



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ciencias Físicas
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos

**Diseño hidráulico de la línea de conducción para uso
de riego en la comunidad Antahurán**

MONOGRAFÍA TÉCNICA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

Edgar John AGUIRRE AIRE

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Aguirre, E. (2022). *Diseño hidráulico de la línea de conducción para uso de riego en la comunidad Antahurán*. [Monografía técnica de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Edgar John Aguirre Aire
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	44432852
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-1614-7547
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	EUSEBIO MELCHOR VEGA BUEZA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08566064
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	MIGUEL ERNESTO ARAMBULO MANRIQUE
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07418845
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	BEATRIZ LUISA SALVADOR GUTIERREZ
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10054063
Datos de investigación	
Línea de investigación	A.2.5.2. Recursos Hídricos
Grupo de investigación	
Agencia de financiamiento	PROPIA
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Ancash Provincia: Huaraz Distrito: Jangas Latitud: -9.4025 Longitud: -77.57583

Año o rango de años en que se realizó la investigación	2022
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería mecánica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
(Universidad del PERÚ, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

XIII CAP DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE LA MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECANICO DE FLUIDOS, MODALIDAD DE TITULACIÓN M-3 – POR SUFICIENCIA PROFESIONAL

Siendo las 18:18 horas del día miércoles 28 de diciembre de 2022, en la Sala de Sesión Virtual de la Facultad de Ciencias Físicas, bajo la presidencia del Dr. Ing. EUSEBIO MELCHOR VEGA BUEZA y con la asistencia de los miembros Ing. MIGUEL ERNESTO ARÁMBULO MANRIQUE y la Mg. Ing. BEATRIZ LUISA SALVADOR GUTIÉRREZ, se dio inicio a la Sesión Pública Virtual de Sustentación de la Monografía Técnica para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos, mediante la Modalidad de Titulación M-3 Por Suficiencia Profesional, del Bachiller:

EDGAR JOHN AGUIRRE AIRE

El Presidente del Jurado Examinador dio lectura del Resumen del Expediente, e invitó al Bachiller EDGAR JOHN AGUIRRE AIRE, a realizar la Exposición del trabajo de la Monografía Técnica titulada “DISEÑO HIDRÁULICO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN PARA USO DE RIEGO EN LA COMUNIDAD ANTAHURÁN”.

Concluida la exposición del candidato y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado Examinador, el Presidente invitó al Bachiller a abandonar momentáneamente la sala de sesión para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado. Se procedió a promediar la nota final del curso de actualización y la nota de la sustentación para obtener la calificación final.

Al término de la deliberación del Jurado, se invitó al candidato a regresar a la sala de sesión para dar lectura a la calificación final obtenida por el Bachiller, la misma que fue:

DIECISIETE (17).

El Presidente del Jurado Dr. Ing. EUSEBIO MELCHOR VEGA BUEZA, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró al Bachiller EDGAR JOHN AGUIRRE AIRE Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las 18:59 horas, del mismo día, se levantó la sesión.


Dr. Ing. EUSEBIO MELCHOR VEGA BUEZA
PRESIDENTE DEL JURADO


Ing. MIGUEL ERNESTO ARÁMBULO MANRIQUE
MIEMBRO DEL JURADO



Firmado digitalmente por SALVADOR
GUTIÉRREZ Beatriz Luisa FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 29.12.2022 20:22:30 -05:00

Mg. Ing. BEATRIZ LUISA SALVADOR GUTIÉRREZ
MIEMBRO DEL JURADO



Firmado digitalmente por LOZANO
BARTRA Whualkuer Enrique FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 30.12.2022 14:58:02 -05:00

DR. WHUALKUER ENRIQUE LOZANO BARTRA
VICEDECANO ACADÉMICO FCF

Datos de la plataforma virtual institucional del acto de sustentación:

<https://us06web.zoom.us/j/83437906124?pwd=V3VWenRBUm0xVWJRRmxVbEw3d244Zz09>

ID de reunión: 834 3790 6124

Código de acceso: 944156

Grabación archivada en el siguiente enlace:

https://drive.google.com/file/d/1_g-KPbyCy2vT_ghSZsCKvRbylZI4jzLM/view?usp=share_link

Anexo 1

Informe de evaluación de Originalidad

1. Facultad de Ciencias Físicas
2. Escuela/Unidad de Posgrado
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos
3. Autoridad Académica que emite el informe de originalidad
El Director de la EPIMF
4. Apellidos y nombres de la autoridad académica
Sarango Julca Douglas Donal
5. Operador del programa Informático de similitudes
Dr. Ing. Douglas Sarango Julca
6. Documento evaluado (1)
"DISEÑO HIDRÁULICO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN PARA USO DE RIEGO EN LA COMUNIDAD ANTAHURÁN"
7. Autor del documento (2)
EDGAR JOHN AGUIRRE AIRE
8. Fecha de recepción del documento 2/12/22
9. Fecha de aplicación del programa informático de similitudes 4/12/22
10. Software utilizado
 - Turnitin (X)
 - Ithenticate
 - Otro (especificar)
11. Configuración del programa detector de similitudes
 - Excluye textos entrecomillados
 - Incluye Bibliografía
 - Excluye cadenas menores a 40 palabras
12. Porcentaje de similitudes según programa detector de similitudes³
8%
13. Fuentes originales de las similitudes encontradas⁴
14. Observaciones
Ninguna
15. Calificación de originalidad
 - Documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones (X)
 - Documento cumple criterios de originalidad, con observaciones
 - Documento no cumple criterios de originalidad
16. Fecha del Informe 30 /12 /22



Firmado digitalmente por SARANGO
JULCA Douglas Donal FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 02.01.2023 19:29:17 -05:00

DR. ING. Douglas Sarango Julca
DIRECTOR (e) DE LA EPIMF

-
- 1 Otro (especificar) Monografía Técnica Modalidad de Titulación M-3
Suficiencia Profesional
 - 2 Apellidos y Nombres completos
 - 3 En letras y números
 - 4 Indicarlas en orden decreciente y su respectivo porcentaje

Dedicatoria

Se lo dedico a mis padres por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

Agradecimientos

Agradezco a Dios porque me dio el don de la perseverancia para alcanzar mi meta.

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por haberme abierto las puertas y ser una persona de bien y buen profesional.

A los catedráticos que con el pasar de los años se convirtieron en un ejemplo a seguir.

A mis compañeros ya que con ellos viví los buenos y malos momentos que solo se viven en la universidad decana de América.

Índice

1.	Resumen.....	8
2.	Capítulo 1 - Generalidades.....	9
2.1.	Introducción	9
2.2.	Importancia del tema.....	10
2.3.	Identificación del problema.....	11
2.4.	Propuesta de solución.....	11
2.5.	Objetivo general y objetivos específicos.....	12
3.	Capítulo 2 – Marco teórico	13
3.1.	Antecedentes	13
3.2.	Bases teóricas fundamentales.....	14
3.2.1.	Ecuación de continuidad	14
3.2.2.	Ecuación de conservación de energía.....	14
3.3.	Bases teóricas de ingeniería	16
3.3.1.	Flujo uniforme en tuberías	16
3.3.2.	Línea de conducción	17
3.3.3.	Criterio de diseño en líneas de conducción a gravedad con flujo a presión.	19
3.3.4.	Criterio de diseño en líneas de conducción a gravedad con flujo libre.....	29
3.4.	Glosario	32
4.	Capítulo 3 – Desarrollo o proceso metodológico	34
4.1.	Ubicación del proyecto.....	34
4.2.	Descripción de instalaciones existentes y proyectadas	36
4.2.1.	Instalaciones existentes	36
4.2.2.	Instalaciones proyectadas.....	37
4.3.	Estándares para toma de datos y/o instrumentos, normatividades	40
4.3.1.	Metodología de cálculo	40

