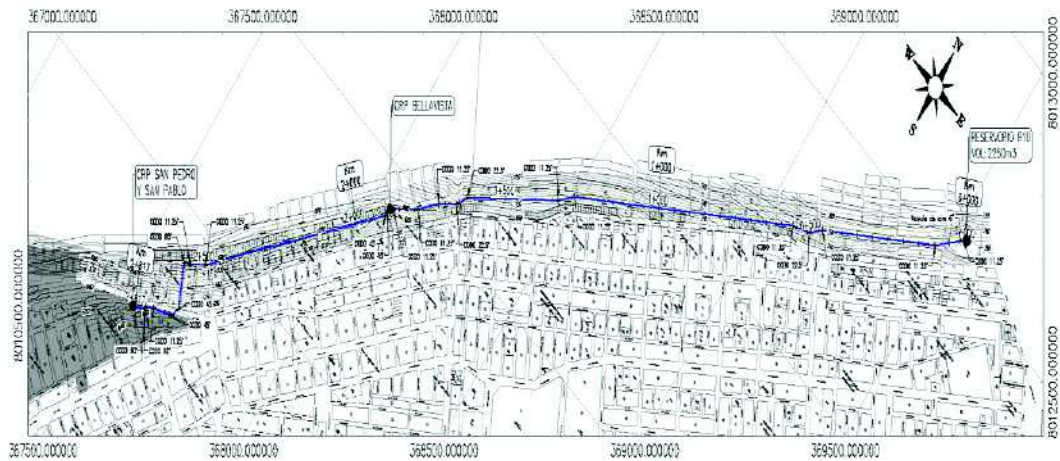
**Figura 66**

*Planta y perfil Línea de Aducción Cono Norte existente*



**Figura 67**

*Planta y perfil Línea de Aducción Cono Norte existente*



Así mismo se enlazaron el reservorio R10 y las dos cámaras reductoras de presión ubicadas en las asociaciones Bellavista y San Pedro y San Pablo. En el siguiente plano se puede apreciar el trazo en planta de la línea de aducción existente, la cual consta de tuberías PVC Ø 6" clase 7,5 con una longitud de 2817 m y un trazo en perfil que además muestra la línea de terreno actual, línea de terreno anterior aproximado y la línea a la cual se encontraría la tubería.

### 3.5.3. Información para el modelamiento del estado actual

En este paso se procedió a extraer la información necesaria del estudio topográfico y la recolección de los parámetros hidráulicos in situ (tabla 12 y 13), para poder realizar un modelamiento más realista.

El modelamiento de la línea de aducción se realizó en el software Epanet, el cual requiere como datos de entrada los tipos de elementos como Embalse (Reservorio), Conexión (nodo), tubería, válvula, etc. Así como las características de caudal, longitud de tubería, cota o elevación. Se extrajeron los datos necesarios correspondientes al reservorio R10, cámaras reductoras de presión y accesorios.

**Tabla 12**

*Datos para modelamiento tramo Reservorio R10-Válvula Bellavista*

Punto	Cota (m.s.n.m)	Progresiva	Long. Tub. (m)	Descripción
1	753,300	-	3,420	Reservorio R10
2	751,600	0+000,00	0,000	Tee
3	751,600	0+001,00	1,000	codo 45
4	750,500	0+002,11	1,110	codo 45
5	750,520	0+004,02	1,910	codo 11,25
6	750,660	0+015,80	11,780	-
7	751,520	0+030,87	15,070	-
8	751,760	0+048,36	17,490	-
9	749,920	0+065,95	17,590	-
10	749,920	0+095,85	29,900	codo 11,25
11	750,980	0+287,50	191,650	-
12	747,610	0+462,84	175,340	codo 11,25
13	741,290	0+508,04	45,200	codo 22,50
14	741,910	0+562,90	54,860	codo 11,25
15	731,500	0+688,81	125,910	-
16	723,090	0+772,80	83,990	-
17	720,910	0+843,98	71,180	-
18	718,900	0+919,39	75,410	-
19	714,140	1+029,89	110,500	-
20	706,900	1+130,66	100,770	-
21	705,140	1+230,93	100,270	-
22	704,320	1+275,94	45,010	codo 11,25

Punto	Cota (m.s.n.m)	Progresiva	Long. Tub. (m)	Descripción
23	700,810	1+329,43	53,490	codo 11,25
24	701,630	1+430,59	101,160	-
25	700,460	1+530,59	100,000	-
26	700,920	1+624,19	93,600	codo 22,50
27	698,900	1+661,98	37,790	codo 22,50
28	694,570	1+720,10	58,120	codo 11,25
29	688,670	1+788,49	68,390	codo 11,25
30	683,670	1+869,43	80,940	codo 11,25
31	683,000	1+882,95	13,520	VRP_Bellavista

Nota. continua de la tabla n° 12.

**Tabla 13**

*Para modelado tramo Válv. Bellavista-Válv. San Pedro y San Pablo*

Punto	Cota (m.s.n.m)	Progresiva	Long. Tub. (m)	Descripción
31	683,000	1+882,95	13,520	VRP_Bellavista
32	682,760	1+884,95	2,000	codo 45
33	681,690	1+888,51	3,560	codo 45
34	679,050	1+897,36	8,850	-
35	679,020	1+903,14	5,780	codo 45
36	677,150	2+230,60	327,460	-
37	677,700	2+330,59	99,990	-
38	674,220	2+494,04	163,450	codo 11,25
39	674,120	2+546,44	52,400	codo 11,25
40	674,460	2+565,75	19,310	codo 90
41	674,540	2+567,33	1,580	-
42	672,460	2+572,09	4,760	-
43	658,930	2+618,86	46,770	-
44	658,580	2+622,96	4,100	-
45	651,760	2+645,29	22,330	-
46	649,240	2+654,33	9,040	-
47	646,720	2+665,04	10,710	codo 45
48	643,950	2+676,84	11,800	-
49	644,550	2+693,15	16,310	codo 45
50	646,750	2+752,43	59,280	codo 11,25
51	647,720	2+778,85	26,420	codo 90
52	646,450	2+784,32	5,470	codo 90
53	648,700	2+817,08	32,760	VRP_San Pedro_San Pablo

Según lo observado en las figuras 47, 48, 49, 50 y 51, el nivel de agua del reservorio tiene una variación que *fluctúa de 2,90 a 5,75 m*, se apreció también que en horas de la mañana el consumo es mayor respecto a las horas de la tarde donde el reservorio conserva un solo nivel. Por tal motivo se decidió considerar un *nivel de agua del reservorio R10* mínimo de *2,90m* con el fin de trabajar en la condición más desfavorable.

La cota de fondo del *reservorio R10* fue calculada respecto al nivel de la tubería de salida dando como resultado una cota de *750,400 m.s.n.m.*

Según lo observado en las figuras 41, 42, 43, 44, 45 y 46 los caudales medidos fluctúan desde un mínimo de *18,00 l/s* hasta un máximo de *32,00 l/s*, por ello se decidió trabajar con el caudal al máximo de *32,00 l/s*, debido a que este caudal representa a la máxima demanda actual de los sub sectores, además porque a que a un mayor caudal se genera una mayor pérdida de carga, para así trabajar en la condición más desfavorable.

#### 3.5.4. Modelamiento del estado actual

Para comenzar el modelamiento, procedemos a exportar el trazo de la línea de aducción desde el software Autodesk Civil 3D al software EpaCAD, el cual es compatible con el software Epanet 2.0., para lo cual se trazó una polilínea del eje de la línea de aducción (figura 68) a la cual se asignó una Capa de nombre Eje\_Epacad para efectos de trabajo.

**Figura 68**  
*Trazo de Línea de Aducción*

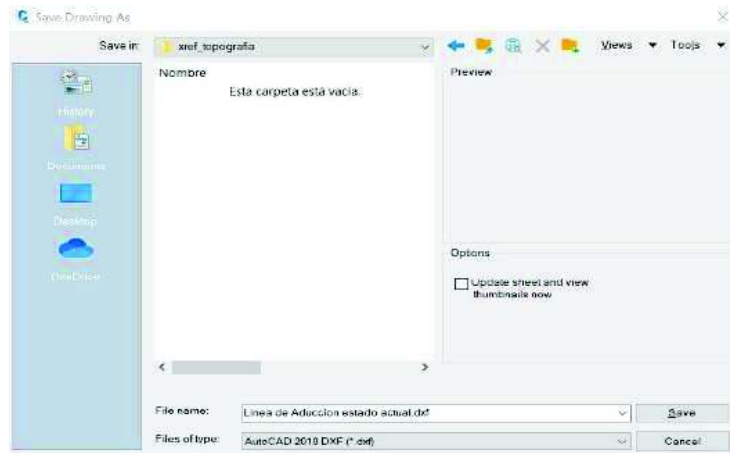


*Nota.* Elaboración con Software Autodesk Civil 3D.

Luego, se guardó el archivo del software Autodesk Civil 3D (figura 69) con la extensión (.dxf), para poder exportarlo al programa EpaCAD, el cual permite convertir de manera rápida el trazo de la línea en un fichero interpretable por el Software Epanet.

**Figura 69**

*Archivo a guardar en extensión (.dxf)*

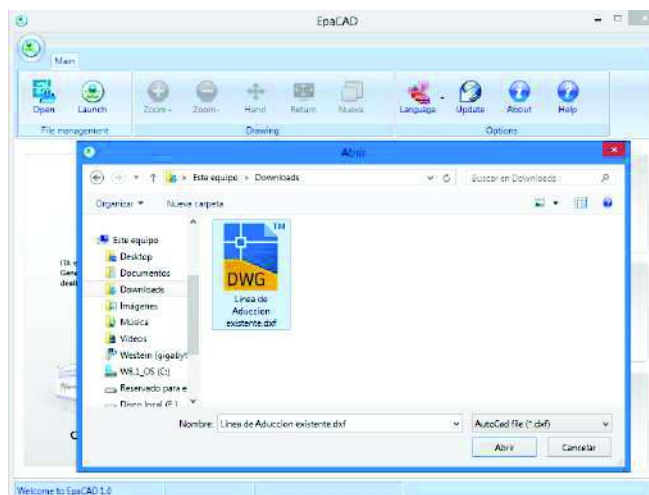


*Nota.* Elaboración con Software Autodesk Civil 3D.

Una vez guardado el archivo en la extensión (.dxf), procederemos a abrir el archivo en el software EpaCAD (figura 70).

**Figura 70**

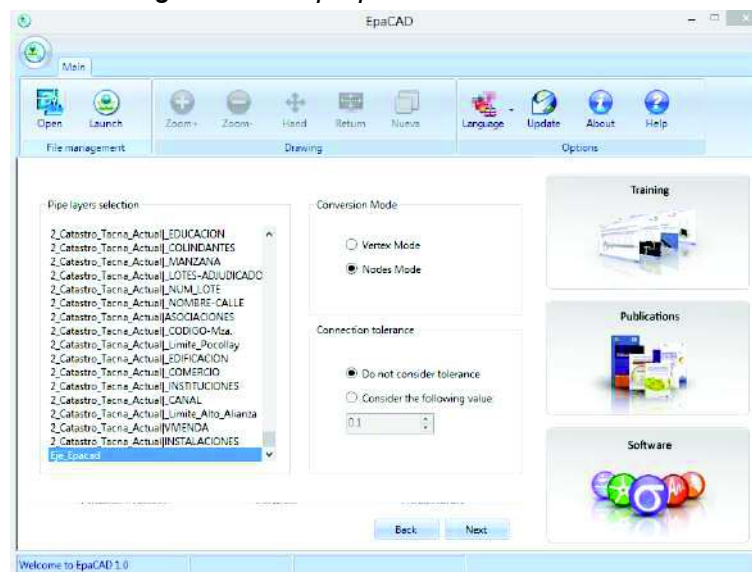
*Archivo a abrir en extensión (.dxf)*



*Nota.* Elaboración con Software Autodesk Civil 3D.

En el software EpaCAD, se importó el archivo (Línea de Aducción existente.dxf) (figura 71) y se extrajo la capa correspondiente al trazo de la línea de aducción. Se le asignaron propiedades de nodos (Nodes Mode) a todos los vértices del trazo y obviando la consideración de aproximación (Do not consider tolerance).

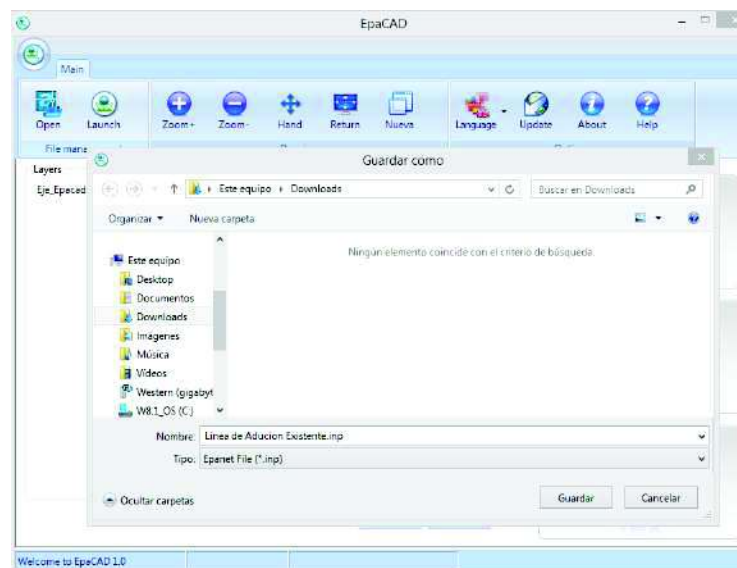
**Figura 71**  
Configuración de propiedades



*Nota.* Entorno software EpaCAD.

El software EpaCAD nos generó un fichero con extensión (.inp), conteniendo toda la información del trazo (figura 72).

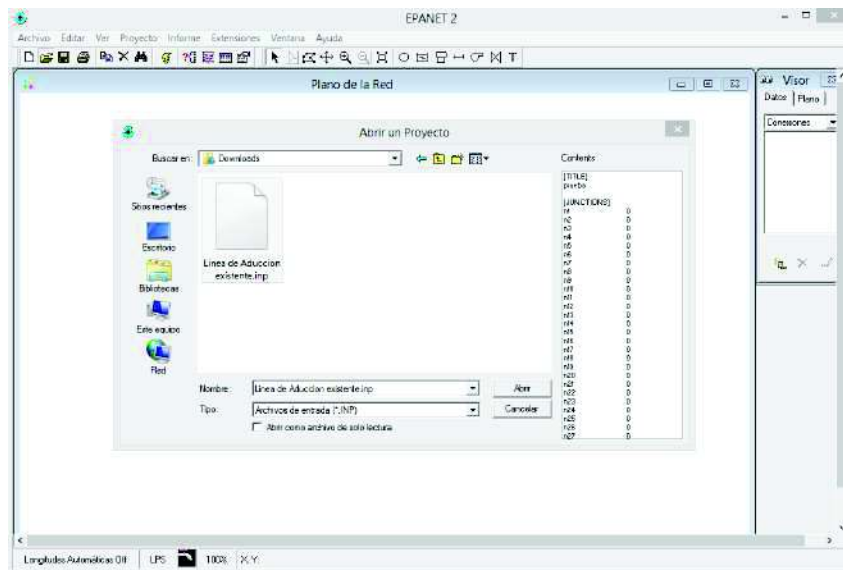
**Figura 72**  
Fichero con extensión (.inp)



*Nota.* Entorno software EpaCAD.

En el software Epanet (figura 73), se procedió a importar el fichero (Línea de Aducción existente.inp)

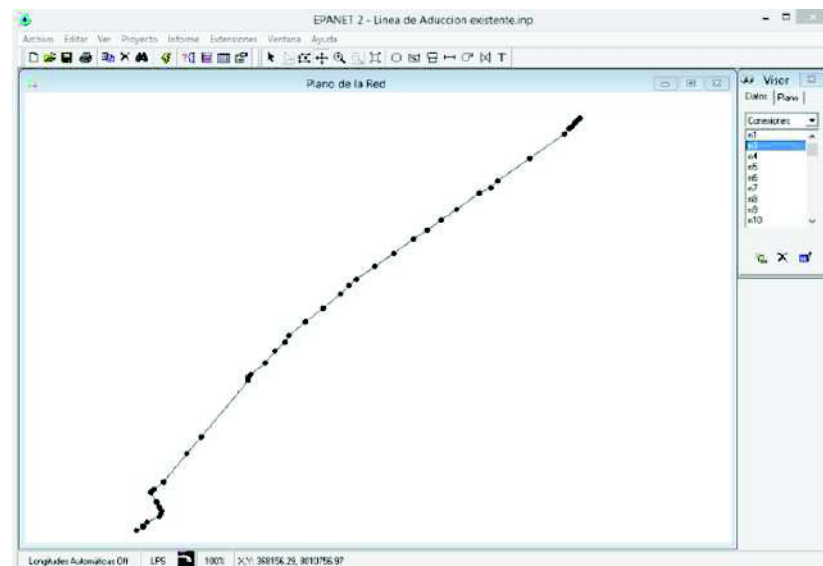
**Figura 73**  
*Importación de Fichero con extensión (.inp)*



*Nota.* Entorno software Epanet.