4.3.2. Normatividad aplicable	41
4.4. Consideraciones de diseño	41
4.4.1. Información topográfica.....	41
4.4.2. Caudal de diseño	42
4.5. Cálculos de ingeniería	43
4.5.1. Diseño de la línea de conducción – Escenario 1	43
4.5.2. Diseño de la línea de conducción – Escenario 2	58
5. Capítulo 4 – Resultados y discusión	70
5.1. Presentación, análisis e interpretación de resultados	70
5.1.1. Resultados del diseño para el Escenario 1	70
5.1.2. Resultados del diseño para el Escenario 2	70
5.1.3. Costos tentativos	71
5.2. Toma de decisiones	71
6. Conclusiones y recomendaciones	74
7. Bibliografía	75
8. Anexos	76
Anexo 1: Características de tuberías HDPE Norma NTP ISO 4427 PE-80 y PE-100 .	76
Anexo 2: Características de tuberías de acero API 5L / ASTM A53 / A106	77

Índice de figuras

Figura 1	<i>Sistema genérico de flujo</i>	15
Figura 2	<i>Carga disponible en la línea de conducción</i>	20
Figura 3	<i>Energía de posición y presión</i>	22
Figura 4	<i>Equilibrio de las presiones dinámicas</i>	23
Figura 5	<i>Presiones residuales positivas y negativas</i>	24
Figura 6	<i>Esquema de conductos parcialmente llenos</i>	31
Figura 7	<i>Ubicación departamental y provincial del área de estudio</i>	34
Figura 8	<i>Ubicación distrital del área de estudio</i>	35
Figura 9	<i>Ubicación de los puntos inicial y final para la línea de conducción</i>	36
Figura 10	<i>Ubicación satelital de las líneas de conducción proyectadas</i>	39
Figura 11	<i>Información topográfica empleada</i>	42
Figura 12	<i>Trazo en planta de la línea de conducción – Escenario 1</i>	44
Figura 13	<i>Perfil longitudinal y carga disponible línea de conducción – Escenario 1</i> ...	45
Figura 14	<i>Gráfico de la línea de gradiente hidráulico</i>	57
Figura 15	<i>Trazo en planta de la línea de conducción – Escenario 2</i>	59
Figura 16	<i>Perfil longitudinal de la línea de conducción – Escenario 2</i>	60

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Coefficientes (C) de Hazen y Williams</i>	27
Tabla 2	<i>Coefficientes de pérdida de carga K para singularidades</i>	27
Tabla 3	<i>Parámetros conocidos para conductos circulares parcialmente llenos</i>	31
Tabla 4	<i>Valores del coeficiente de rugosidad de Manning para tuberías</i>	32
Tabla 5	<i>Ubicación geográfica de la infraestructura existente</i>	41
Tabla 6	<i>Tramos de análisis y características – escenario 1</i>	47
Tabla 7	<i>Diámetros y velocidades estimadas por cada tramo – escenario 1</i>	51
Tabla 8	<i>Pérdida de carga y cota piezométrica escenario 1</i>	54
Tabla 9	<i>Altura de carga estática y clases de tubería a emplear escenario 1</i>	55
Tabla 10	<i>Tramos de análisis y características – tramo 2 del escenario 2</i>	64
Tabla 11	<i>Diámetros y velocidades estimadas – Tramo 2 del escenario 2</i>	66
Tabla 12	<i>Pérdida de carga y cota piezométrica – tramo 2 del escenario 2</i>	68
Tabla 13	<i>Altura de carga estática y clases de tubería a emplear – tramo 2 del escenario 2</i>	69
Tabla 14	<i>Resultados de la línea de conducción escenario 1</i>	70
Tabla 15	<i>Resultados de la línea de conducción escenario 2</i>	71
Tabla 16	<i>Costos tentativos</i>	73

Resumen

El diseño definitivo de líneas de conducción de gran longitud requiere de un análisis previo de alternativas, en donde se contemple el cambio de trazo para evaluar los distintos comportamientos del flujo y cual es su impacto en el cálculo de diámetros y tipos de tubería y en consecuencia en el presupuesto de la obra. La omisión de este tipo de análisis antes del diseño definitivo podría conllevar a incrementos de horas hombre y esfuerzos adicionales del diseñador en casos en que el presupuesto previsto para la obra sobrepase las expectativas del ente contratante. En ese marco, en la presente monografía se presenta la elección del diseño hidráulico de una línea de conducción a partir de dos alternativa o escenarios, ambos con trazos en planta diferentes y comportamientos de flujo distintos entre sí. El primer escenario contempla el funcionamiento a gravedad y presión en todo el trayecto de la línea de conducción, mientras que el segundo escenario presenta comportamientos de flujo a lámina libre (tubería parcialmente llena) y a presión (tubería llena) en dos tramos diferenciados. La monografía muestra el proceso de cálculo para ambos tipos de comportamiento de flujo a gravedad (a presión y lámina libre), finalmente, se hace una evaluación simple de costos por adquisición de tuberías y se elige la opción viable en función a aspectos económicos y operativos.

Capítulo 1 - Generalidades

2.1. Introducción

La línea de conducción está conformada por tuberías y dispositivos de control que permiten el transporte del agua desde la captación hasta su distribución. En el diseño de líneas de conducción para aprovechamiento de agua con fines de riego, es importante seleccionar una adecuada fuente o una combinación de estas, de tal manera que se pueda proveer de agua a las zonas agrícolas a ser beneficiadas a corto y largo plazo, además, la ubicación de la fuente y el recorrido hacia las áreas de riego implican en el diseño hidráulico de la línea de conducción, identificando un funcionamiento a gravedad y/o presión. En la actualidad se observan líneas de conducción instaladas con problemas de sedimentación y desgaste de las tuberías con un tiempo de implementadas muy por debajo de la vida útil de los distintos materiales existentes en el mercado, estas falencias se deben, precisamente, a que no se identificaron las velocidades permisibles ni las presiones de trabajo para distinto tipo de tubería durante la etapa de diseño.

Para el diseño de líneas de conducción se usa la condición de flujo uniforme, en donde se conoce que actúan tres fuerzas: de presión, gravitacionales y de fricción, es decir, si el flujo dentro de la tubería va a tubería llena o parcialmente llena. Una línea de conducción debe seguir, en lo posible, el perfil del terreno y ubicarse en zonas de fácil inspección, la forma de cálculo está en función al comportamiento del flujo dentro de la tubería y las condiciones en la cabecera que asume el diseñador. Para el caso de funcionamiento a presión (tubo lleno), las pérdidas de presión es la principal consideración en el diseño, así como, la identificación de los accesorios y sus pérdidas generadas por su implementación. El diseño de líneas de conducción de agua se realiza siguiendo varios procedimientos y metodologías existentes, este consiste en determinar el

diámetro y material de la tubería a emplearse, teniendo en cuenta las pérdidas que se generan en el trayecto, los accesorios y la forma de conducción (gravedad o presión).

En la siguiente monografía se presenta el diseño de una línea de conducción a gravedad de gran longitud (12 a 19 km), analizando dos alternativas con trazos diferentes, en donde se presentan dos tipos de comportamiento de flujo: a presión y a lámina libre. El cálculo para la conducción con funcionamiento a presión será determinado mediante la ecuación de Hazen y Williams que es recomendada en el RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones) para conducciones de agua; mientras que en los casos en donde el flujo se comporte a lámina libre, el diseño será mediante la ecuación de Manning, cuya aplicación es de uso estándar para este tipo de conductos y su uso se recomienda en el manual de la ANA (Autoridad nacional del Agua). La selección de la alternativa a implementarse estará en función al costo tentativo de la adquisición de tuberías y recomendaciones para el proceso constructivo teniendo en cuenta que el sistema cumpla con los requerimientos técnicos, de operación, funcionalidad y económicos.

Es preciso mencionar que, la presente monografía se enfocará netamente al cálculo hidráulico de la línea de conducción, en donde se tomará como dato de entrada al caudal de diseño que es producto de la demanda de riego de la comunidad. No se hará énfasis en el proceso de cálculo de la demanda.

2.2. Importancia del tema

Al momento de diseñar líneas de conducción de grandes longitudes, es de suma importancia realizar un análisis previo de alternativas en donde se identifique las ventajas y desventajas de cada una de ellas, de tal manera que se pueda determinar la alternativa de diseño más viable que cumpla con los requerimientos técnicos y económicos durante la implementación y operación del sistema. Este tipo de análisis optimiza en gran magnitud las horas hombre y

esfuerzo de los proyectistas que se dedican a realizar diseños de líneas de conducción de gran longitud, antes del diseño definitivo.

La principal motivación para realizar el presente trabajo es el de mostrar de manera detallada el procedimiento para el cálculo hidráulico de una línea de conducción en dos alternativas de trazo con funcionamiento a gravedad (conductos llenos y parcialmente llenos), de tal manera que, posteriormente se pueda seleccionar la alternativa idónea que pasará al diseño definitivo en base a análisis económicos y operacionales.

2.3. Identificación del problema

En la actualidad, para realizar diseños de líneas de conducción de gran longitud, se realiza el procedimiento de diseño definitivo sin la previa evaluación de más de una opción de trazo, esto conlleva a posibles trabajos y esfuerzos adicionales del proyectista en casos de que el presupuesto resultante sobrepase al previsto.

En proyectos a nivel de localidades, muchas veces se obvia el procedimiento de análisis previo de alternativas de líneas de conducción de gran longitud, o en otros casos, se realiza el análisis, pero, manteniendo el mismo trazo, lo que puede llevar a sobrecostos. En proyectos de mayor envergadura, si se suele ver este tipo de análisis debido a que estos son realizados con un mayor presupuesto para el diseñador.

2.4. Propuesta de solución

Como solución a la problemática expuesta, se plantea lo siguiente: realizar el diseño de la línea de conducción de gran longitud, evaluando dos alternativas de trazo en donde se identifique los comportamientos distintos del flujo a gravedad, a presión (conducto lleno) o lámina libre (conductor parcialmente lleno) y posteriormente elegir la mejor opción.

2.5. Objetivo general y objetivos específicos

El objetivo general de la presente monografía es realizar la elección del diseño hidráulico de una línea de conducción para aprovechamiento hídrico óptimo a partir de dos alternativas.

Los objetivos específicos de la presente monografía son:

- Realizar el diseño hidráulico de la línea de conducción considerando su funcionamiento a gravedad y presión en todo el tramo.
- Realizar el diseño hidráulico de la línea de conducción considerando su funcionamiento a gravedad y combinando el comportamiento de flujo a lámina libre y presión.
- Determinar el costo de tuberías para ambas alternativas de líneas de conducción.
- Elección de la alternativa viable.

Capítulo 2 – Marco teórico

3.1. Antecedentes

A continuación, se mencionan algunos trabajos de investigación que son similares a la monografía presente.

- Tesis: “Ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable de la ciudad de Bagua Grande”, elaborado por Jairo Iván Alegría Mori – Universidad nacional de Ingeniería. En este documento se detalla el procedimiento de diseño para sistemas de conducción de agua potable utilizando tuberías de PVC y HDPE.
- Tesis: “Proyecto de ampliación de la línea de impulsión, sistema de bombeo y tanque elevado para agua potable en el centro poblado rural (Cpr) Picapiedra distrito de Pachacamac”, elaborado por Gino Salcedo Santillán – Universidad nacional mayor de San Marcos. En este documento se presenta el procedimiento para el cálculo de pérdidas por fricción que se generan en un sistema de impulsión considerando tuberías HDPE.
- Tesis: “Diseño de un sistema de agua potable para la comunidad nativa de Tsoroja, analizando la incidencia de costos siendo una comunidad de difícil acceso”, elaborado por Jorge Luis Meza De la Cruz – Pontificia Universidad Católica del Perú. En este trabajo se muestra el proceso de cálculo del sistema de abastecimiento de agua y se hace hincapié en las recomendaciones correspondientes a los costos de instalación en zonas de difícil acceso.
- Tesis: “Diseño del sistema de agua potable por gravedad y bombeo en la aldea joconal y escuela primaria en la aldea campanario progreso, municipio de la unión, departamento de Zacapa”, elaborado por Miguel Ángel Barrera Chinchila – Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.2. Bases teóricas fundamentales

3.2.1. Ecuación de continuidad

En términos generales, la ecuación de continuidad es producto de la ley de conservación de masa que se manifiesta en un conducto o tubería. A grandes rasgos, para un conducto en donde no exista derivaciones, se debe cumplir que la cantidad de fluido que ingresa por un lado debe ser igual a la que sale por el otro en un conducto cerrado.

Esta ecuación define al término denominado caudal, que es la sustancia que atraviesa una sección determinada en la unidad de tiempo y generalmente se representa con la letra “Q”. El caudal puede ser de tipo másico y volumétrico.

Para los fines de la presente monografía, al tratarse de líneas de conducción de agua, se muestra a continuación la ecuación de continuidad para caudal volumétrico.

$$Q = V \cdot A \quad \dots (1)$$

Donde:

- Q : caudal volumétrico expresado en m³/s
- V : velocidad media del flujo expresado en m/s
- A : área de la sección expresado en m.

3.2.2. Ecuación de conservación de energía

La ley de conservación de la energía constituye uno de los principios de la mecánica de fluidos, en ella se afirma que la cantidad de energía en un sistema aislado permanece constante o invariable en el tiempo. La energía puede transformarse en otro tipo de energía, pero no se destruye, se conserva.

La energía en un sistema tiene tres componentes:

- Energía cinética, que es la debida al movimiento del sistema respecto a un punto de referencia y está en función a la masa y velocidad.
- Energía potencial, que es la debida a la posición sobre un campo potencial en función a las fuerzas gravitacionales.
- Energía interna, debido al movimiento de las moléculas y a la interacción entre las mismas.

Basado en el esquema del sistema genérico de flujo mostrado en la Figura 1, se presenta a continuación la ecuación de conservación de la energía para un fluido.

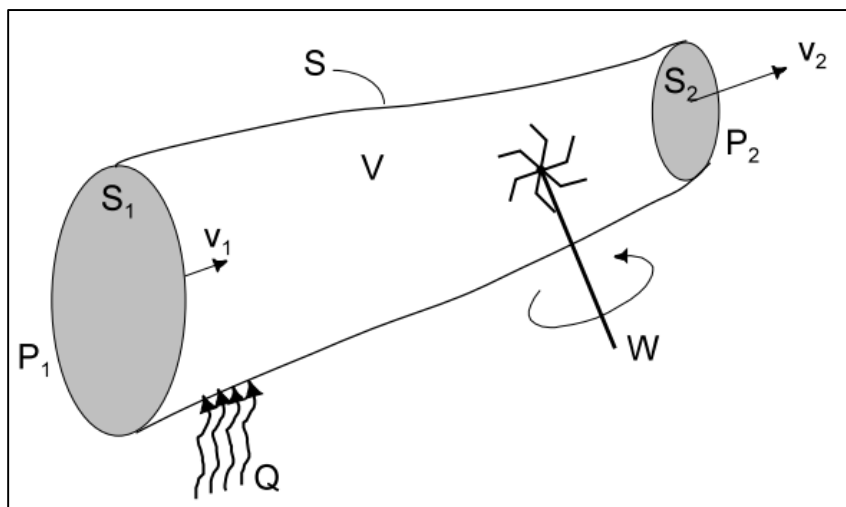
$$\Delta E_C + \Delta E_P + \Delta U + \Delta \frac{P}{\rho} = Q + W \quad \dots (2)$$

Donde:

- E_C : Energía cinética
- E_P : Energía potencial
- U : Energía interna
- P : Fuerza de presión del fluido
- ρ : Densidad del fluido
- Q : Caudal de ingreso al sistema
- W : Trabajo intercambiado entre el fluido y algún componente.

Figura 1

Sistema genérico de flujo



Fuente: La conservación de la energía en los fluidos – Francisco Jarabo Friedrich

3.3. Bases teóricas de ingeniería

3.3.1. Flujo uniforme en tuberías

Según J. Saldarriaga (2007), el flujo en una tubería se puede determinar mediante las siguientes cantidades físicas: desplazamiento de una partícula de fluido, velocidad de una partícula de fluido, aceleración de una partícula de fluido; en base a si las cantidades permanecen constantes o varían, el flujo se clasifica en uniforme (cantidades físicas permanecen constantes en el espacio) y no uniformes. Con respecto al tiempo se clasifican en permanentes o estacionarios y no permanentes.

En el flujo uniforme las variables de presión y velocidad permanecen constantes en el espacio y tiempo. Las ecuaciones para el diseño de tuberías de conducción de aguas se basan en este principio de flujo.