Ahora se puede visualizar el trazo de la línea de aducción existente en el software (figura 74).

**Figura 74**  
*Vista del trazo de la Línea de Aducción*

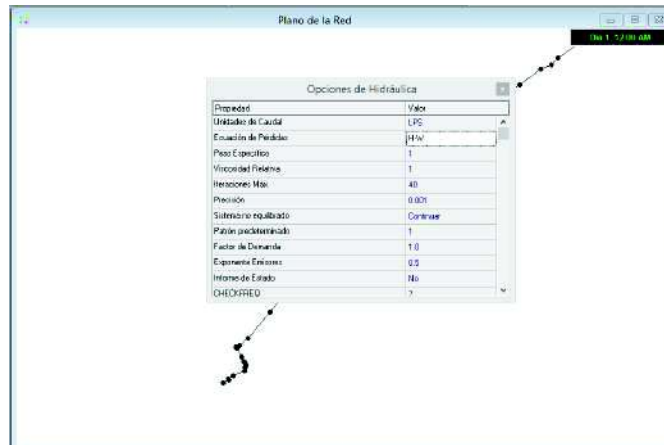


*Nota.* Entorno software Epanet.

Ubicamos el menú Proyecto y configuramos las Opciones de Hidráulica (figura 75 se consideró utilizar la fórmula de Hazen - Williams para el cálculo de pérdidas de carga y se trabajó con LPS para las unidades de Caudal.



**Figura 75**  
Configuración de unidades y fórmulas



*Nota.* Entorno software Epanet.

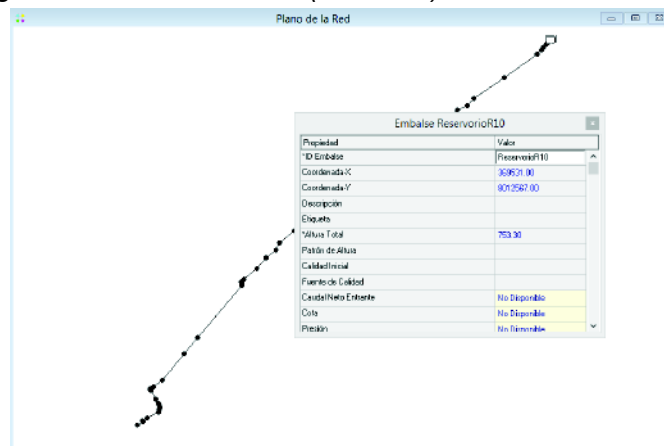
Para el modelamiento del Reservoirio se añadió el elemento Embalse, luego en la ventana emergente detallamos las características de nuestro Reservoirio (tabla 14 y figura 76) (R-10) como: ID o Nombre, Altura Total y Coordenadas X, Y.

**Tabla 14**  
Datos para Reservoirio R10

Descripción	Valor
ID o Nombre	ReservoirioR10
Coordenada X	369531,000 m
Coordenada Y	8012567,000 m
Cota de Reservoirio	750,400 m.s.n.m.
Altura de Nivel de Agua Mínimo	2,90 m.s.n.m.
Altura Total (Cota de Reservoirio + Altura de Nivel de Agua Mínimo)	753,30 m.s.n.m.

*Nota.* Información propia.

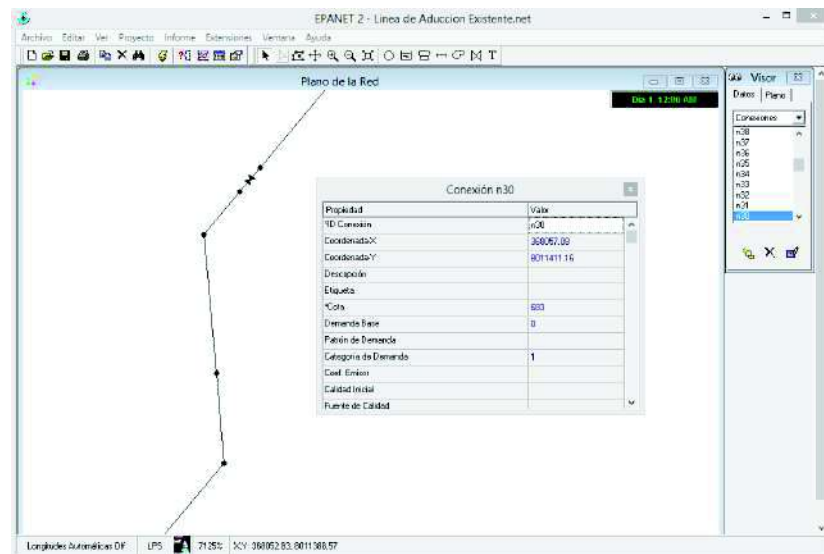
**Figura 76**  
Configuración de Reservoirio (Embalse)



*Nota.* Entorno software Epanet.

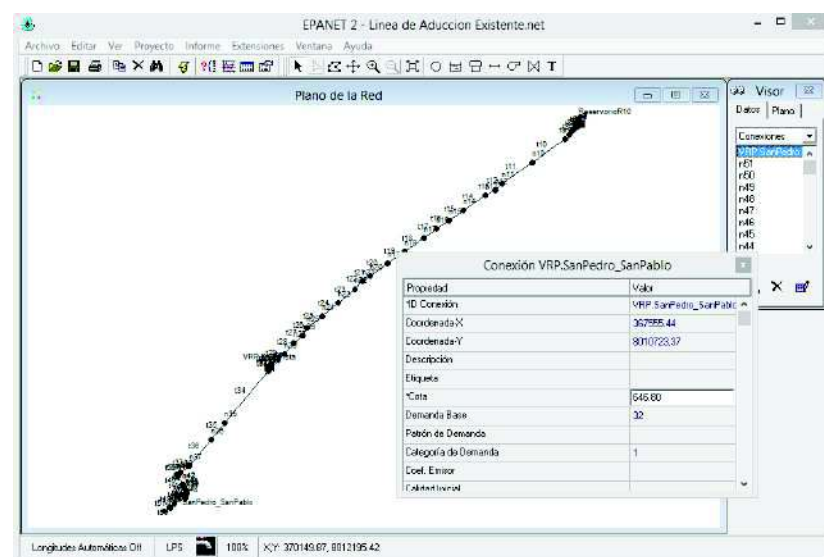
Cada nodo fue modelado como elemento Conexión, luego en la ventana emergente detallamos las características de cada nodo (figura 77 y 78) como: ID o Nombre y Cota, el apartado de Coordenadas X, Y, fueron definidas previamente ya que el archivo contaba con georreferenciación con coordenadas UTM. La Demanda Base o Caudal fue asignada en el último nodo (VRP\_SanPedro\_SanPablo).

**Figura 77**  
*Configuración de Conexiones (n30)*



*Nota.* Entorno software Epanet.

**Figura 78**  
*Configuración de Conexiones (VRP\_SanPedro\_SanPablo)*



*Nota.* Entorno software Epanet.

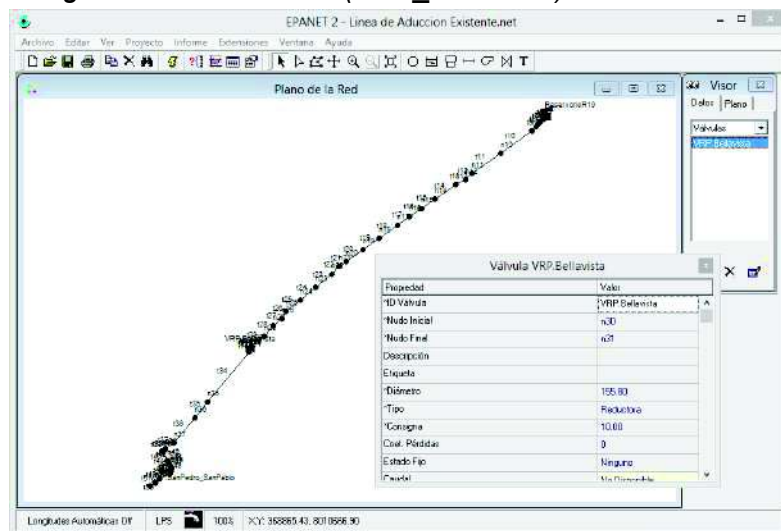
Para el modelamiento de la Válvula Reductora de Presión Bellavista, se añadió el elemento Válvula, luego en la ventana emergente detallamos las características (tabla 15 y figura 79) como: ID o Nombre, Nudo Inicial y Final, Diámetro, Tipo y Consigna.

**Tabla 15**  
*Datos para VRP\_Bellavista*

Descripción	Valor
ID o Nombre	VRP_Bellavista
Nudo Inicial	n30
Nudo Final	n31
Diámetro	155,80 mm
Tipo	Reductora
Consigna	10,00 m.c.a.

*Nota.* Información propia.

**Figura 79**  
*Configuración de Válvulas (VRP\_Bellavista)*



*Nota.* Entorno software Epanet

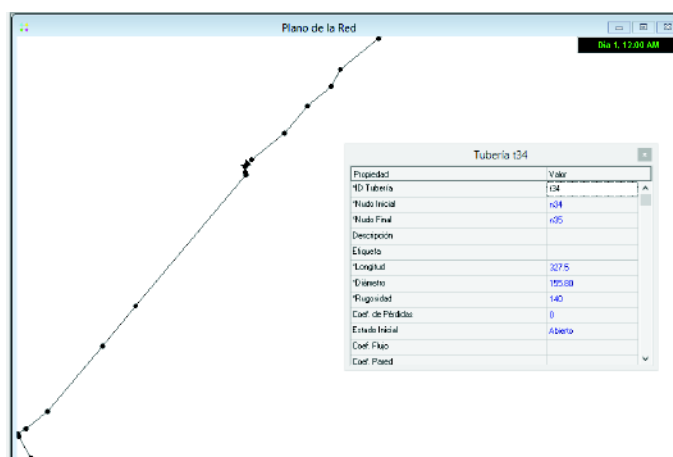
Y por último la línea de aducción se modelaron como elementos tuberías, luego en la ventana emergente detallamos las características de la tubería (tabla 16 y figura 80) como: ID o Nombre, diámetro y rugosidad, el apartado de Nudo Inicial, Nudo Final y longitud, fueron definidas previamente ya que el archivo contaba con georeferenciación con coordenadas UTM. El apartado de Coeficiente de Pérdidas representa la pérdida de carga por accesorio la cual para efectos de cálculo no es relevante, por lo que no se consideró.

**Tabla 16**  
*Datos para tubería (Línea de Aducción)*

Descripción	Valor
ID o Nombre	t1 al t51
Diámetro	155,80 mm
Rugosidad (Para PVC considerando antigüedad)	140

*Nota:* Elaboración propia.

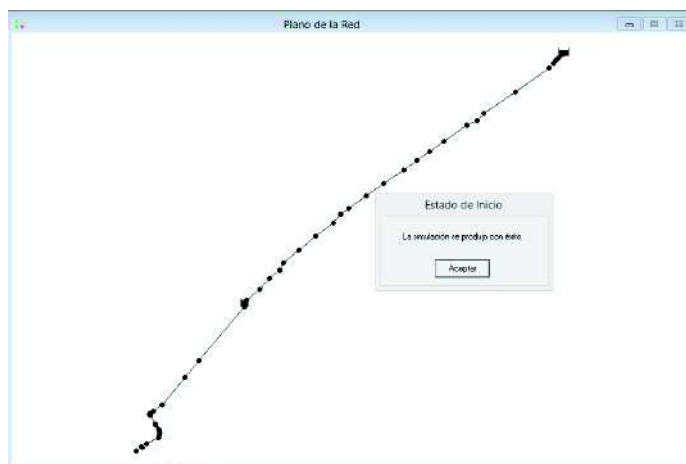
**Figura 80**  
*Configuración de Tuberías*



*Nota.* Entorno software Epanet.

Modelado la red de la línea de aducción, procedemos a verificar que la simulación se produzca con éxito (figura 81).

**Figura 81**  
*Modelo finalizado con éxito*

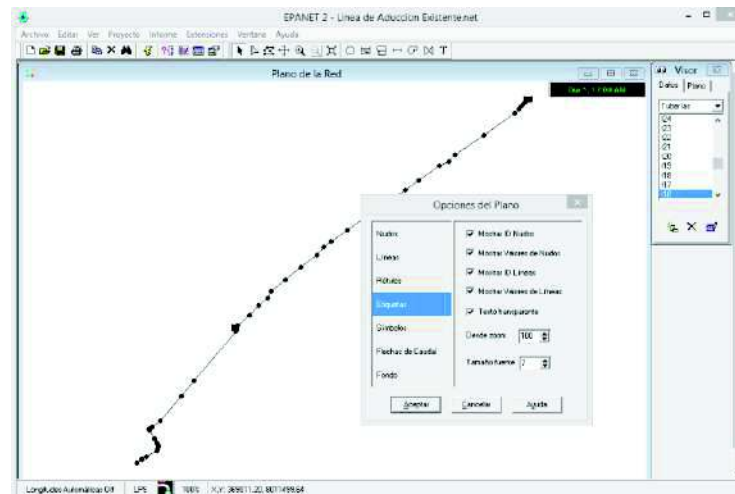


*Nota.* Elaboración propia - Software Epanet.

Para efecto de visualización las etiquetas de los ID o Nombre y los valores de los resultados del cálculo hidráulico, en la ventana emergente de Opciones del Plano ponemos en check a todas las opciones (figura 82).

**Figura 82**

*Configuración de etiquetas*

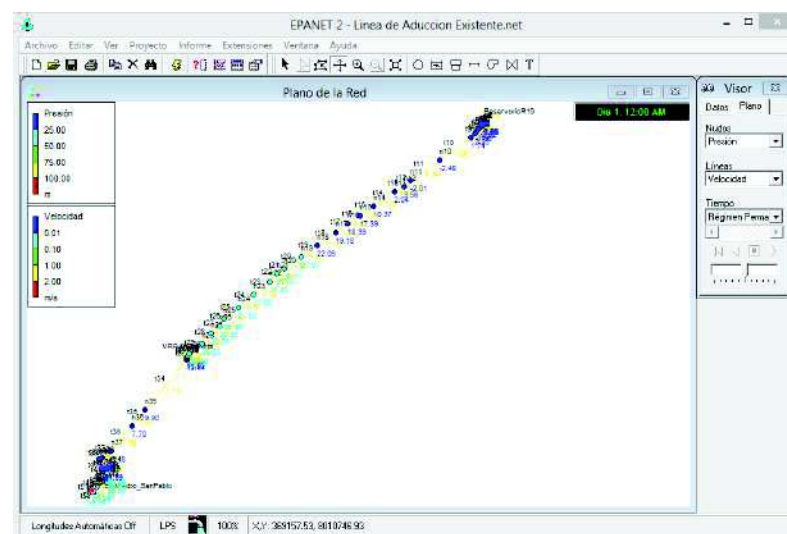


*Nota.* Entorno software Epanet

Se observa las etiquetas de todos los componentes modelados y los resultados hidráulicos (figura 83). El software en la ventana de Visor, opción Plano, seleccionamos los resultados que requerimos del modelamiento hidráulico, en nudos las presiones y en tuberías la velocidad.

**Figura 83**

*Visualización de Resultados*

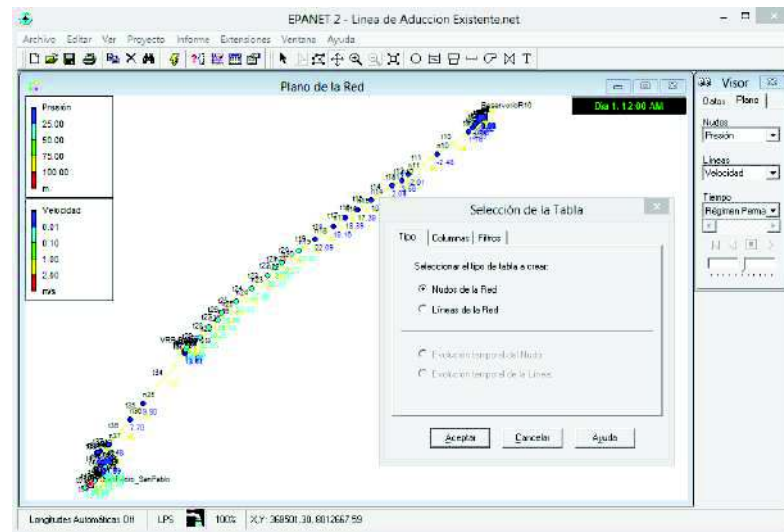


*Fuente.* Entorno software Epanet

Por último, ubicamos el menú Informe y seleccionamos tablas, en la ventana emergente seleccionamos la tabla con resultados del componente que requerimos que es Nudos de la Red (figura 84).