Las fuerzas que se presentan en los sistemas de flujo en tuberías son: las de presión, gravitaciones y de fricción, siendo las dos primeras las que contribuyen al movimiento o aceleración del flujo (cuando se trata de conducciones a gravedad) y la tercera es la encargada de

oponerse al movimiento o desaceleración. La fuerza de fricción es, en líneas generales, la más importante para el diseño de tuberías de conducción para flujo uniforme. La expresión que explica la pérdida por fricción en una tubería está dada por la siguiente ecuación:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot S_f \quad \dots (3)$$

Donde:

- τ_0 : Esfuerzo cortante en la pared de la tubería
- γ : Peso específico del fluido
- S_f : Pendiente de fricción
- R : Radio hidráulico en la tubería

3.3.2. Línea de conducción

Una línea de conducción, dentro de un sistema de aprovechamiento de agua con fines de abastecimiento o riego, es la infraestructura que se encarga de transportar el fluido desde la captación hasta el punto de interés (reservorio, embalse, punto de regulación, etc), está conformado por conductos cerrados o tuberías y su funcionamiento puede ser por gravedad o mediante el uso de bombas.

3.3.2.1. Línea de conducción a gravedad. Este tipo de sistema de conducción es el más aplicado en proyectos con fines de aprovechamiento hídrico, ya que, su funcionamiento no requiere el uso de energía adicional para la conducción del agua, asimismo, el proceso de operación es relativamente simple, sin embargo, es importante considerar varios factores al momento del diseño, tales como: pendiente, tipo y diámetro de tubería, carga hidráulica disponible, entre otros aspectos relevantes. Como criterio de diseño principal, se aprovecha el desnivel que existe entre el punto de captación y la llegada de la conducción, debiendo utilizarse al máximo la energía disponible

Este tipo de conducción, en función a la presión que se genera dentro de la tubería, se puede clasificar en dos tipos: a flujo libre y a presión.

En la línea de conducción a gravedad con flujo libre la presión interna en la tubería corresponde a la atmosférica, es decir, la tubería no se encuentra totalmente llena en todo su trayecto y su comportamiento es como un canal. En este tipo de conducción las pendientes suelen ser bajas y constantes para obtener regímenes de flujo subcrítico a lo largo de su trayectoria, de tal manera que se evite tirantes superiores a los de diseño. La operación de este tipo de sistema no requiere el uso de componentes adicionales como válvulas, cámaras, etc.

En las líneas de conducción a gravedad con flujo a presión, las tuberías trabajan completamente llenas desde su salida, empleando estructuras iniciales para lograr el funcionamiento a presión (cámaras de carga), en este caso se genera una presión interna mayor a la atmosférica. Su diseño se basa en adecuarse al perfil del terreno natural, suelen tener pendientes variables entre positivas y negativas en tramos cortos. Para lograr un adecuado funcionamiento puede requerirse la implementación de cámaras rompe presión, válvulas de aire, válvulas de purga, etc.

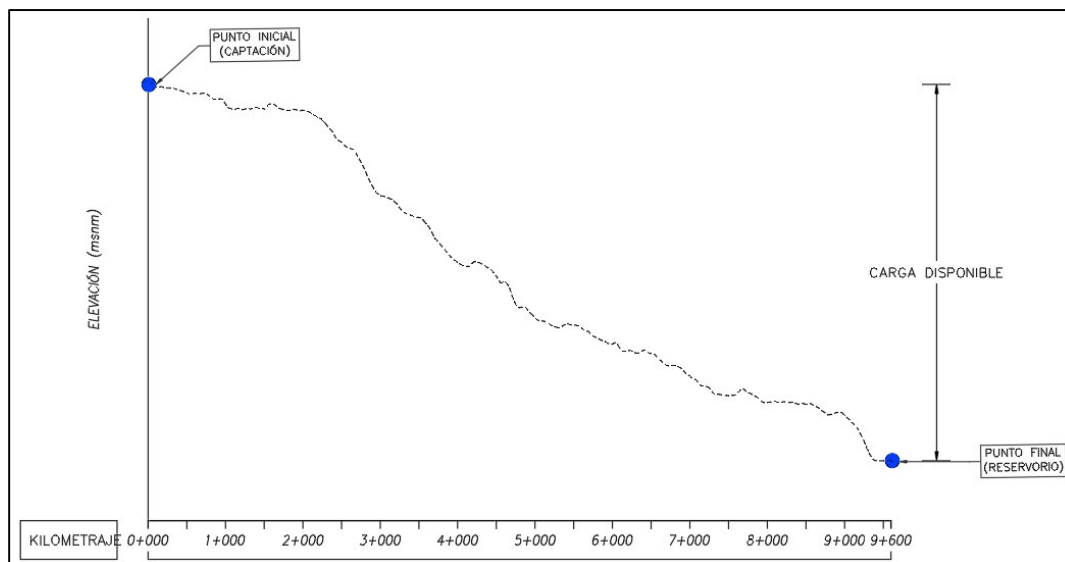
3.3.2.2. Línea de conducción por bombeo. Este sistema se utiliza, principalmente, cuando el punto inicial de la línea se encuentra en una elevación menor o igual a la del punto final, es decir, no se cuenta con carga hidráulica. El funcionamiento de la tubería es a presión (tubería completamente llena) y requiere del uso de un equipo de bombeo que proporciona la energía necesaria para lograr vencer las pérdidas de energía a lo largo de la conducción.

3.3.3. Criterio de diseño en líneas de conducción a gravedad con flujo a presión

3.3.3.1. Carga disponible. La carga disponible (véase Figura 2) viene representada por la diferencia de elevaciones entre el punto inicial (captación) y el punto final de la línea de conducción (reservorio).

Figura 2

Carga disponible en la línea de conducción



Fuente: Elaboración propia

3.3.3.2. Elección del tipo de tubería. Las tuberías que comúnmente se utilizan para la construcción de líneas de conducción son: acero, fierro galvanizado, fierro fundido, asbesto-cemento, PVC, polietileno de alta densidad y cobre. A continuación, se listan algunas recomendaciones para la selección de tuberías:

- La tubería de acero es muy resistente y se recomienda su uso cuando las presiones de diseño sean altas. Sin embargo, su costo y el de las piezas especiales son elevados.
- Las tuberías de asbesto-cemento son resistente a la corrosión y ligeras, requieren de cuidado especial en su transporte, manejo y almacenaje. El asbesto-cemento debe considerarse para diámetros intermedios de hasta 400 mm.
- Las tuberías de plástico son ligeras y de instalación rápida, además de ser resistentes a la corrosión y tener bajos coeficientes de rugosidad.

- Cuando se requiera mayor resistencia a presiones o posibles asentamientos del terreno entonces se recomienda el fierro galvanizado, o bien acero para diámetros mayores.

Para determinar los diámetros, se consideran diversas alternativas desde el punto de vista económico, el diámetro seleccionado deberá tener la capacidad de conducir el caudal de diseño con velocidades comprendidas entre 0.6 y 3.0 m/s; además, las pérdidas de carga deben ser menores o iguales a la carga disponible.

3.3.3.3. Presión interna. Se debe de tener en cuenta el cálculo de la línea piezométrica (línea de energía) y la línea de gradiente hidráulico (presión + elevación.), considerando que la línea de gradiente hidráulico se encuentre siempre por encima del eje de la tubería, de tal manera que se eviten presiones negativas en la línea.

Asimismo, la tubería debe soportar la presión más alta que pueda presentarse en la línea de conducción en el escenario más crítico del tema operativo, es decir, cuando la válvula de salida se encuentra cerrada y se desarrollan presiones hidrostáticas.