**Figura 84**

*Selección de tipo de tabla*

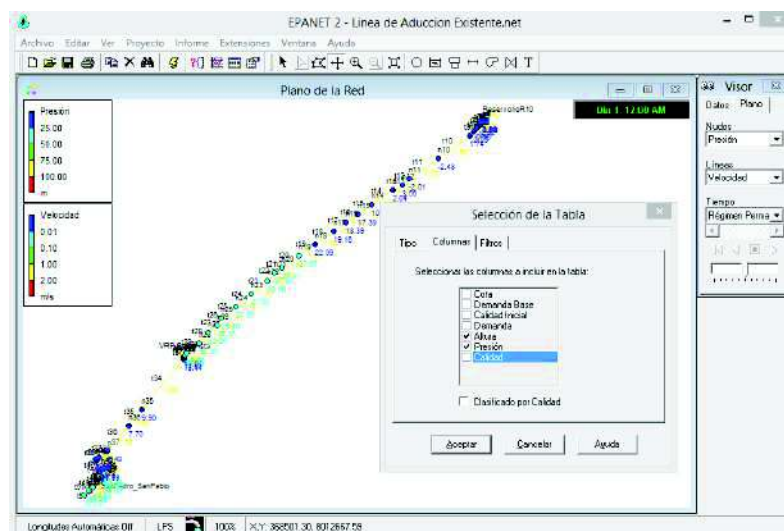


*Nota.* Entorno software Epanet.

Seleccionamos los resultados del componente Líneas de Red (figura 85), que requerimos que es de alturas y presiones.

**Figura 85**

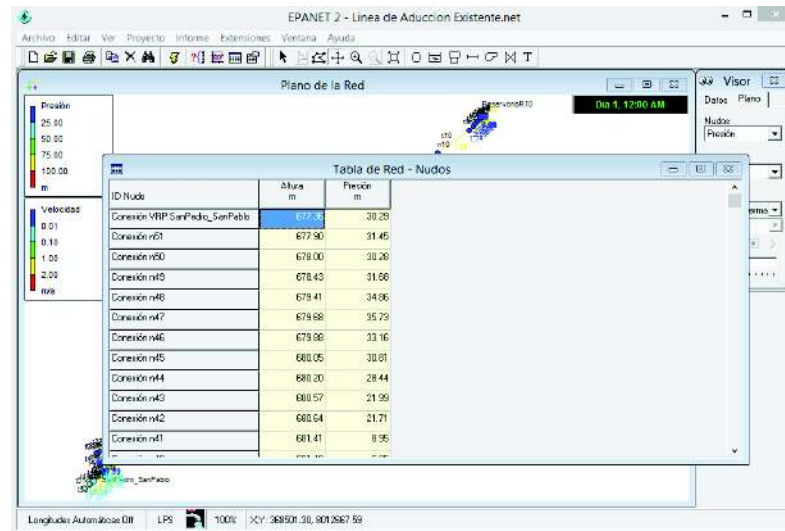
*Selección de resultados requeridos*



*Nota.* Entorno software Epanet

Y podemos visualizar la tabla de resultados solicitados en los Nodos de la Red (figura 86).

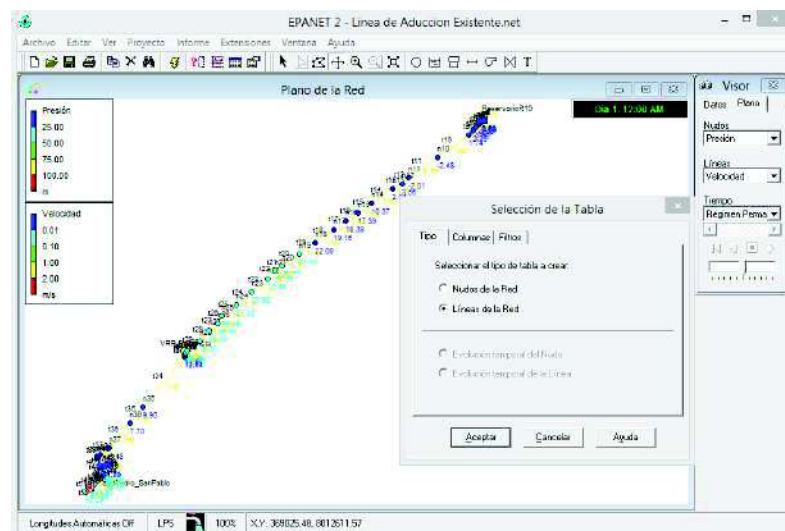
**Figura 86**  
*Tabla de Resultados*



*Nota.* Entorno software Epanet.

De igual manera, ubicamos el menú Informe y seleccionamos tablas (figura 87), en la ventana emergente seleccionamos la tabla con resultados del componente que requerimos que es Líneas de la Red.

**Figura 87**  
*Selección de tipo de tabla*



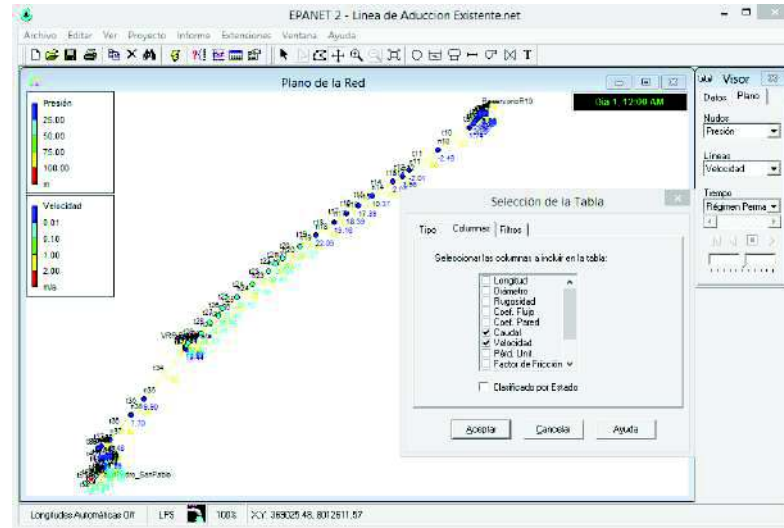
*Nota.* Elaboración propia - Software Epanet.



Seleccionamos los resultados del componente Líneas de Red que requerimos que es caudal y velocidad (figura 88).

**Figura 88**

*Selección de resultados requeridos*



*Nota.* Entorno software Epanet

Y podemos visualizar la tabla de resultados solicitados en las líneas de la Red (figura 89).

**Figura 89**

*Tabla de Resultados*

The screenshot shows the EPANET 2 interface with the 'Tabla de Red - Líneas' table displayed. The table has three columns: 'ID Línea', 'Caudal LPS', and 'Velocidad m/s'. The data is as follows:

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s
Tubería 050	32.00	1.98
Tubería 049	32.00	1.98
Tubería 048	32.00	1.98
Tubería 047	32.00	1.98
Tubería 046	32.00	1.98
Tubería 045	32.00	1.98
Tubería 044	32.00	1.98
Tubería 043	32.00	1.98
Tubería 042	32.00	1.98
Tubería 041	32.00	1.98
Tubería 040	32.00	1.98
Tubería 039	32.00	1.98

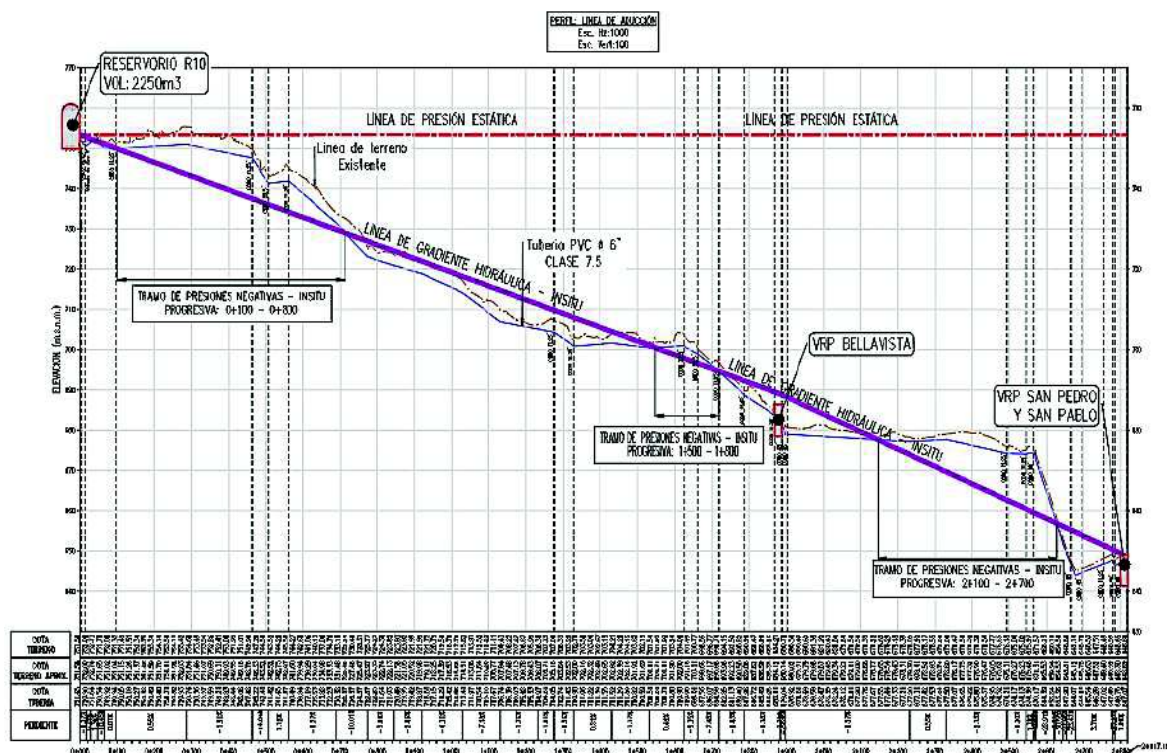
*Nota:* Entorno software Epanet

### 3.5.5. Análisis de parámetros hidráulicos Insitu - Modelamiento de Redes

Para realizar un análisis entre los parámetros hidráulicos Insitu y del modelamiento de redes, se graficó la línea de gradiente hidráulica (L.G.H.) con los parámetros hidráulicos antes mencionados, para lo cual se requirió información sobre el nivel del Reservorio R-10, nivel de agua mínimo, presiones en la VRP. Bellavista y VRP. San Pedro y San Pablo, con la finalidad de realizar la comparativa de una manera clara y concisa (figura 90).

**Figura 90**

*L.G.H. según parámetros hidráulicos in situ*

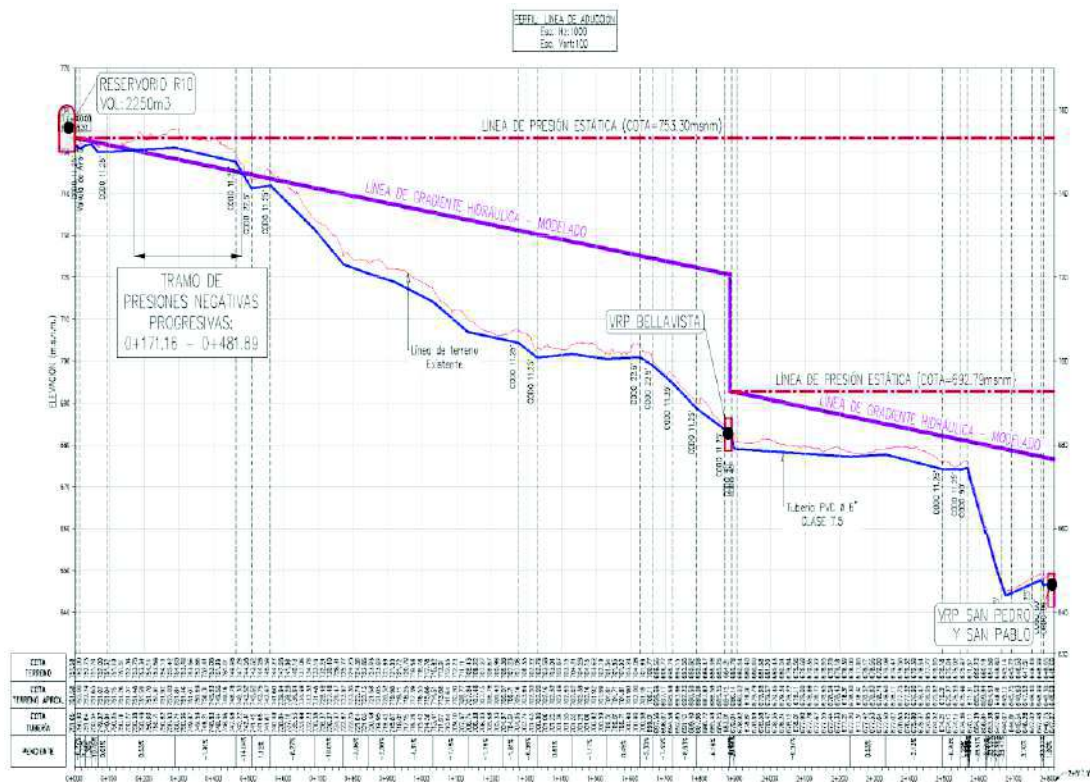


*Nota.* Fenómeno de cavitación evidenciado mediante mediciones in situ.

En base a los resultados obtenidos de las pruebas hidráulicas realizadas en campo, se puede observar que el trazo de la L.G.H. tiene dos tramos y además queda ubicada sobre la línea de aducción en las progresivas 0+100 a 0+800, 1+500 a 1+800 y 2+100 a 2+700, lo que indica que existen presiones negativas o menores a cero metros de columna de agua (figura 91).

Figura 91

L.G.H. Modelamiento de Redes del estado actual



**Nota.** Fenómeno de cavitación evidenciado mediante modelamiento con Epanet

En base a los resultados obtenidos del modelamiento de redes, se puede observar que al realizar el trazo de la L.G.H. esta se encuentra en un tramo por debajo del trazo en perfil de la línea de aducción (Progresiva 0+171,16 a 0+481,89), lo que indica que existen o menores a cero metros de columna de agua.

De acuerdo a la comparativa de las líneas de gradiente hidráulica generadas a partir de los datos medidos in situ, versus resultados del modelamiento hidráulico del estado actual, se pudo evidenciar coincidentemente la aparición del fenómeno de cavitación debido a la existencia de presiones menores a cero o presiones negativas en el tramo inicial (Reservorio R10 – VRP Bellavista).

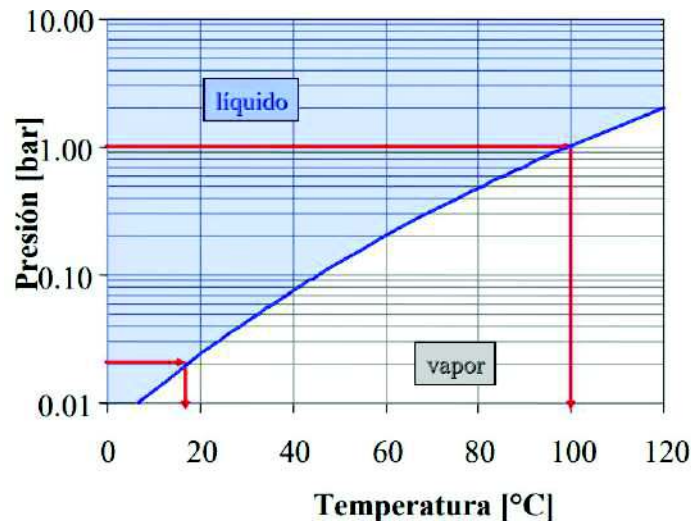
Mientras que en el tramo final (VRP Bellavista – VRP San Pedro y San Pablo) se pudo notar que según los datos del modelamiento existente no debería de existir presiones negativas, sin embargo, los datos medidos in situ demuestran presiones deficientes.

Si bien es cierto la cavitación es un fenómeno físico donde la condición de paso de líquido a vapor depende de dos factores, como son el aumento de temperatura una disminución de la presión. Por lo que se podría explicar lo siguiente:

Según la siguiente curva de evaporación del agua (figura 92), a una presión atmosférica de 1 bar = 10 m.c.a. el agua se evapora a 100° C. por ende, cuando la presión disminuye el proceso de evaporación se dará lugar a una temperatura menor.

**Figura 92**

*Curva de presión de vapor del agua*



*Nota.* Relación de la presión del agua en bares (bar) a una determinada temperatura en grados Celsius (°C).

En tal sentido nuestra línea de aducción presenta disminución de presión por debajo de cero metros de columna de agua lo que favorece la aparición de este fenómeno. Por otro lado, se pudo evidenciar que no fueron tomadas las medidas necesarias para poder asegurar la eliminación del aire desde la puesta en marcha, ya que no existe la presencia de válvulas de aire en la línea de aducción.

Según los fabricantes de dispositivos de control de aire, la existencia de aire en las tuberías puede causar severos problemas como la reducción de la sección efectiva, que acarrea una pérdida de energía, el suministro inadecuado de agua debido a la obstrucción del flujo, la acumulación de pérdidas de carga localizadas, lecturas inadecuadas de medidores e hidrómetros, suministro inadecuado debido a lecturas incorrectas de medidores y problemas de cavitación.

Tratándose de una línea de aducción existente y en funcionamiento, además del fenómeno de cavitación evidenciado aún existen causas y/o factores que afecten las condiciones de presión de la tubería que son más difíciles de evidenciar y determinar.

### 3.5.5.1. Diagnóstico de la línea de conducción sector Cono Norte

A fin de realizar un mejor análisis y posterior propuesta de mejora se realizó una comparativa entre las características de la línea de Aducción existente y las consideraciones mínimas para el diseño según **Norma OS010** y la **RM N° 192-2018-VIVIENDA** sobre el diseño de líneas de aducción (tabla 17 y continuación).

**Tabla 17**

*Comparativa aducción Cono Norte vs Consideraciones de diseño*

Consideraciones mínimas de diseño	Línea de aducción existente
<i>Trazo</i>	
– Se evitarán pendientes mayores del 30 % para evitar velocidades excesivas e inferiores a 0.50 % para facilitar la ejecución y el mantenimiento.	– El tramo inicial de la línea de aducción cuenta con un trazo sobre una topografía con pendientes mínimas próximas al 0,50 %.
<i>Profundidad de instalación</i>	
– La tubería estará enterrada a una profundidad mínima de 1.00m, indispensable para la protección de la tubería y su aislamiento térmico. (Guía)	– Entre la progresiva 0 a 200m, el trazo de la línea de aducción se encuentra enterrada a una profundidad de 4,00 m, producto del relleno existente en la zona.
<i>Consideraciones especiales de tubería</i>	
– En el caso de suelos agresivos o condiciones severas de clima, deberá considerarse tuberías de material adecuado y debidamente protegido. (OS010)	– La línea de aducción está compuesta por tuberías de PVC de 6" de diámetro instalada sobre un material suelto (relleno).
<i>Válvulas de aire</i>	
– En las líneas de conducción por gravedad y/o bombeo, se colocarán válvulas extractoras de aire cuando haya cambio de dirección en los tramos con pendiente positiva. En los tramos de pendiente uniforme se colocarán cada 2,0 km como máximo. Si hubiera algún peligro de colapso de la tubería a causa del material de la misma y de las condiciones de trabajo, se colocarán válvulas de doble acción (admisión y expulsión). (OS010)	– Este parámetro no se está cumpliendo, ya que a lo largo de toda la línea de aducción solo se encontraron 01 válvulas de aire ubicada a 5m aproximadamente de la salida de la tubería.

<b>Consideraciones mínimas de diseño</b>	<b>Línea de aducción existente</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ramales largos de pendiente uniforme (Cada 500 a 1000 m) (Luis Ángel Monge y Redondo)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Como se mencionó no existen válvulas de aire pese a que la topografía evidencia pendientes uniformes prolongadas.</li> </ul>
<i>Válvulas de purga</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Se colocará válvulas de purga en los puntos bajos, teniendo en consideración la calidad del agua a conducirse y la modalidad de funcionamiento de la línea.</li> <li>– Estas válvulas deberán ser instaladas en cámaras adecuadas, seguras y con elementos que permitan su fácil operación y mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Este parámetro no se está cumpliendo, ya que a lo largo de toda la línea de aducción no se encontraron válvulas de purga.</li> <li>– Como se mencionó no existen válvulas de purga, por ende no existen cámaras de protección para este tipo de válvula.</li> </ul>
<i>Velocidades</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– La velocidad mínima no debe producir depósitos ni erosiones, en ningún caso será menor de 0,60 m/s. La velocidad máxima admisible será: En los tubos de concreto = 3 m/s En tubos de asbesto-cemento, acero y PVC = 5 m/s.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– La línea de aducción existente de tubería PVC, tiene una velocidad de 1,68 m/s, la cual está dentro del rango de velocidades.</li> </ul>
<i>Presiones</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Se considera para diseño una carga estática máxima de 50 mca y una carga dinámica de 1,00 mca, a fin de asegurar el funcionamiento del sistema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– La línea de aducción existente cuenta con una presión mínima negativa de 2,44 mca y una presión máxima de 39,18 mca.</li> </ul>

*Nota.* Continuación de la figura n° 95, Consideraciones mínimas extraídas de Norma OS010 del RNE y RM N° 192-2018-VIVIENDA

### **3.5.6. Propuesta de mejora N° 1**

En base al análisis comparativo y al diagnóstico realizado, se pudo evidenciar y demostrar la presencia del fenómeno de cavitación (presiones negativas o menores a cero) en el tramo inicial de la línea de aducción sector Cono Norte. Según la base teórica, cuando el fenómeno de cavitación se presenta luego de la puesta en funcionamiento el sistema, se da lugar a la aparición de bolsas de aire en las tuberías lo que provoca una caída de presión local.

Esta pérdida adicional a la pérdida de carga por fricción de la tubería en dicho tramo afectado al sistema, ya que pierde la capacidad de transportar el caudal deseado.

Por tal motivo se ha visto por conveniente la instalación de una tubería de tipo HDPE (polietileno de alta densidad), paralela a la línea existente desde la progresiva 0+000 a la 0+562 tramo donde se encuentran las presiones negativas, la cual será empalmada aguas abajo. El objetivo es dividir el caudal en las dos líneas de tubería disminuyendo la pérdida de carga y por consiguiente convertir las presiones en ese tramo en presiones positivas óptimas. Dado que el proyecto se encuentra en un terreno de relleno con peligro de deslizamientos que pueden afectar las uniones de las tuberías, se ha visto por conveniente la utilización de tuberías HDPE, que tienen mayor flexibilidad permitiendo cambios de dirección sin la necesidad de utilizar accesorios, adaptándose a trazos sinuosos y terrenos agresivos.

Las consideraciones adicionales que se plantean, es el de dotar de un trazo que favorezca una pendiente uniforme que permita la expulsión del aire, la inclusión de válvulas de aire en puntos altos y válvulas de purga de acuerdo a las recomendaciones de la normativa OS010.

#### **3.5.6.1. Trazo del sub tramo 0+000 – 0+562**

Para el trazo en planta se tomó en cuenta la disponibilidad del terreno, verificando que no se intercepte el eje con propiedad de terceros, ubicando la nueva tubería al lado izquierdo del eje de la línea de aducción existente con la finalidad de asignar espacio libre para realizar las excavaciones. La profundidad máxima de excavación estimada será de 2,00 m. Para el trazo en perfil se consideró profundizar un poco más el terreno a fin de evitar contra pendientes y favorecer la expulsión de aire en la tubería, mejorando de esta manera las presiones en dicho tramo. La cota de salida será de 751,60 m.s.n.m en la caseta de válvulas y la cota de empalme será de 741,87 m.s.n.m en la progresiva 0+560 de la tubería existente.

#### **3.5.6.2. Elección del tipo de tubería**

Según el perfil longitudinal del nuevo trazo de la propuesta N° 1, el máximo desnivel entre el nivel de agua del reservorio R10 y el punto de empalme es de 11,43 m por ello se ha visto por conveniente considerar un tipo de tubería HDPE SDR 33 PN4, el cual tiene una presión de trabajo o Presión Nominal de 4 Kgf/cm<sup>2</sup> o 40 mca suficiente para poder resistir la máxima carga estática del tramo, con un diámetro de 160 mm.

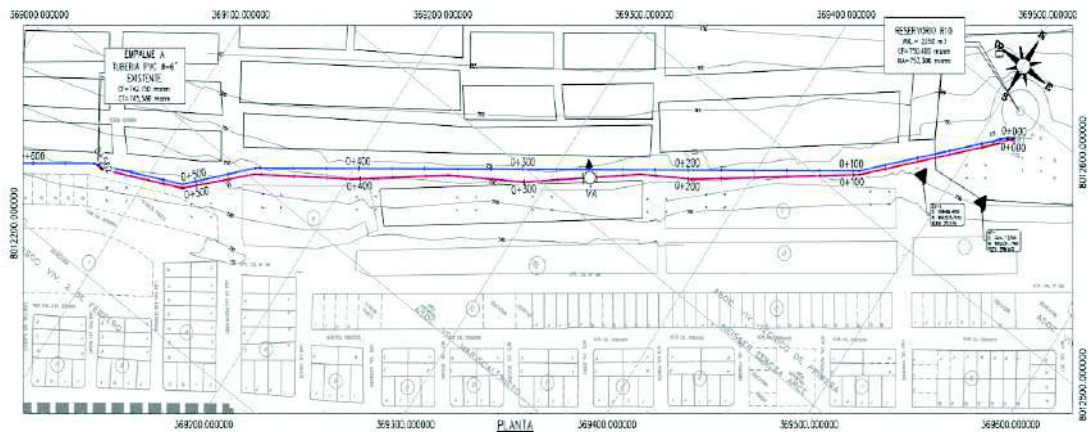


### 3.5.6.3. Inclusión de válvulas de aire y pulga

Para el tramo de tubería HDPE proyectada se consideró incorporar 1 válvula de aire en el punto más alto del tramo con el fin de eliminar el aire y favorecer la capacidad de transporte del caudal. Para el tramo de tubería PVC se consideró incorporar 3 válvulas de aire en los puntos altos y 2 válvulas de purga en los puntos bajos, esto ayudara a mejorar los parámetros hidráulicos de velocidad, transporte de caudal y aumento de presión en el punto de llegada de la línea de aducción sector Cono Norte (figura 93, 94 y 95).

**Figura 93**

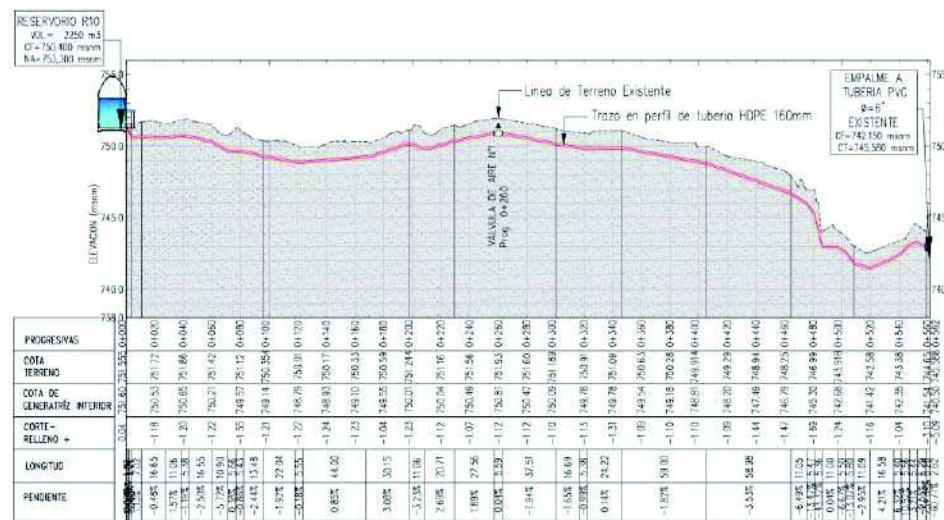
*Trazo en planta de tubería paralela*



*Nota.* Línea azul tubería PVC Ø=6" existente, línea roja tubería paralela HDPE DN160mm

**Figura 94**

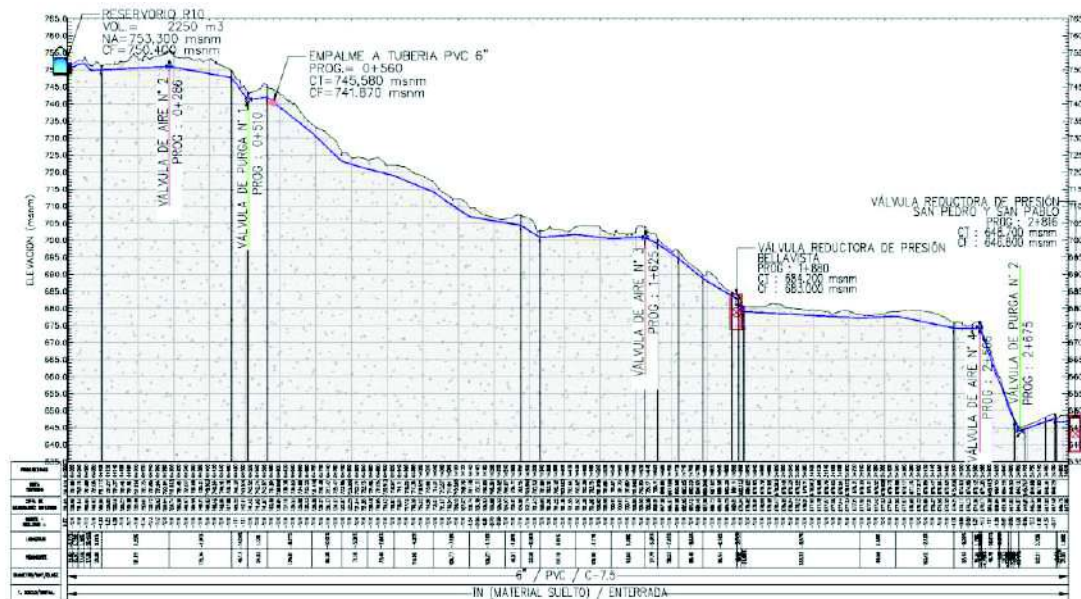
*Trazo en perfil de tubería paralela*



*Nota.* Trazo de tubería HDPE DN160mm e inclusión de válvula de aire en punto alto

Figura 95

Incorporación de válvulas en línea de aducción existente



Nota. Inclusión de válvulas de aire y purga en tramo de tubería PVC Ø=6" existente

### 3.5.6.4. Modelado propuesta de mejora N° 1

Se extrajeron los datos de cantidad de nudos, longitud de tubería, coordenadas y elevaciones de los planos realizados respectivos al trazo en planta y perfil, dichos elementos fueron incorporados al nuevo modelamiento y se muestran en la siguiente tabla 18.

Tabla 18

Datos de entrada propuesta N° 1-Tubería paralela 562 m

Nodo	Longitud (m)	Coordenadas		Cota (m.s.n.m)	Descripción
		Este	Norte		
1	0,00	369533,3480	8012563,2470	751,6000	Reservorio
2	4,02	369530,0650	8012561,1860	750,5400	Accesorio Planta
3	6,94	369526,0480	8012555,5360	750,6500	Accesorio Planta
4	16,63	369514,5610	8012543,5110	750,5700	Accesorio Perfil
5	10,99	369506,9700	8012535,5640	750,7500	Accesorio Perfil
6	22,01	369491,7730	8012519,6560	750,2700	Accesorio Perfil
7	11,02	369484,1750	8012511,7020	749,6500	Accesorio Perfil
8	11,00	369476,5760	8012503,7490	749,6200	Accesorio Perfil
9	13,68	369467,2970	8012494,0350	749,2900	Accesorio Planta

Nota. Información extraída del nuevo trazo en perfil.