La presión representa la cantidad de energía gravitacional contenida en el agua. En un tramo de tubería que está operando a tubo lleno, se plantea la ecuación de Bernoulli entre los puntos 1 y 2 de la Figura 3:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + H_f \quad \dots (4)$$

Donde:

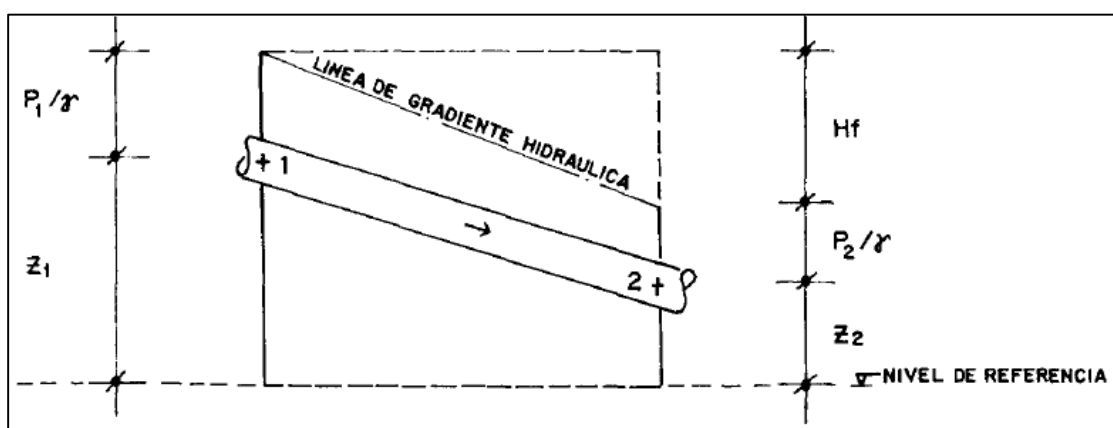
- Z : Cota del punto respecto a un nivel de referencia arbitraria (m)
- P/γ : Altura o carga de presión (P es la presión y γ es el peso específico del fluido) (m)
- V : Velocidad media del punto considerado (m/s)
- H_f : Es la pérdida de carga que se produce en el tramo de 1 a 2 (m)

Se asume que la velocidad es despreciable, en consecuencia, la ecuación (4) queda definida como:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + H_f \quad \dots (5)$$

Figura 3

Energía de posición y presión



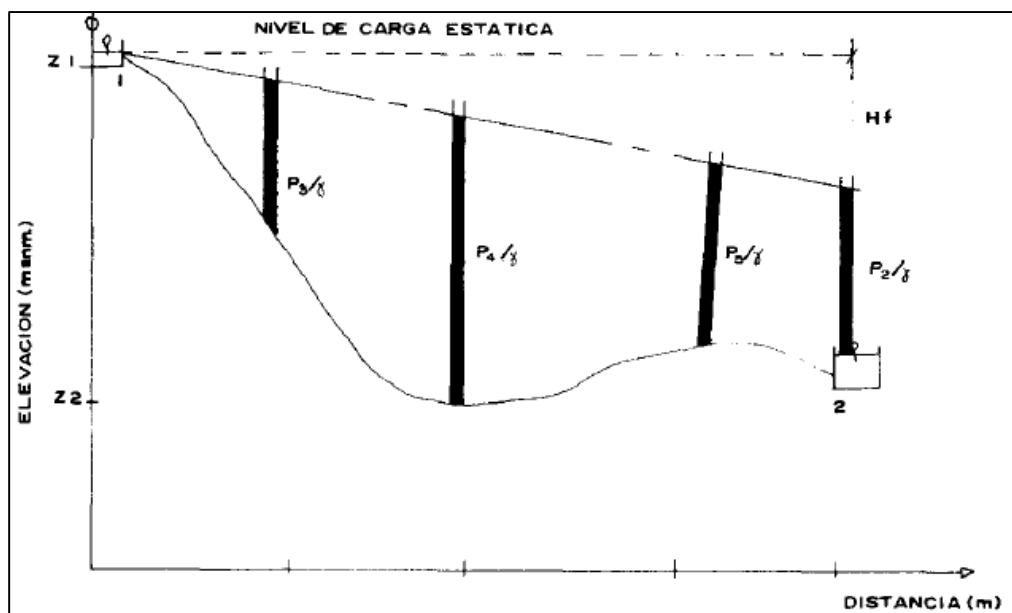
Fuente: Agua potable para poblaciones rurales, Roger Agüero Pittman

Se recomienda iniciar el diseño desde la cámara de captación. En esta estructura la presión es igual a la presión atmosférica, por lo que la carga de presión se asume como cero. El mismo criterio se aplica cuando se considera en el diseño como punto de partida una cámara rompe presión, resultando al final del tramo:

$$\frac{P_2}{\gamma} = Z_1 - Z_2 - H_f \quad \dots (6)$$

Figura 4

Equilibrio de las presiones dinámicas



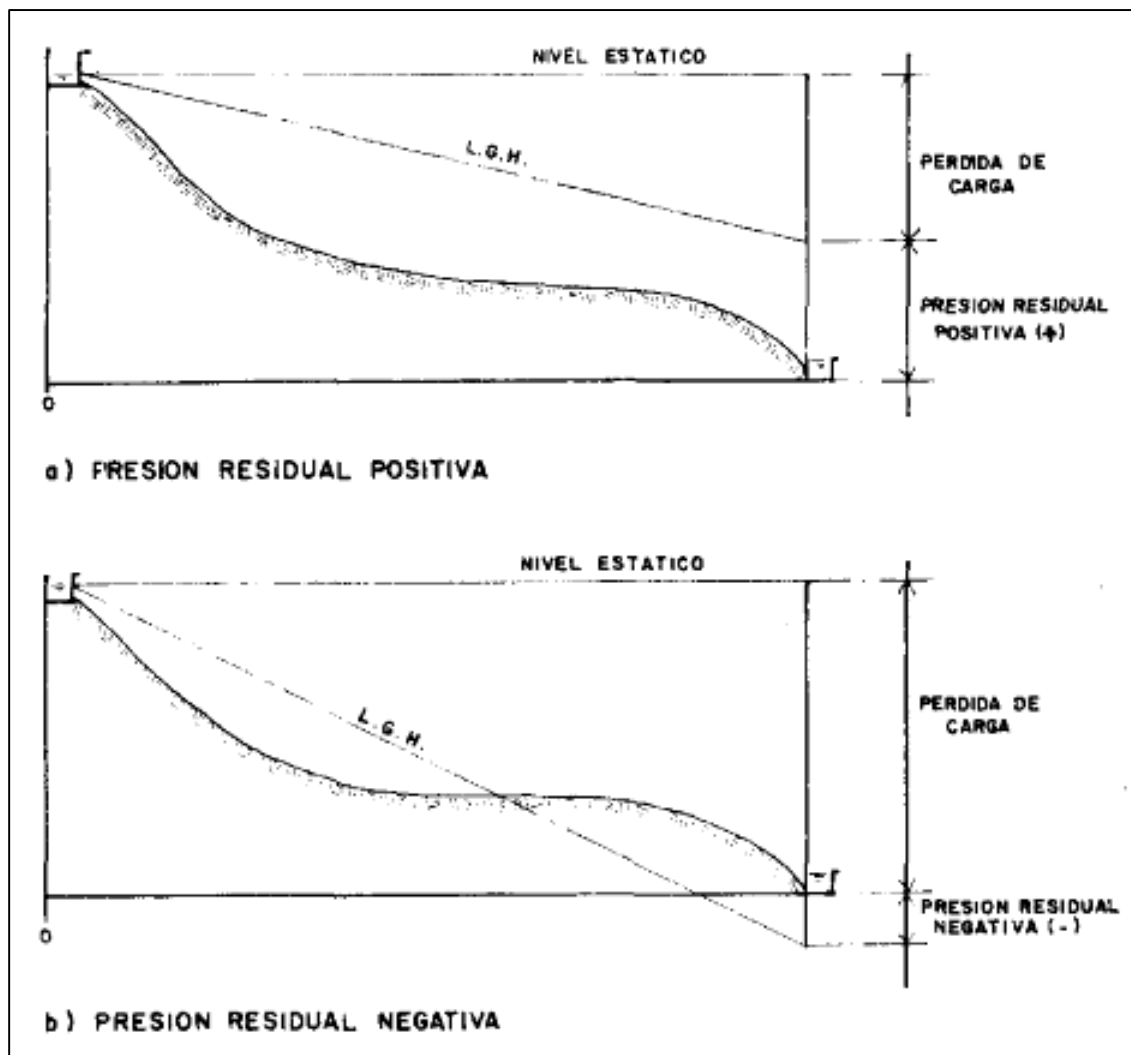
Fuente: Agua potable para poblaciones rurales, Roger Agüero Pittman

3.3.3.4. Línea de gradiente hidráulica. Esta línea denominada L.G.H. indica la presión de agua a lo largo de la tubería bajo condiciones de operación. Cuando se traza la línea de gradiente hidráulica para un caudal que descarga libremente en la atmósfera (como dentro de un tanque), puede resultar que la presión residual en el punto de descarga se vuelva positiva o negativa, como se ilustra en la Figura 5

Cuando se presenta una presión residual positiva, se puede indicar que hay energía suficiente para mover el flujo, mientras que al presentarse una presión residual negativa se presenta como insuficiente energía gravitacional para mover el agua por lo que se debe evaluar cambiar el diámetro de la tubería para disminuir pérdidas.