Nodo	Longitud (m)	Coordenadas		Cota (m.s.n.m)	Descripción
		Este	Norte		
10	21,88	369449,7530	8012480,9610	748,8700	Accesorio Perfil
11	49,50	369410,0610	8012451,3840	749,2300	Accesorio Perfil
12	30,41	369385,6900	8012433,2230	750,1600	Accesorio Planta
13	10,88	369376,3510	8012427,6590	749,8100	Accesorio Perfil
14	5,50	369371,6270	8012424,8440	749,9000	Accesorio Perfil
15	15,39	369358,4140	8012416,9710	750,3700	Accesorio Planta
16	27,38	369336,8210	8012399,6530	750,8800	Accesorio Perfil
17	5,50	369332,5310	8012396,2120	750,8900	Accesorio Perfil
18	37,84	369303,2480	8012372,7250	750,1600	Accesorio Planta
19	31,88	369275,8840	8012356,3680	749,8300	Accesorio Perfil
20	14,37	369263,5500	8012348,9950	749,8600	Accesorio Planta
21	59,02	369216,6500	8012313,1940	748,7800	Accesorio Planta
22	59,00	369167,1310	8012281,1870	746,6900	Accesorio Planta
23	10,84	369159,4960	8012273,5480	745,9200	Accesorio Perfil
24	5,51	369155,6220	8012269,6730	745,2600	Accesorio Perfil
25	5,94	369151,7620	8012265,8110	742,9300	Accesorio Perfil
26	10,94	369144,0290	8012258,0730	742,9400	Accesorio Perfil
27	5,47	369140,1690	8012254,2120	742,5800	Accesorio Perfil
28	5,99	369135,8830	8012249,9240	741,8100	Accesorio Planta
29	11,00	369125,8260	8012245,4690	741,4800	Accesorio Perfil
30	16,51	369110,7390	8012238,7860	742,1800	Accesorio Perfil
31	11,04	369100,6820	8012234,3310	743,1100	Accesorio Perfil
32	5,49	369095,6630	8012232,1070	743,2800	Accesorio Perfil
33	5,51	369089,8280	8012229,5220	742,9800	Accesorio Planta
34	3,67	369087,1930	8012230,5410	742,1500	Punto de Empalme

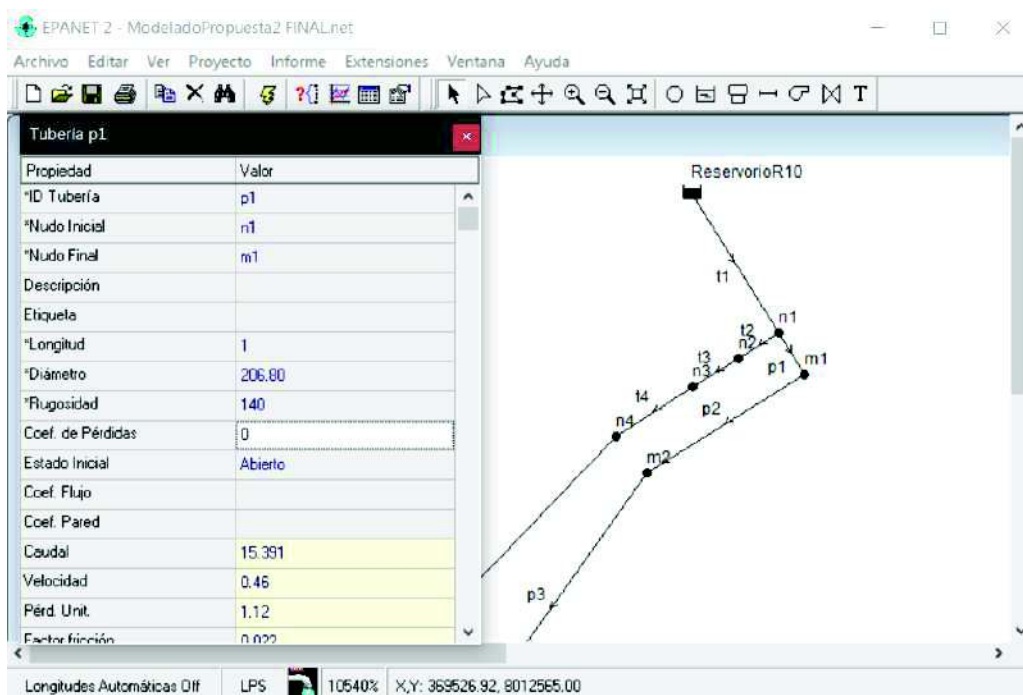
*Nota.* continuación de la tabla 96.

Se procedió a realizar el modelado en el software Epanet de la tubería HDPE DN = 160 mm SDR 33 PN4, paralela al primer tramo con una longitud de 562m, se consideró una cota de nivel de agua de 753,30 m.s.n.m igual al considerado en el modelamiento del estado actual, debido a que es la consideración más desfavorable asumiendo un nivel mínimo de agua de 2,90 m.

Se inició con el modelado del tramo de tubería matriz de 8" ubicada dentro de la caseta de válvulas asignándole un ID = p1, longitud =1,00 m y un Diámetro interno = 206,80 mm y un coeficiente de Rugosidad = 140 (considerando antigüedad), datos que fueron ingresados tal como se muestra en la siguiente figura 96.

**Figura 96**

*Modelado propuesta N° 1*



*Nota.* Inicio del modelado incluyendo un trazo paralelo al trazo existente.

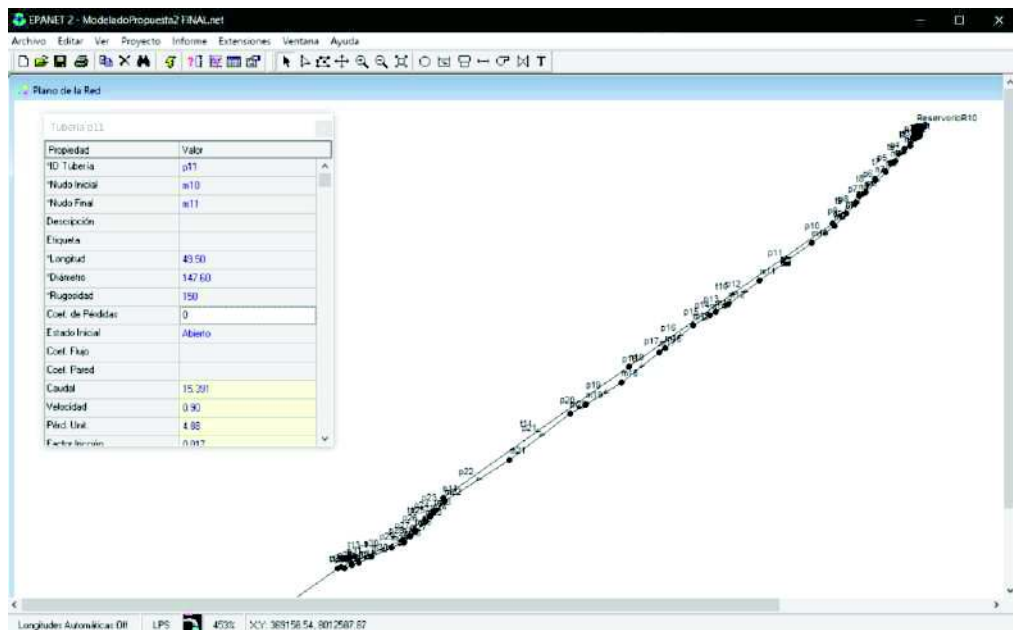
Se incorporó dicho tramo de 562 m al modelado del estado actual cuya variación radicará en la división del caudal para cada tubería y la consideración del tipo HDPE que provee de mejores características hidráulicas al sub sistema.

Por medio de coordenadas se fueron ingresando los 34 nudos considerados, y posteriormente se enlazaron con tuberías nudo a nudo, cabe resaltar que se fue optimizando el diámetro de tubería a utilizar hasta llegar a una que ofrezca las condiciones debidas.

Para esto se codificó cada nudo partiendo desde el *Nudo m1 hasta el m34* y las tuberías desde *p1 hasta p34*, el diámetro nominal considerado en la propuesta es de 160 mm, pero para efectos del modelamiento se consideró el diámetro interno de 147,60 mm, además se consideró un coeficiente de Rugosidad de 150, tal como se muestra en las siguientes figuras 97 y 98.

Figura 97

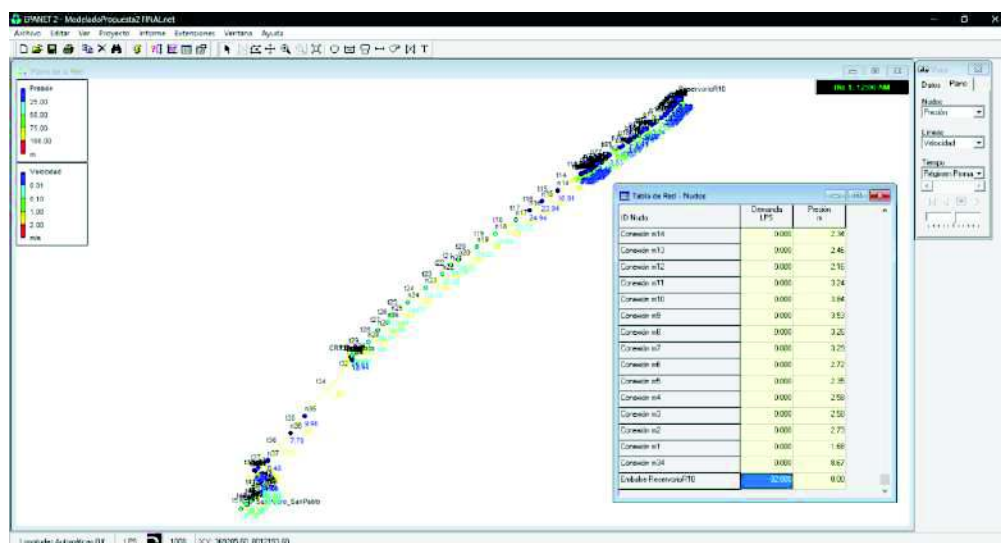
Modelado propuesta N° 1



Nota. Vista general del nuevo tramo incluido.

Figura 98

Resultado general del modelado propuesta N° 1



Nota. Entorno de visualización de resultados en el software Epanet.

### 3.5.7. Propuesta de mejora N° 2

En base al análisis comparativo y al diagnóstico realizado, se pudo evidenciar y demostrar la presencia del fenómeno de cavitación (presiones negativas o menores a cero) en el tramo inicial de la línea de aducción sector Cono Norte.

Según la base teórica, cuando el fenómeno de cavitación se presenta luego de la puesta en funcionamiento el sistema, se da lugar a la aparición de bolsas de aire en las tuberías lo que provoca una caída de presión local. Esta pérdida adicional a la pérdida de carga por fricción de la tubería en dicho tramo afectado al sistema, ya que pierde la capacidad de transportar el caudal deseado.

Por tal motivo se ha visto por conveniente la instalación de una tubería de diámetro nominal de 200 mm de tipo HDPE (polietileno de alta densidad), para realizar su cambio en la línea existente desde la progresiva 0+000 a la 0+560 tramo donde se encuentran las presiones negativas, la cual será reducida al diámetro de la tubería existente de PVC de 6" aguas abajo. El objetivo de realizar el cambio del diámetro de la tubería es disminuir la pérdida de carga y por consiguiente convertir las presiones en ese tramo en presiones positivas óptimas. Dado que el proyecto se encuentra en un terreno de relleno con peligro de deslizamientos que pueden afectar las uniones de las tuberías, se ha visto por conveniente la utilización de tuberías HDPE, que tienen mayor flexibilidad permitiendo cambios de dirección sin la necesidad de utilizar accesorios, adaptándose a trazos sinuosos y terrenos agresivos. Las consideraciones adicionales que se plantean, es el de optimizar en un punto crítico del trazo existente que favorezca una pendiente uniforme que permita la expulsión del aire, la inclusión de válvulas de aire en puntos altos y válvulas de purga de acuerdo a las recomendaciones de la normativa OS010.

#### **3.5.7.1. Trazo del tramo 0+000 – 0+560**

Para el trazo en planta se basó en el trazo de la línea de aducción existente, para el trazo en perfil se consideró profundizar un poco más el terreno a fin de evitar contra pendientes y favorecer la expulsión de aire en la tubería, mejorando de esta manera las presiones en dicho tramo, para lo cual en el punto de la progresiva 0+287.50, se optó por mejorar la cota real de 750,98 a 750,35 m. La cota de reducción será de 741,87 m.s.n.m en la progresiva 0+560.

#### **3.5.7.2. Elección del tipo de tubería**

Según el perfil longitudinal del nuevo trazo de la propuesta N° 2, el máximo desnivel entre el nivel de agua del reservorio R10 y el punto de reducción es de 11,43 m por ello se ha visto por conveniente considerar un tipo de tubería HDPE SDR 33 PN4, el cual tiene una presión de trabajo o Presión Nominal de 4 Kgf/cm<sup>2</sup> o 40 mca suficiente para poder resistir la máxima carga estática del tramo, con un diámetro de 200 mm.

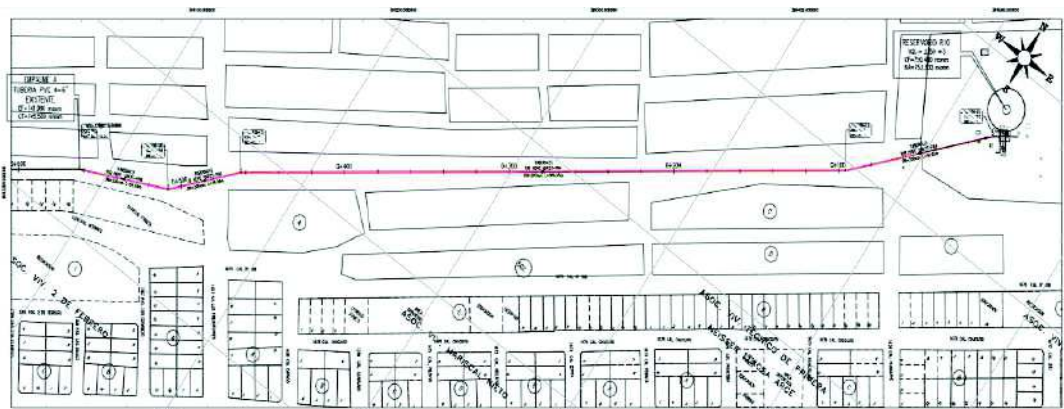


### 3.5.7.3. Inclusión de válvulas de aire y pulga

Para el tramo de tubería HDPE se consideró incorporar 1 válvula de aire en el punto más alto del tramo con el fin de eliminar el aire y favorecer la capacidad de transporte del caudal y 1 válvula de purga en el punto más bajo debido a que los sedimentos se pueden acumular en dicho punto. Para el tramo de tubería PVC se consideró incorporar 2 válvulas de aire en los puntos altos y 1 válvulas de purga en los puntos bajos, esto ayudará a mejorar los paramentos hidráulicos de velocidad, transporte de caudal y aumento de presión en el punto de llegada de la línea de aducción sector Cono Norte (figuras 99 y 100).

**Figura 99**

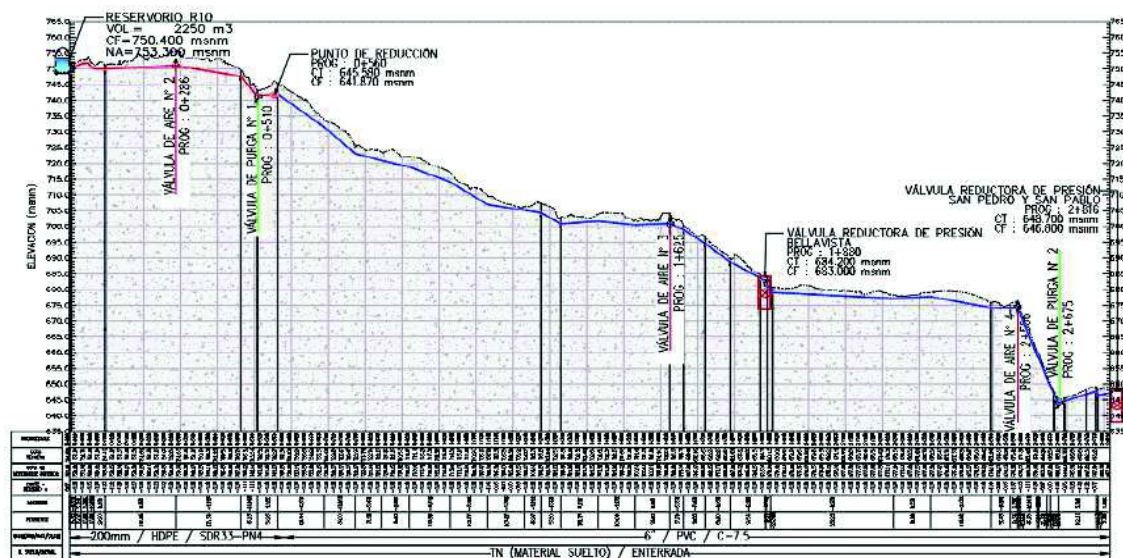
*Trazo en planta de tubería propuesta de mejora 2*



*Nota.* Línea roja del tramo a reemplazar tubería PVC Ø=6" por HDPE DN160mm.

**Figura 100**

*Trazo en perfil de tubería propuesta de mejora 2*



*Nota.* Línea roja tramo de tubería HDPE, línea azul tramo de tubería PVC existente.



### 3.5.7.4. Modelado propuesta de mejora N° 2

Se procedió a realizar el modelado en el software Epanet de la tubería HDPE DN = 200 mm SDR 33 PN4, para el primer tramo con una longitud de 560m, con base en los datos obtenidos de la planta y perfil longitudinal de la línea de aducción existente. Se consideró una cota de nivel de agua de 753,30 m.s.n.m igual al considerado en el modelamiento del estado actual, debido a que es la consideración más desfavorable asumiendo un nivel mínimo de agua de 2,90 m.

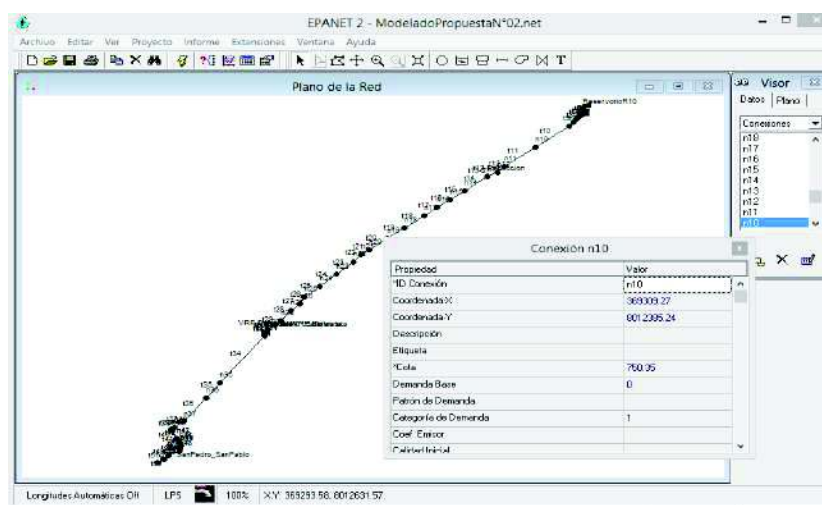
Dicho tramo de 560m es similar al modelado del estado actual cuya variación radica en el cambio del diámetro de tubería, la optimización de la cota en un punto alto y la consideración del tipo HDPE que provee de mejores características hidráulicas al sub sistema.

Los datos de entrada (coordenadas, cotas, etc.), para el modelamiento como se mencionó anteriormente serán los mismos considerados para la realización del estado actual de la línea de aducción existente, con una ligera variación en la cota del punto de conexión n10 optimizando la cota de 750,98 a 750,35 m (tabla 19 y figura 101).

**Tabla 19**  
*Datos para punto de conexión n10*

Descripción	Valor
ID o Nombre	n10
Cota	750,35 m.s.n.m.

**Figura 101**  
*Configuración de punto de conexión n10*



*Nota.* Vista general del modelado.

En base a las propiedades de la tubería, en el tramo de intervención de la propuesta N°2 (figura 102), se realizó el cambio del diámetro y el coeficiente C (Coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams).

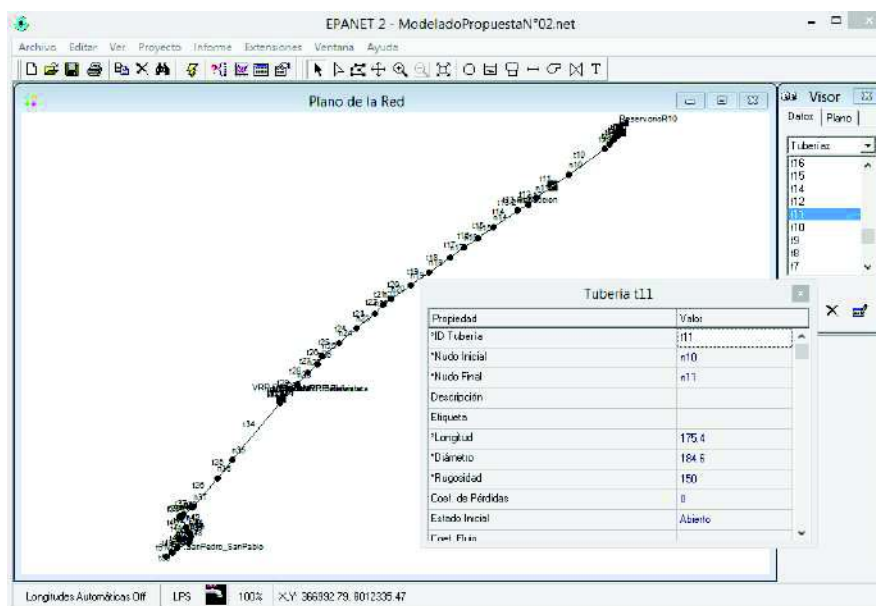
**Tabla 20**

*Datos para tubería tramo 0+000 a 0+560*

Descripción	Valor
ID o Nombre	t1 al t13-1
Diámetro	184,60 mm
Rugosidad (Para HDPE)	150

**Figura 102**

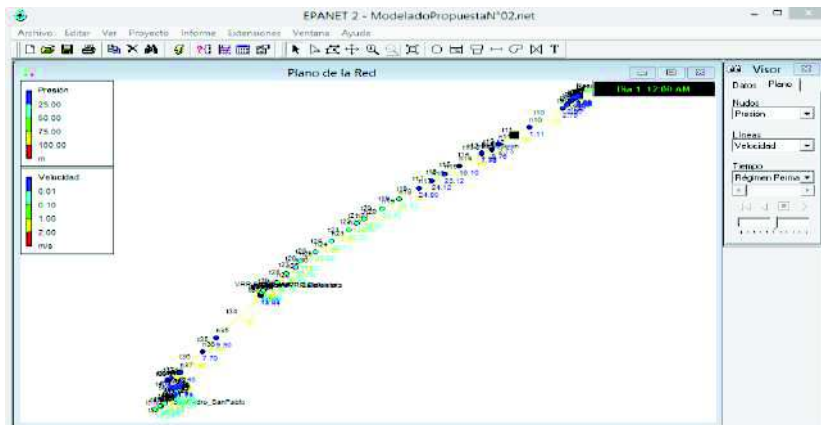
*Configuración de tuberías tramo propuesta de mejora 2*



*Nota:* Entorno software Epanet

Una vez configurado los datos para la propuesta de mejora n°2, procesamos la información dotada el programa (figura 103).

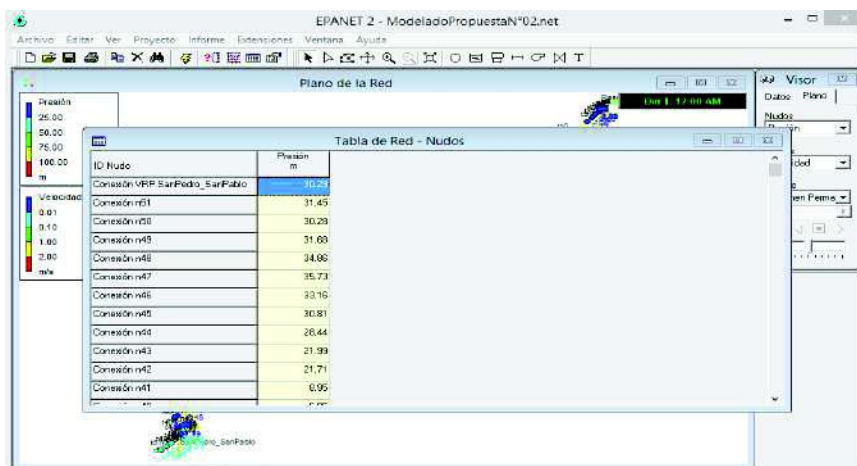
**Figura 103**  
*Visualización de resultados*



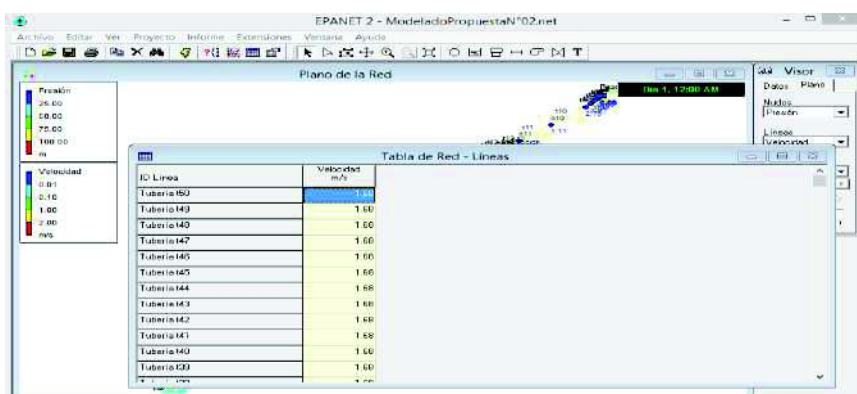
Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente y como último paso, obtenemos la tabla de resultados de presión y velocidad en todo el tramo de la línea de aducción (figura 104 y 105).

**Figura 104**  
*Visualización del entorno de resultados de presiones*



**Figura 105**  
*Visualización del entorno de resultados de velocidades*



Además se verifica la correcta ubicación de la válvula reguladora de presión de Bellavista, la cual está en función del tipo de clase de tubería ya que esta válvula se ubica en un punto del trazo de la tubería en donde la presión o carga dinámica sea próxima a lo máximo permitido por la clase de la tubería, para nuestro caso se considera la cota a la que se encuentra el nivel del agua del reservorio que es de 753,30 m.s.n.m., para la ubicación de la válvula reductora se considera la carga o presión máxima que soporta el tipo de clase de tubería para lo cual es de 7,5 de PVC, por lo que la cota de la válvula reguladora de Bellavista se debe encontrar a 75 m.s.n.m. menos de la cota inicial teóricamente, por lo que se debería encontrar a una cota de 678,30 msnm, sin embargo más depende de la presión en ese punto de la línea de aducción.

De acuerdo a la ubicación de la válvula reguladora de presión esta se encuentra a una cota de 683,00 m.s.n.m. que es aceptable y correcta, por lo que se descarta la mala ubicación de la válvula reguladora de presión.

#### **3.5.8. Validación por juicio de expertos**

Se realizó una consulta a profesionales expertos en la rama de la ingeniería hidráulica y abastecimiento de agua, los cuales se presentan en los anexos 3 y anexo 4, donde se adjunta el listado de expertos consultados y el formato de validación respectivamente.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Los resultados del proceso de evaluación y análisis para el mejoramiento de la línea de aducción sector Cono Norte de la ciudad de Tacna, fueron obtenidos gracias a datos de la inspección y trabajo de campo, la utilización de software para el procesamiento de la topografía e información geográfica como Autodesk civil 3D y Qgis y primordialmente la utilización del software de modelamiento hidráulico Epanet. A través de esta metodología de modelamiento hidráulico se pudo evidenciar el estado actual de la línea de aducción, cuyas características y parámetros hidráulicos encontrados fueron sometidos a una evaluación, mediante el cual se pudo determinar soluciones a través del diseño de dos propuestas de mejora. A continuación, se detallan los resultados de los distintos procesos que conllevaron a la consecución de la mejora de la línea de aducción:

### 4.1. Inspección visual de campo

En la inspección de campo se pudo obtener información de los componentes de la línea de aducción Sector Cono Norte de la ciudad de Tacna, siendo los siguientes: la línea de aducción Ø 6" de material PVC, el reservorio R10, una válvula de aire, una cámara con válvula reductora de presión en la asociación Bellavista y una cámara con válvula reductora de presión en la asociación San Pedro y San Pablo.

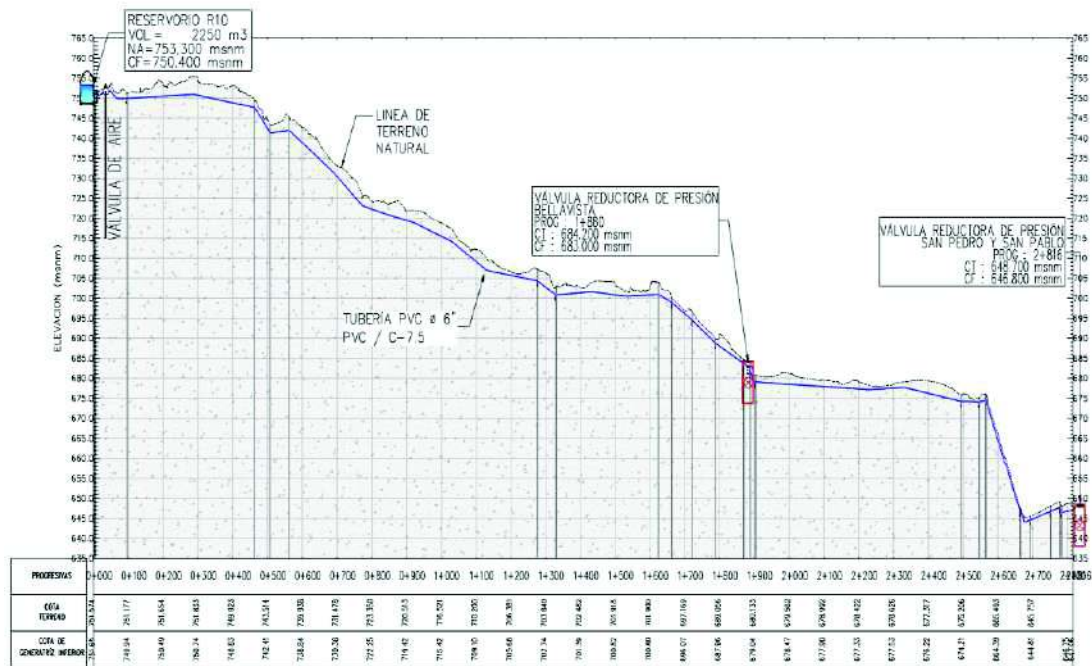
El funcionamiento de la línea de aducción tiene dos procesos. En el primer proceso, la línea de aducción se abastece con caudal proveniente del Reservorio R14 a través de un bypass, desde las 10:00 am hasta las 23:00 pm. En el segundo proceso, la línea de aducción se abastece solamente con el reservorio R10, desde las 23:00 pm a 10:00 am del día siguiente aproximadamente.

### 4.2. Estudio topográfico

A partir del MDE (modelo digital de elevaciones) se determinó que el eje del proyecto cuenta con un terreno de orografía múltiple (figura 106), dividiéndose en una zona alta con pendientes casi planas entre 0,01 % hasta 3 %, una zona intermedia con pendientes de 4 % hasta 10% y una zona baja con pendiente accidentada de 20 % hasta 30 %. Así mismo se ha determinado la georreferenciación de los distintos elementos de la línea de aducción mostrados en la tabla 21.

**Figura 106**

*Perfil topográfico producto del estudio topográfico*



**Tabla 21**

*Coordenadas UTM de los componentes de la línea de aducción*

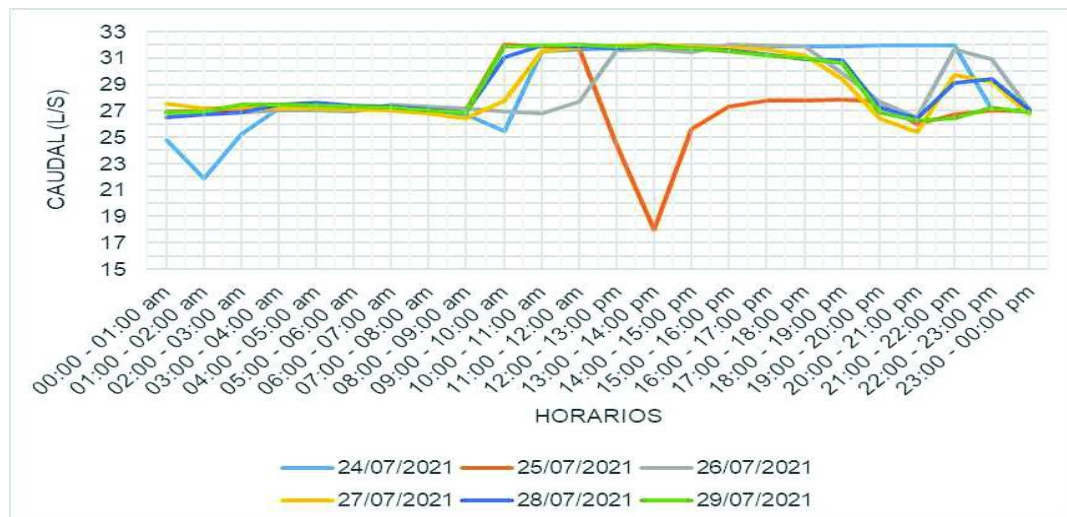
Coordenadas UTM Datum WGS84-19S				
Ítem	Descripción	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m.s.n.m)
1	Reservorio R10	369527,6148	8012577,8485	750,4000
2	Válvula de Aire	369521,1660	8012553,3520	750,9600
3	Vál. Reg. de Presión Bellavista	368057,2188	8011411,2259	684,2000
4	Vál. Reg. de Presión San Pedro y San Pablo	367553,8203	8010722,2240	648,7000

### 4.3. Parámetros hidráulicos

A continuación (figuras 107, 108, 109 y 110), se presentan los resultados de los parámetros hidráulicos de nivel de agua del reservorio R10, caudal y presión en la línea de aducción.