Figura 5

Presiones residuales positivas y negativas



Fuente: Agua potable para poblaciones rurales, Roger Agüero Pittman

3.3.3.5. Pérdidas de carga. Es el gasto de energía necesario para vencer las resistencias que se oponen al movimiento del fluido de un punto a otro en una sección de la tubería. Las pérdidas de carga pueden ser lineales o de fricción y singulares o locales. Las primeras, son ocasionadas por la fuerza de rozamiento en la superficie de contacto entre el fluido y la tubería; y las segundas son producidas por las deformaciones de flujo, cambio en sus movimientos y velocidad (estrechamientos o ensanchamientos bruscos de la sección, torneado de las válvulas, grifos, compuertas, codos, etc.).

3.3.3.5.1. Pérdida de carga por fricción. El cálculo de la pérdida de carga por fricción puede estimarse mediante diversas fórmulas, sin embargo, una de las más usadas en conductos a presión, es la de Hazen y Williams. Según J. Saldarriaga (2007), el uso de la ecuación de Hazen y Williams tiene que estar limitada a ciertas características del fluido y flujo, siendo estos límites los siguientes:

- El fluido debe ser agua a temperaturas normales
- El diámetro debe ser superior o igual a 75 mm (3 pulgadas)
- La velocidad en las tuberías debe ser inferior a 3 m/s.

La forma original de esta ecuación es:

$$v = 0.849 \times C_{HW} \times R^{0.63} \times S^{0.54} \quad \dots (7)$$

Donde:

- v : velocidad media en la tubería (l/s)
- R : Radio hidráulico (m)
- C_{HW} : Coeficiente rugosidad de la tubería de Hazen – Williams (Ver Tabla 1)
- S : Pérdida de energía por unidad de peso (altura) por unidad de longitud

La ecuación puede ser utilizada explícitamente para la velocidad y en consecuencia para el caudal. Además, se puede expresar el radio hidráulico en función al diámetro, la velocidad en función al caudal (Ecuación de continuidad) y la pendiente de energía por las pérdidas por unidad de longitud; tal como se muestra en las siguientes:

$$R = \frac{D}{4} \quad \dots (8)$$

$$S = \frac{h_f}{L} \quad \dots (9)$$

Donde:

- Q : caudal (m³/s)
- A : área de la tubería (m²)
- D : diámetro de la tubería (m)
- h_f : pérdida de carga por fricción (m)
- L : longitud de la tubería (m)

Luego, reemplazando las ecuaciones (8) y (9) en la (7), se muestra la fórmula de Hazen y Williams expresada en función del caudal y diámetro:

$$Q = 0.2785 \times C_{HW} \times D^{2.63} \times S^{0.54} \quad \dots (10)$$

Mientras que, el cálculo de las pérdidas de carga por fricción se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$h_f = 10.674 \times \frac{L}{D^{4.871}} \times \frac{Q^{1.852}}{C_{HW}^{1.852}} \quad \dots (11)$$

Tabla 1*Coefficientes (C) de Hazen y Williams*

Tipo de tubería	C
Acero	130
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	150
Policloruro de vinilo (PVC)	140

Fuente: Computer Applications in Hydraulic Engineering, 5th Edition, Haestad Methods

3.3.3.5.2. Pérdida de carga local. Estas pérdidas son ocasionadas producto del paso de flujo a través de los accesorios instalados en la línea por el cambio de dirección y/o sección en sus tramos. La determinación de las pérdidas locales es evaluada por la cantidad de accesorios o velocidades altas en la línea. Para esta evaluación se utiliza el teorema de Borde-Belanger.

$$H_i = \sum k \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \dots (12)$$

Donde k depende del accesorio por donde transita el flujo, así como se observa en la Tabla 2 (codos, válvulas, entradas, salidas, reducciones, tees, yes, uniones, etc.)

Tabla 2*Coefficientes de pérdida de carga K para singularidades*

Accesorio	Coefficiente K
Codo 90°	0.9
Válvula de pie	2.5
Llave de compuerta abierta 50%	5.6
Llave de compuerta abierta 75%	1.15
Llave de compuerta abierta 100%	0.19
Válvula de globo abierta	10
Válvula de no retorno	2.5

Contracción brusca	0.42
Expansión brusca	0.92
Tee	1.8
Codo 45°	0.42
Codo cuadrado	1.8

Fuente: Manual de Hidráulica J.M. de Azevedo Netto

3.3.3.6. Estructuras complementarias

3.3.3.6.1. Válvulas de aire. El aire acumulado en los puntos altos provoca la reducción del área de flujo del agua, produciendo un aumento de pérdida de carga y una disminución del gasto. Para evitar esta acumulación es necesario instalar válvulas de aire pudiendo ser automáticas o manuales. Debido al costo elevado de las válvulas automáticas, en la mayoría de las líneas de conducción se utilizan válvulas de compuerta con sus respectivos accesorios que requieren ser operadas periódicamente.

3.3.3.6.2. Válvulas de purga. Los sedimentos acumulados en los puntos bajos de la línea de conducción con topografía accidentada provocan la reducción del área de flujo del agua, siendo necesario instalar válvulas de purga que permitan periódicamente la limpieza de tramos de tuberías.

3.3.3.6.3. Cámaras rompe-presión. Cuando existe mucho desnivel entre la captación y algunos puntos a lo largo de la línea de conducción, pueden generarse presiones superiores a la máxima que puede soportar una tubería. En esta situación, es necesaria la construcción de cámaras rompe-presión que permitan disipar la energía y reducir la presión relativa a cero (presión atmosférica), con la finalidad de evitar daños en la tubería. Estas estructuras permiten utilizar tuberías de menor clase, reduciendo considerablemente los costos en las obras de abastecimiento de agua potable.

3.3.4. Criterio de diseño en líneas de conducción a gravedad con flujo libre

Este tipo de conducción es considerado un canal no erosionable, ya que será construido con un revestimiento artificial y puede resistir la erosión de manera satisfactoria. Para su diseño, es necesario tener en cuenta factores como las velocidades mínima y máxima permisibles, y el tipo de material de tubería a utilizar.

3.3.4.1. Revestimiento. Existen distintos tipos de tuberías utilizadas para la proyección de estas conducciones, tales como: acero, PVC, polietileno, concreto, entre otros. La elección del tipo está en función de las condiciones del sitio, economía del proyecto, condiciones de fluido y la experiencia del proyectista.

3.3.4.2. Velocidades permisibles. Es importante considerar como velocidad mínima permisible a aquella que no permita el inicio de la sedimentación dentro de la conducción. Para aguas que no tengan carga de limos o flujos previamente decantados, puede adoptarse el valor de 0.6 m/s. La velocidad máxima permisible es aquella que evita el desgaste interno de la tubería, su valor está en función al tipo de tubería a utilizar, para tuberías de Polietileno (HDPE) puede considerarse un valor de 3 m/s.

3.3.4.3. Pendiente. La pendiente considerada para este tipo de conducciones está en función al trazo que se realiza utilizando el levantamiento topográfico y por la altura de energía requerida para el flujo de agua. Además, depende del propósito de la conducción, algunas conducciones requieren un alto nivel de energía al punto de entrega y en consecuencia, se recomienda el uso de pendientes bajas para mantener al mínimo las pérdidas por elevación y en lo posible obtener el régimen de flujo subcrítico.