**Figura 107**

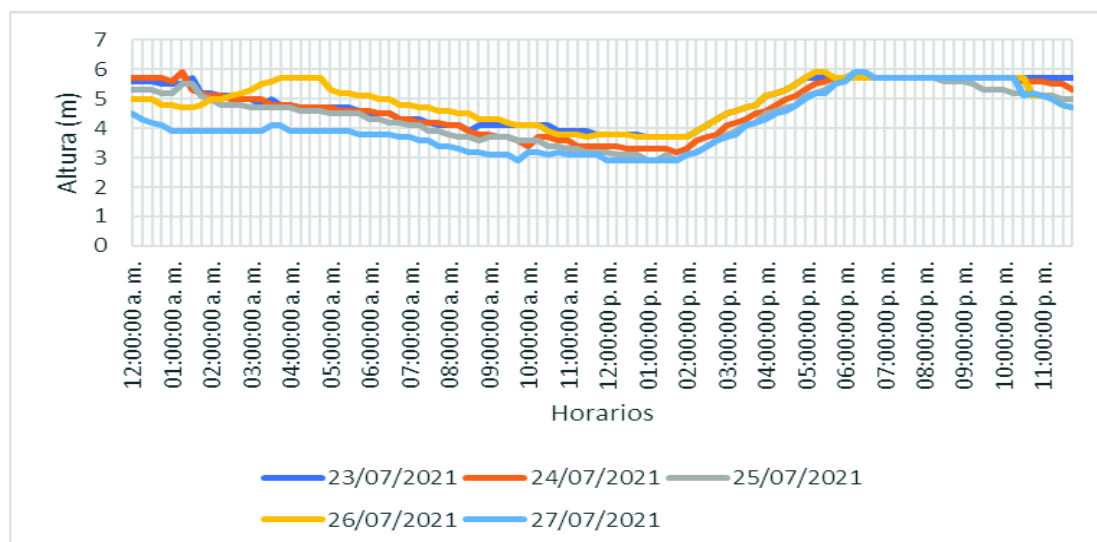
*Caudal máximo, Caudal mínimo, Caudal promedio*



*Nota.* Los resultados del caudal medido in situ, nos dan un caudal máximo de 32,00 l/s, un caudal mínimo de 18,00 l/s y un caudal promedio de 28,62 l/s.

**Figura 108**

*Nivel de agua en reservorio R10*

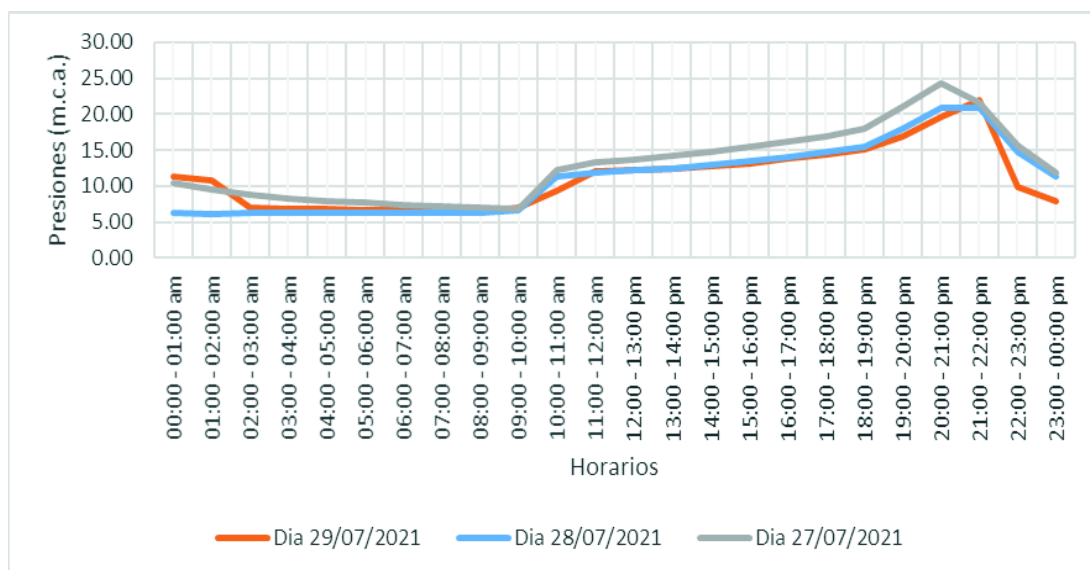


*Nota.* Los resultados del nivel de agua del reservorio R10 medido in situ, nos dan un nivel de agua máximo de 5,75 mca y un nivel de agua mínimo de 2,90 mca.



**Figura 109**

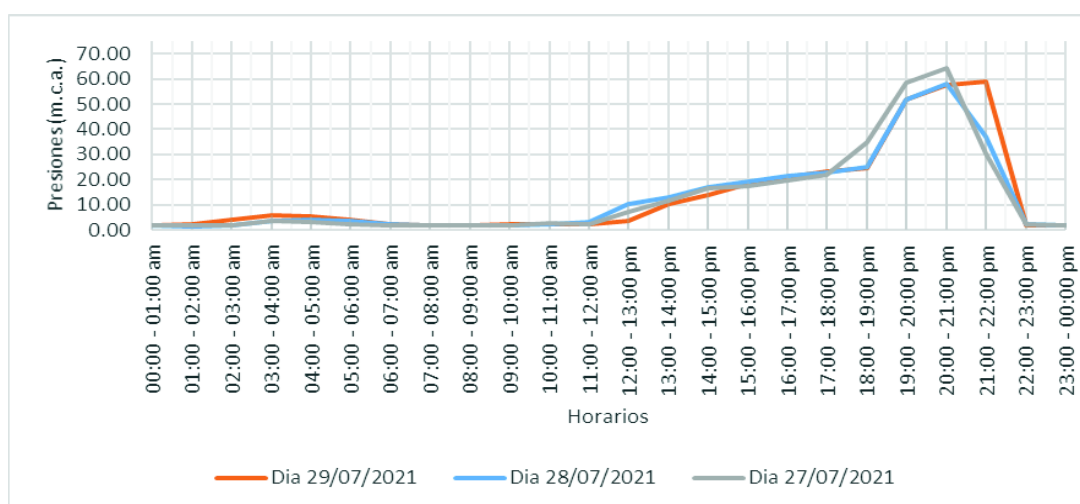
*Presión medida antes de válvula reguladora de presión de bellavista*



*Nota.* Los resultados de presiones en la válvula reductora de Bellavista medidas in situ, nos dan una presión máxima de 15,68 mca y una presión mínima de 6,13 mca, cabe precisar que estas presiones son las consideradas desde las 23:00 pm a 10:00 am debido a que en ese periodo de tiempo entra en funcionamiento solo el reservorio R10.

**Figura 110**

*Presión antes de válv. reguladora de presión Asoc. San Pedro*



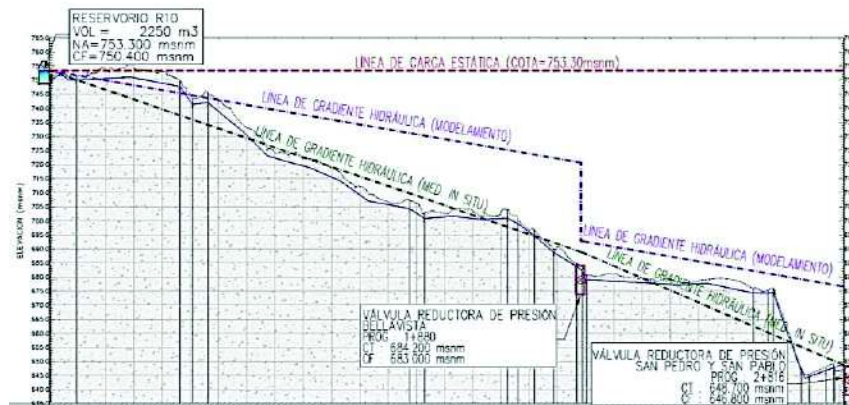
*Nota.* Los resultados de presiones en la válvula reductora de San Pedro y San Pablo medidas in situ, nos dan una presión máxima de 5,78 mca y una presión mínima de 1,57 mca, cabe precisar que estas presiones son las consideradas desde las 23:00 pm a 10:00 pm debido a que en ese periodo de tiempo entra en funcionamiento solo el reservorio R10.

#### 4.4. Modelado

La línea de morada del grafico producto del modelamiento realizado a la línea de aducción existente, nos indica una presión máxima de 39,18 mca y una presión mínima de -2,44 mca y una velocidad de 1,68 m/s. La línea verde nos indica una presión máxima de 10,76 mca y una presión mínima de -15,10 mca y una velocidad de 1,68 m/s (figura 111).

**Figura 111**

Gráfico de perfil combinando las gradientes

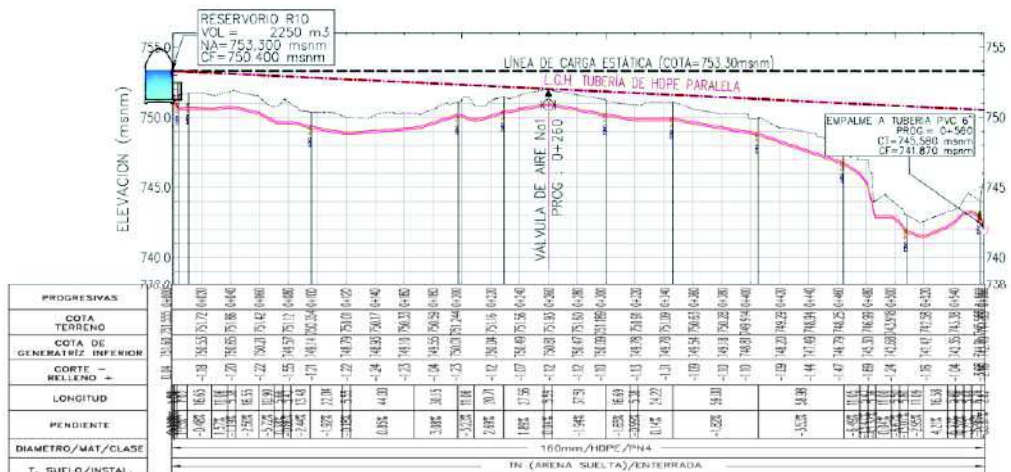


#### 4.5. Propuesta de mejora 1

La propuesta N°1, nos da como resultados una presión máxima de 9,27 mca, presión mínima de 1,11 mca y una velocidad de 0.9 m/s para el tramo de HDPE. Una presión máxima de 45,69 mca, presión mínima de 1,00 mca, una velocidad de 0,87 y 1,68 m/s para el tramo de PVC, como se muestran en los gráficos 112 y 113 respectivamente.

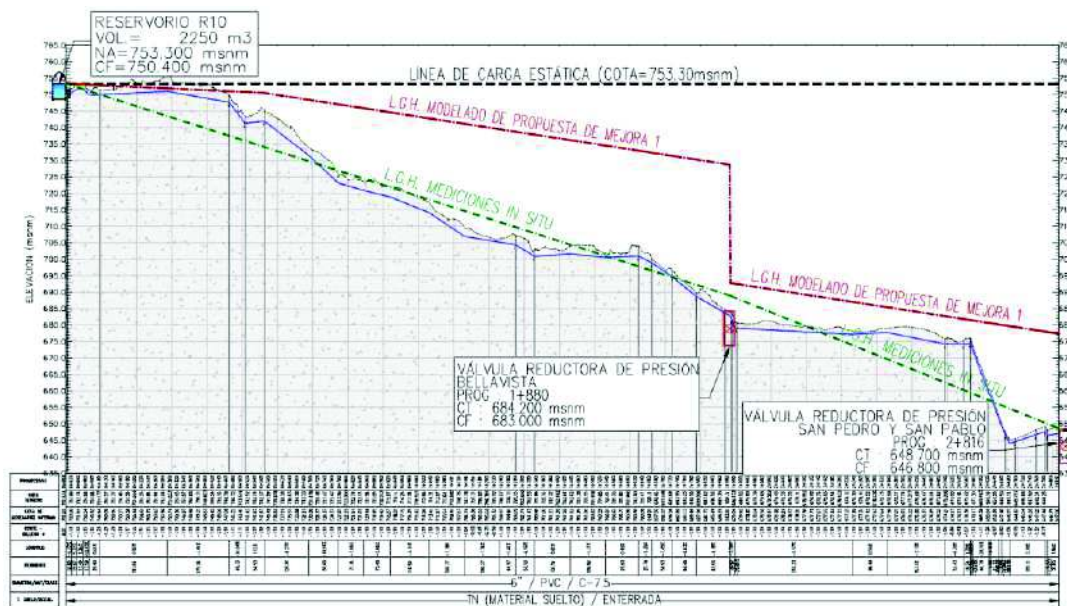
**Figura 112**

L.G.H de propuesta 1 (tub. paralela) y L.G.H. de mediciones in situ



**Figura 113**

*L.G.H. de propuesta 1 (tub. existente) y L.G.H. de mediciones in situ*

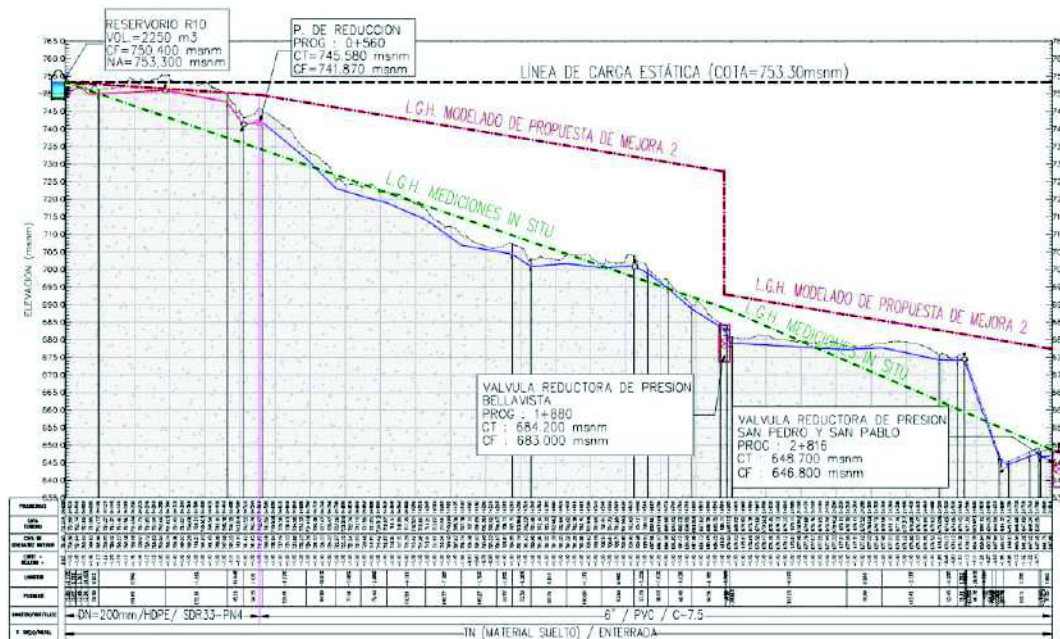


**4.6. Propuesta de mejora 2**

La propuesta N° 2, nos da como resultados una presión máxima de 44,87 mca, una presión mínima de 1,11 mca, una velocidad de 1,20 m/s y 1,68 m/s para el tramo de HDPE y PVC respectivamente como se muestran en ña figura 114.

**Figura 114**

*L.G.H. de propuesta 2 (tub. existente) y L.G.H. de mediciones in situ*



#### 4.7. Resumen de Propuestas de Mejora

A continuación, se muestra una tabla 22 con los resultados de las dos mejoras, se puede apreciar la variación de los parámetros hidráulicos.