3.3.4.4. Diámetro de tubería. El diámetro puede ser estimado utilizando diversas metodologías, sin embargo, en el presente documento será determinado mediante la ecuación de Manning:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad \dots (13)$$

Donde:

- V : velocidad del flujo (m/s)
- R : Radio hidráulico (m)
- S : Pendiente de la tubería (m/m)
- n : Coeficiente de rugosidad de Manning (véase Tabla 4)

Utilizando la ecuación de continuidad en la fórmula de Manning, le expresión puede mostrarse de la forma siguiente:

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad \dots (14)$$

Donde:

- Q : caudal (m³/s)
- A : Área mojada en la tubería (m²)

Los parámetros hidráulicos en este tipo de conductos, en donde “d” es el tirante dentro de la tubería, (Ver Figura 6), puede determinarse con las siguientes ecuaciones:

$$\cos(\phi) / 2 = \left(1 - 2 \frac{d}{D}\right) \quad \dots (15)$$

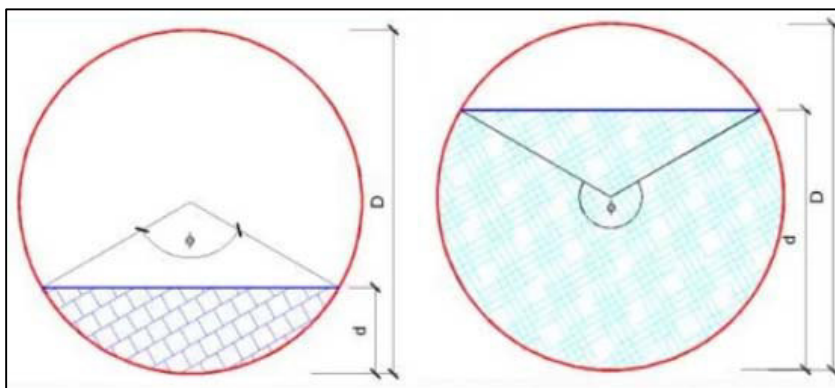
$$A = \frac{D}{4} \times \left(\frac{\pi\phi}{360} - \frac{\text{sen}\phi}{2}\right) \quad \dots (16)$$

$$P = \left(\frac{\pi D \phi}{360}\right) \quad \dots (17)$$

$$R = \frac{D}{4} \times \left(1 - \frac{360 \text{sen}\phi}{2\pi\phi} \right) \dots (18)$$

Figura 6

Esquema de conductos parcialmente llenos



Fuente: Elaboración propia

El cálculo de los parámetros hidráulicos utilizando las ecuaciones (15), (16), (17) y (18) puede resultar laborioso, por lo que, para el presente documento se ha optado por realizar los cálculos utilizando valores conocidos para diferentes relaciones entre tirante y diámetro (d/D), tal como se puede observar en la Tabla 3.

Tabla 3

Parámetros conocidos para conductos circulares parcialmente llenos

d/D	A/D^2	R/D	d/D	A/D^2	R/D
0.01	0.0013	0.0066	0.50	0.2937	0.2500
0.05	0.0147	0.0326	0.55	0.4426	0.2649
0.10	0.0409	0.0635	0.60	0.492	0.2776
0.15	0.0739	0.0929	0.65	0.5404	0.2881
0.20	0.1118	0.1206	0.70	0.5872	0.2962
0.25	0.1535	0.1466	0.75	0.6318	0.3017
0.30	0.1982	0.1709	0.80	0.6736	0.3042
0.35	0.245	0.1935	0.85	0.7115	0.3033
0.40	0.2934	0.2142	0.90	0.7445	0.2980
0.45	0.3428	0.2331	0.95	0.7707	0.2864

Fuente: Hidráulica de canales abiertos – Ven Te Chow

Tabla 4

Valores del coeficiente de rugosidad de Manning para tuberías

Tipo de tubería	n
Acero soldado	0.012
Polietileno PE	0.009 - 0.010
PVC	0.009 - 0.010
Uralita	0.011
Hierro dúctil	0.015
Hierro fundido	0.014
Duelas de madera creosotadas	0.012
Hormigón colocado in situ	0.014

Fuente: Hidráulica de canales abiertos – Ven Te Chow

3.4. Glosario

- **Fluido:** Es una sustancia que tiene poca cohesión molecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene. Son clasificados en gases o líquidos
- **Flujo:** Es el movimiento del fluido
- **Flujo uniforme:** se presenta cuando la velocidad, densidad y presión no son variables.
- **Caudal:** es el volumen de fluido (agua para los fines de la presente monografía) por unidad de tiempo, expresado en m^3/s o l/s
- **Ecuación de continuidad:** descrito como el volumen de fluido que ingresa al sistema es igual al que sale.
- **Ecuación de Bernoulli:** trabajo necesario para mover cierto volumen de fluido a través de una tubería.
- **Presión hidrostática:** presión que ejerce el agua en reposo sobre las paredes de la tubería que lo contiene.
- **Velocidad:** considerada la unidad de medida del movimiento del agua en la tubería, expresada en m/s .
- **Esfuerzo cortante:** fuerza por unidad de área en la superficie interna de la tubería.

- Tubería: conducto cerrado formado por tubos en donde se conduce el agua.
- Radio hidráulico: expresado en m, equivale a la división entre el área y perímetro mojado.
- Ecuación de Hazen-Williams: ecuación explícita que relaciona las pérdidas de altura por fricción con el caudal que atraviesa la tubería.
- Pérdida por fricción: es la que se ocasiona cuando el agua entra en contacto con la superficie.

Capítulo 3 – Desarrollo o proceso metodológico

4.1. Ubicación del proyecto

- El área de estudio se encuentra en el departamento de Ancash, provincia de Huaraz, en los distritos de Jangas y Tarica, localidad de Antahurán. Véase en la

La quebrada Ishinca es la fuente para la conducción proyectada, es afluente del río Santa que forma parte de la Vertiente del Atlántico. La entidad administrativa que regula el uso de los recursos hídricos en el área del proyecto es la Administración Local de Agua Huaraz, que depende de la Autoridad Administrativa de Agua Huarmey-Chicama.

Figura 7 y Figura 8.

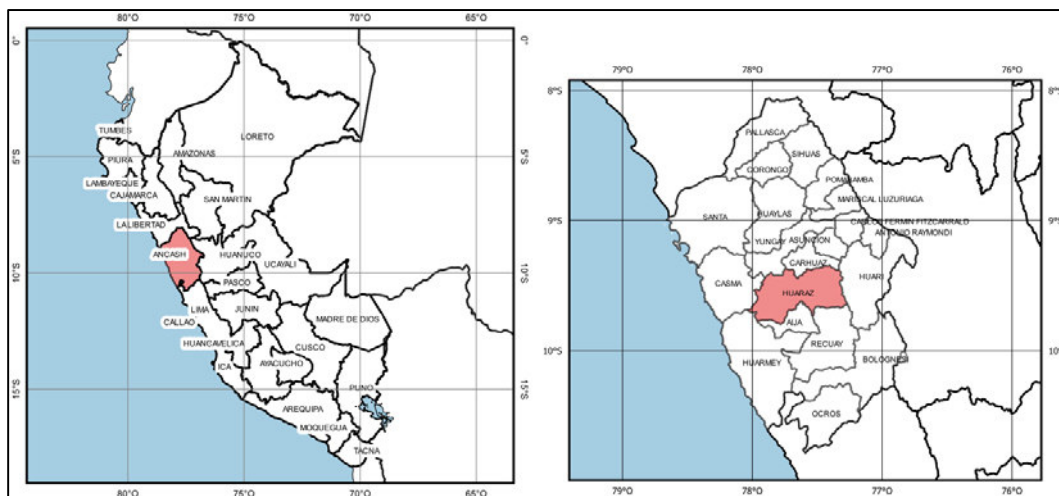
La ubicación geográfica en coordenadas UTM - WGS84 - 18S está comprendida entre en el siguiente cuadrante:

- Norte : 8952500 a 8962500 m
- Este : 215000 a 227500 m
- Altitud : 2840 a 3860 m.s.n.m.

La quebrada Ishinca es la fuente para la conducción proyectada, es afluente del río Santa que forma parte de la Vertiente del Atlántico. La entidad administrativa que regula el uso de los recursos hídricos en el área del proyecto es la Administración Local de Agua Huaraz, que depende de la Autoridad Administrativa de Agua Huarmey-Chicama.