**Tabla 22**

*Comparativo de parámetros hidráulicos de Propuestas de Mejora*

Parámetros Hidráulicos	Propuesta de Mejora N° 1	Propuesta de Mejora N°2
Tramo PVC		
Presión Máxima	45,69 mca	44,87 mca
Presión Mínima	1,00 mca	6,95 mca
Velocidad	1,68 m/s	1,68 m/s
Tramo HDPE		
Presión Máxima	9,27 mca	8,76 mca
Presión Mínima	1,11 mca	1,11 mca
Velocidad	0,90 m/s	1,20 m/s

#### 4.8. Juicio de expertos

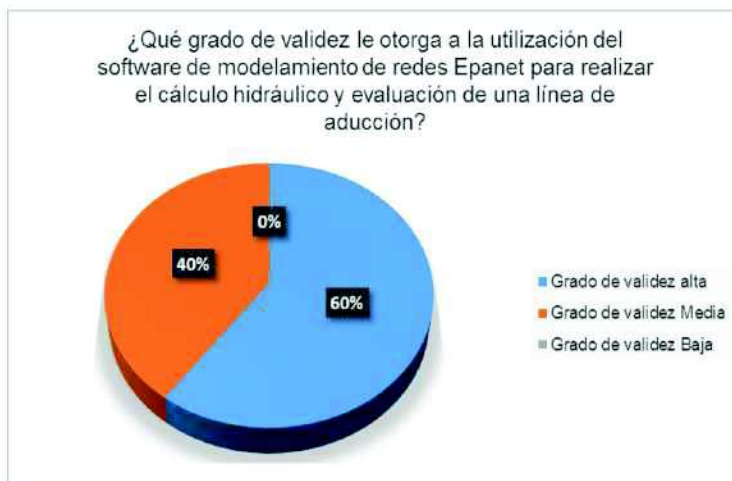
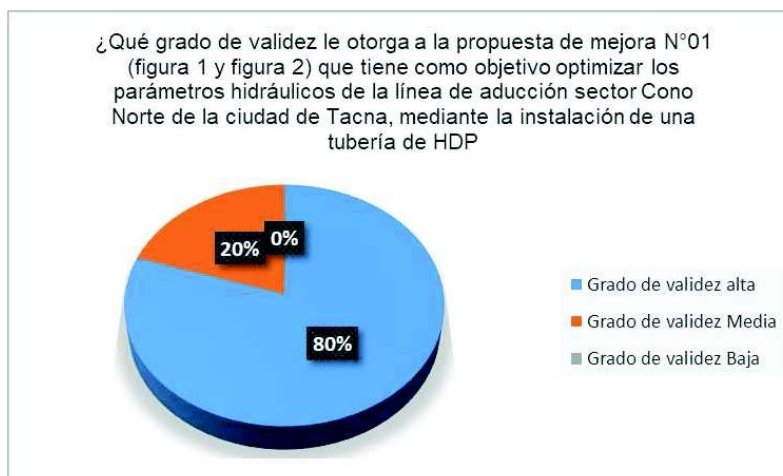
Resultados del juicio de expertos realizadas en las figuras 115, 116, 117, 118 y 119.

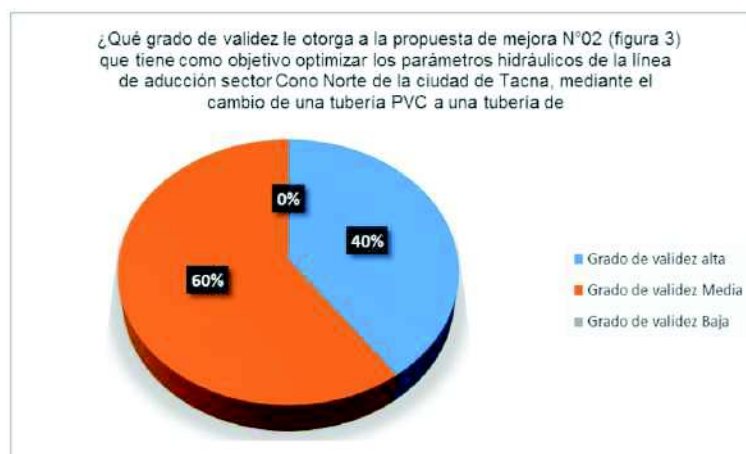
**Figura 115**

*Pregunta 1 del juicio de expertos*





**Figura 116***Pregunta 2 del juicio de expertos***Figura 117***Pregunta 3 del juicio de expertos***Figura 118***Pregunta 4 del juicio de expertos*

**Figura 119***Pregunta 5 del juicio de expertos*

Luego, se procedió a calcular el grado de validez CVC (Coeficiente de validez de Contenido), como se muestra en la siguiente imagen, obteniéndose como resultado un grado de validez de 0,9197 (Tabla 23).

**Tabla 23***Cálculo del Coeficiente de Validez de Contenido*

Ítem	Jueces					Sx1	Mx	CVCi	Pei	CVCtc
	J1	J2	J3	J4	J5					
1	3	3	3	3	3	15	5,0000	1,0000	0,0003	0,9997
2	3	3	2	2	3	13	4,3333	0,8667	0,0003	0,8663
3	3	3	3	3	3	15	5,0000	1,0000	0,0003	0,9997
4	3	3	3	3	2	14	4,6667	0,9333	0,0003	0,9330
5	3	3	2	2	2	12	4,0000	0,8000	0,0003	0,7997
<b>Grado de Validez :</b>										<b>0,9197</b>

A su vez, se procedió a calcular el grado de confiabilidad (Alfa de Cronbach), obteniéndose como resultado 0,4167 (Tabla 24).

**Tabla 24**  
*Calculo de alfa de Cronbach de Confiabilidad*

Sujetos	Ítem 1	Ítem 2	Ítem 3	Ítem 4	Ítem 5	Sumatoria
Carlos Eusebio Cauna Quispe (J1)	3	3	3	3	3	15
Richard Antonio Maquera Cruz (J2)	3	3	3	3	3	15
Ulianov Farfan kehuarucho (J3)	3	2	3	3	2	13
Julio César Salas Becerra (J4)	3	2	3	3	2	13
William Edilberto Zuñiga Salinas (J5)	3	3	3	2	2	13
	0.00	0.24	0.00	0.16	0.24	

$\alpha$  = 0,4167

K (número de ítem) = 5,00

$V_i$  (varianza de cada ítem) = 0,64

$V_t$  (varianza total) = 0,96

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left[ 1 - \frac{\sum V_i}{V_t} \right]$$

*Nota.* En base a los resultados obtenidos se determinó un grado de validez y concordancia excelente y un grado de confiabilidad moderado.



## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

En base a la Hipótesis Específica 1, se planteó que: “El estudio de campo determina el estado actual de la línea de aducción sector Cono Norte de la ciudad de Tacna – 2021”, y en efecto, el estudio de campo realizado como lo fue el levantamiento topográfico a todo el trazo de la línea de aducción y las mediciones hidráulicas insitu de caudal, nivel de agua y presiones, nos proporcionó información suficiente para realizar una evaluación de la línea de aducción para determinar su situación actual, la que determinó la presencia de presiones negativas en la tubería además del fenómeno de cavitación, lo que conllevaba a un funcionamiento deficiente de la línea de aducción.

En base a la Hipótesis Específica 2, se planteó que: “El modelamiento de redes determina los parámetros hidráulicos en la línea de aducción sector Cono Norte de la ciudad de Tacna – 2021”, y efectivamente, el modelamiento de redes realizado con el software Epanet, si permite el cálculo de los parámetros hidráulicos de Velocidad, Caudal y Presiones en la línea de aducción, dotándole la información requerida al software como: Caudal, Nivel de Agua, Funcionamiento de Válvulas Reductoras de Presión, Trazo, Diámetro y material de tuberías, etc., con la que se pudo determinar la presencia de presiones negativas en la línea de aducción. Estos resultados son similares a lo mencionado por Chávez y Rodríguez (2015), quienes mencionan la presencia de presiones negativas en el sistema de Nuevo Moro. Según Cotrado y Gutiérrez (2019), la utilización del software Watercad y Epanet, son fiables para la realización de cálculos de redes.

En base a la Hipótesis Específica 3, se planteó que: “El análisis de los parámetros hidráulicos permite proponer alternativas eficientes para el mejoramiento de la línea de aducción sector Cono Norte de la ciudad de Tacna – 2021”, y si, el análisis de los parámetros hidráulicos de velocidad, caudal y presión en base a sus valores y comparación con los parámetros mínimos de diseño de una línea de aducción, si permiten proponer alternativas eficientes de mejora, puesto que este se rige a estos parámetros mínimos de diseño. Las propuestas de mejora N°1 y N°2, constan de la instalación de una tubería paralela de HDPE de 160mm y el cambio de diámetro de 4” de PVC a 200 mm de HDPE, ambas cumpliendo con los parámetros mínimos establecidos para su diseño. Estos resultados son similares lo mencionado por Chávez y Rodríguez (2015), quienes concluyeron realizar el cambio del diámetro de la tubería de aducción del reservorio de Nuevo Moro de 4” a 6”, con la finalidad asegurar presiones mínimas de salida.

## CONCLUSIONES

Los parámetros hidráulicos son fundamentales en la evaluación de una línea de aducción, debido a que en base a ellos se realiza el análisis y se verifica que las propuestas de mejora cumplan con las consideraciones mínimas de diseño para un correcto funcionamiento del sistema de la línea de aducción, por lo tanto, se concluye que efectivamente el modelamiento de redes con el software Epanet, si permite evaluar y proponer alternativas eficientes de mejora, puesto que es una herramienta de modelamiento que permite la obtención de los parámetros hidráulicos de la línea de aducción como caudal, velocidad y presiones, así mismo la utilización de este software fue validado en el juicio de expertos.

Los resultados obtenidos sobre las características de la tubería existente, modelo digital de elevaciones, georreferenciación de componentes existentes y medición de parámetros hidráulicos como caudal, altura de nivel de agua y presiones in situ, permitieron determinar y comprobar el deficiente funcionamiento de la línea de aducción Sector Cono Norte de la ciudad de Tacna, la cual a pesar de contar con suficiente carga de presión estática para trasladar el caudal, cae en cavitación debido a que la tubería fue instalada sin tomar en consideración una pendiente favorable para su funcionamiento, así mismo la línea de aducción no cuenta con válvulas de extracción de aire y purga de sedimentos, otro factor fue el incremento de la demanda del caudal que en un inicio fue menor al actual lo que incrementó la pérdida de carga en la tubería con antigüedad mayor a 10 años. Este fenómeno también fue evidenciado mediante el trazo de la línea de gradiente hidráulica donde se aprecian zonas con presiones negativas, por lo tanto, se concluye que el estudio de campo que incluye un estudio de la topografía, inspección visual y mediciones in situ permitieron determinar el estado actual de la línea de aducción sector cono norte de la ciudad de Tacna.

Los resultados del estudio de campo permitieron obtener toda la información real posible para realizar el modelamiento de redes de la línea de aducción, logrando encontrarse una presión máxima de hasta 39,18 mca, presión negativa de hasta -2,44 mca en la zona alta de la línea de aducción y velocidad de 1,68 m/s, dichos resultados contrastan con lo encontrado anteriormente con las mediciones in situ quienes también evidenciaron presiones negativas, por lo tanto, se concluye que el modelamiento de redes determina los parámetros hidráulicos en la línea de aducción sector cono norte de la ciudad de Tacna.

Se diseñaron dos alternativas eficientes de mejora, la propuesta de mejora N°1, que consta de la instalación de una tubería paralela de HDPE de 160 mm con una longitud de 580 m que empalma a la tubería existente en la progresiva 0+560, presenta parámetros hidráulicos óptimos de funcionamiento, esta propuesta obtuvo un grado de validez alto en la consulta a juicio de expertos. La propuesta de mejora N°2, que consta del cambio del diámetro y material de la tubería a 200 mm de HDPE con una longitud de 560 m y de la mejora de la topografía en un punto donde había presencia de presiones negativas, esta propuesta obtuvo un grado de validez alto en la consulta a juicio de expertos, por lo tanto, se concluye que estas dos alternativas eficientes de mejora, si cumplen los parámetros mínimos de diseño, mejorando las condiciones de funcionabilidad del sistema de la línea de aducción, teniendo como mejor opción la propuesta de mejora N°1, debido a que los parámetros hidráulicos obtenidos son mejores, condiciones de trabajo más favorables producto de la excavación a realizar y en base al juicio de expertos desarrollado.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda contemplar factores importantes como un trazo con pendientes favorables establecidos dentro de la normativa, la utilización de accesorios de eliminación de aire y purga de sedimentos, la utilización de materiales resistentes a asentamientos, condiciones de temperatura y bajos coeficientes de fricción con el fin de formular eficientes propuestas de mejora para una línea de aducción existente.

Se recomienda integrar un buen estudio topográfico que ayude a representar el relieve real del terreno donde fue depositado la tubería, la utilización de equipos con certificado de calibración actualizados que validen la información del perfil longitudinal de terreno de la línea de aducción, información actualizada de los parámetros hidráulicos de los macromedidores en zonas específicas y la realización de una inspección visual in situ de todos los componentes y características de la línea de aducción con el fin de poder evaluar todos los factores que influyen en su buen funcionamiento hidráulico.

Todo software sigue una metodología de cálculo, pero carece del criterio humano a la hora de evaluar los resultados, es por ello que, para la realización de un modelamiento de redes y acercarnos a resultados más fiables, se recomienda dotar de información verídica y en base a un criterio lógico, en este caso se utilizó un coeficiente fricción C de Hazen Williams de 140 por tratarse de una tubería con una antigüedad mayor a 10 años donde se supone un desgaste de sus paredes por el paso de tiempo.

Se recomienda a la entidad prestadora de servicios de agua potable EPS Tacna, contemplar la propuesta de mejora N° 1 que tiene como objetivo optimizar los parámetros hidráulicos de la línea de aducción sector Cono Norte de la ciudad de Tacna, mediante la instalación de una tubería de HDPE paralela a la tubería existente en el tramo donde se presenta el fenómeno de cavitación, el cual obtuvo una mejor aceptación por los expertos consultados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albarrán, T. L. (2019). *Evaluación de los sistemas de abastecimiento de agua potable de la localidad de Shirac, San Marcos - Cajamarca*. Propuesta de mejora. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Ana, A. N. (19 de 07 de 2021). *Cultura del agua*. Obtenido de <https://www.ana.gob.pe/>
- Arnalich, C. S. (2008). *Abastecimiento de agua por gravedad*. España: Arnalich, Castañeda Santiago.
- Arnaluch, S. (2008). *Abastecimiento de agua por gravedad*.
- Arocha, R. S. (1977). *Abastecimiento de agua teoria y diseño*. Caracas.
- 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 de Santa.
- Christensen, B. A. (2000). *Discussion of limitations and proper use of the hazen-williams equation by c. P. Liou*, *journal of hydraulic engineering*. Usa.
- Cívicos, A., y Hernández, M. (2007). *Algunas reflexiones y aportaciones en torno a los enfoques teóricos y prácticos de la investigación en trabajo social*. Madrid.
- Cotrado, C. K., y Gutierrez, S. G. (2019). *Evaluación de la red existente de agua potable del subsector de distribución 24 en el distrito Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa, provincia y región de Tacna* – 2019 – Tacna Universidad Privada de Tacna. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Doroteo, C. F. (2014). *Diseño del sistema de agua potable, conexiones domiciliarias y alcantarillado del asentamiento humano “Los Pollitos” – Ica, usando los programas watercad y sewercad*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Econet, B. (25 de mayo de 2017). *Econet blog* . obtenido de econet blog : <https://econetdesatascos.com/como-se-transportaba-el-agua-a-traves-de-acueductos/>
- Gonzales, R. A. (2019). *Evaluación de la línea de conduccion de la red de agua potable de la ciudad de Jaén* – Jaen – Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- González, Á. P. (2006). *Evaluación para la mejora de los centros docentes*. España: wolters kluwer españa.

- 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*. Bogotá.
- Martinez, M. (2004). *Los grupos focales de discusión como método de investigación*.
- Mendez, W. (2014). *Modelación hidráulica de redes de distribución de agua potable y su aplicación al cpm Chipispaya-Heroes Albarracin-Tacna Perú*. Tacna.
- Monge, R. M. (2018). *Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión*. España: Agrícola Española.
- Narvaez, R. (2010). *Abastecimientos de agua*. Perú.
- Pérez, F. D. (2002). *Evolución histórica de las formulas para expresar las pérdidas de carga en tuberías*.
- Rocha, F. A. (2007). *Hidráulica de tuberías y canales*. Lima: Facultad de Ingeniería Civil Universidad Nacional de Ingeniería.
- Seminario, h. C., y Tantajulca, c. D. (2019). *Evaluación de las pérdidas de carga en una línea de conducción de agua, caserío los Huertos, Huanchaco, Trujillo, la Libertad” – Trujillo – Universidad Cesar Vallejo*. Trujillo: Universidad Cesar Vallejo.
- 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.