Figura 7

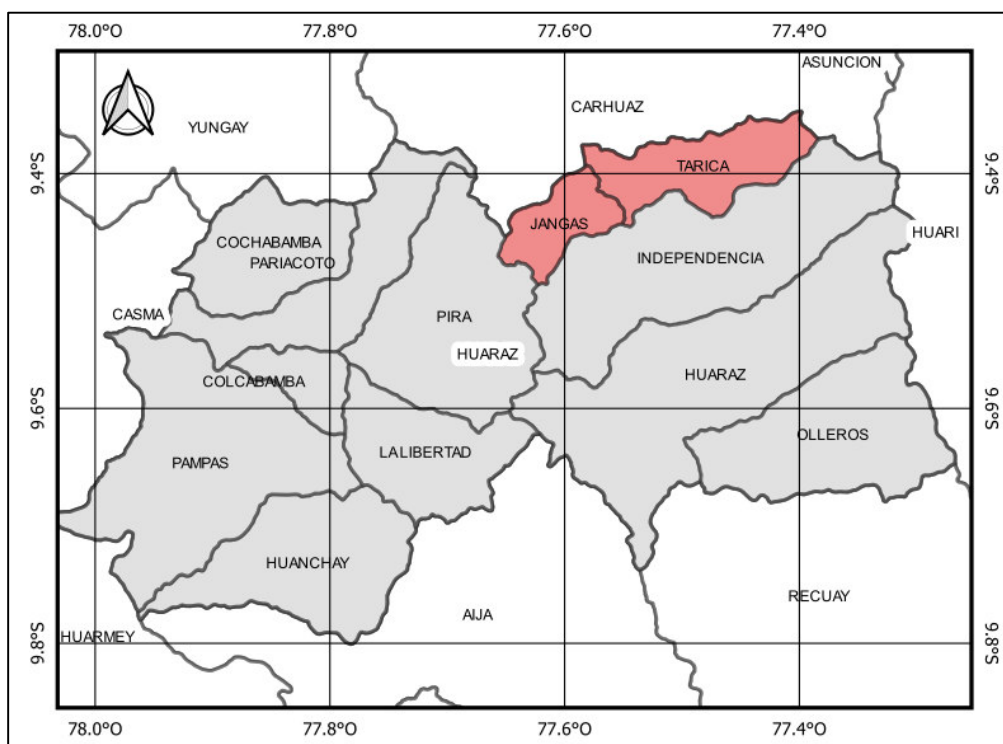
Ubicación departamental y provincial del área de estudio



Fuente: Elaboración propia

Figura 8

Ubicación distrital del área de estudio



Fuente: Elaboración propia

4.2. Descripción de instalaciones existentes y proyectadas

4.2.1. Instalaciones existentes

En la zona de estudio se considera como infraestructura existente a la obra de captación o punto inicial y al reservorio de regulación o punto final

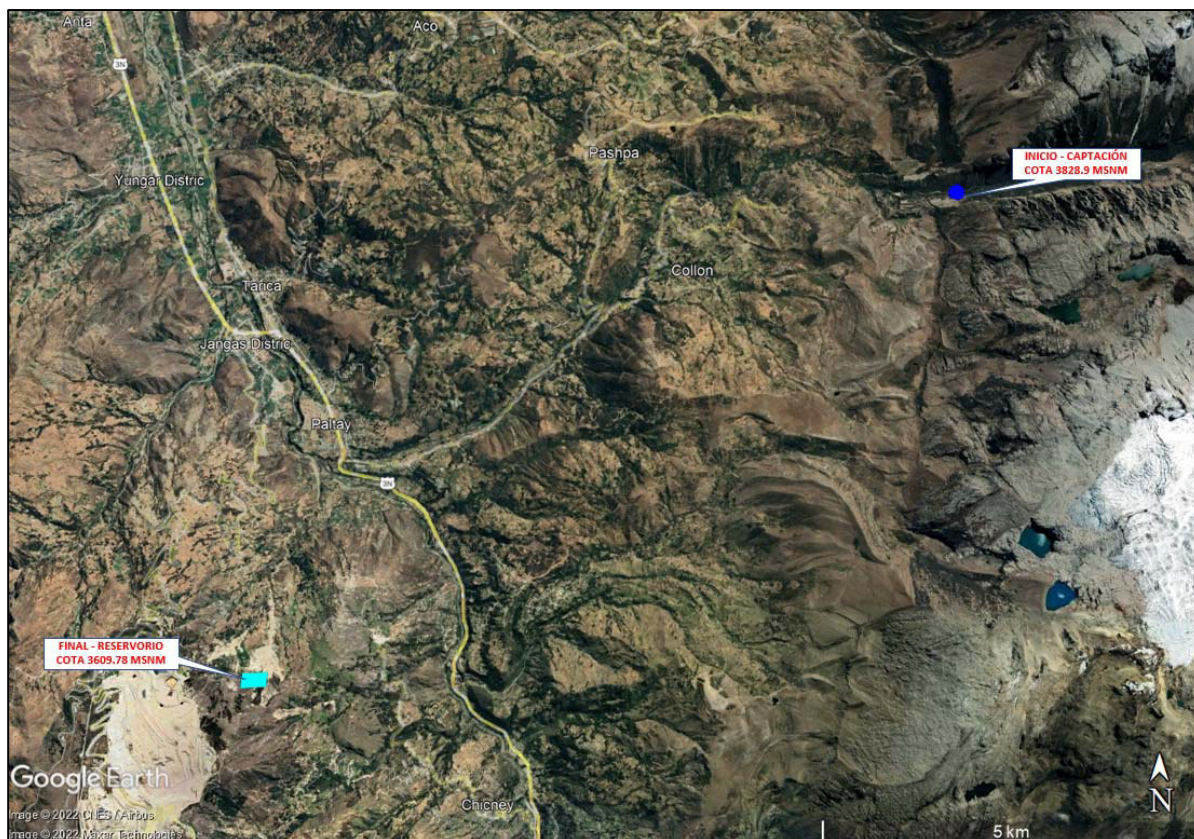
El punto inicial o captación se encuentra en la quebrada Ishinca, a una cota de 3828.9 msnm, cuyas coordenadas UTM WGS 84 18S en el Este: 226 935.5 y en el Norte: 8 961 904.5.

En el punto final se encuentra un reservorio de regulación, esta infraestructura se encuentra en la comunidad Antahurán. Este punto se encuentra a una cota de 3609.78 msnm, cuyas coordenadas UTM WGS 84 18S en el Este: 217 448.8 y en el Norte: 8 955 160.9.

Se puede mencionar que existe una diferencia de cotas entre el inicio y fin de 219.19 m. La vista en planta de los dos puntos mencionados se muestra en la Figura 9.

Figura 9

Ubicación de los puntos inicial y final para la línea de conducción



Fuente: Elaboración propia

4.2.2. *Instalaciones proyectadas*

La presente monografía considera la realización del diseño de una línea de conducción que servirá para derivar las aguas desde la quebrada Ishinca hasta el reservorio ubicado en la comunidad de Antahurán. Para ello, se realizó el diseño de la línea en dos alternativas denominadas “Escenario 1 y 2”. La vista en planta de esta distribución se puede observar en la Figura 10.

4.2.2.1. Línea de conducción escenario 1. Es un sistema de tuberías que funcionan a gravedad y presión en todo su recorrido, es decir, la tubería estará siempre llena desde el punto de partida. Esta línea tiene una longitud de 12.97 km, en su recorrido se consideraron tuberías de HDPE SDR 21, SDR 7.4 y SDR 9; y tuberías de Acero SCH 40 y 80. La línea tiene dos tipos de diámetros de 200 y 250 mm.

En este escenario el comportamiento del flujo estará asociado a mantenerse a presión desde que inicia su recorrido, es decir, trabajará a tubería llena. En ese sentido, los criterios a tomarse en cuenta son:

- Carga hidráulica.
- Tipos de tubería.
- Presión máxima de trabajo para diversos tipos de tuberías.
- Velocidad mínima y máxima permisible en la conducción
- Diámetros nominales para emplearse
- Espesores de tuberías para diversos tipos

4.2.2.2. Línea de conducción escenario 2. Esta línea cuenta con dos tipos de conducción diferenciados: un primer tramo que funciona a gravedad y flujo libre; y un segundo tramo que funciona a gravedad y presión. La longitud total de la línea es de 16.96 km, los tipos de tubería considerados fueron HDPE SDR 26, 21, 17 y 7.4; y acero SCH 40 y 80. Los diámetros de las tuberías en la línea de conducción equivalen a 200 y 250 mm.

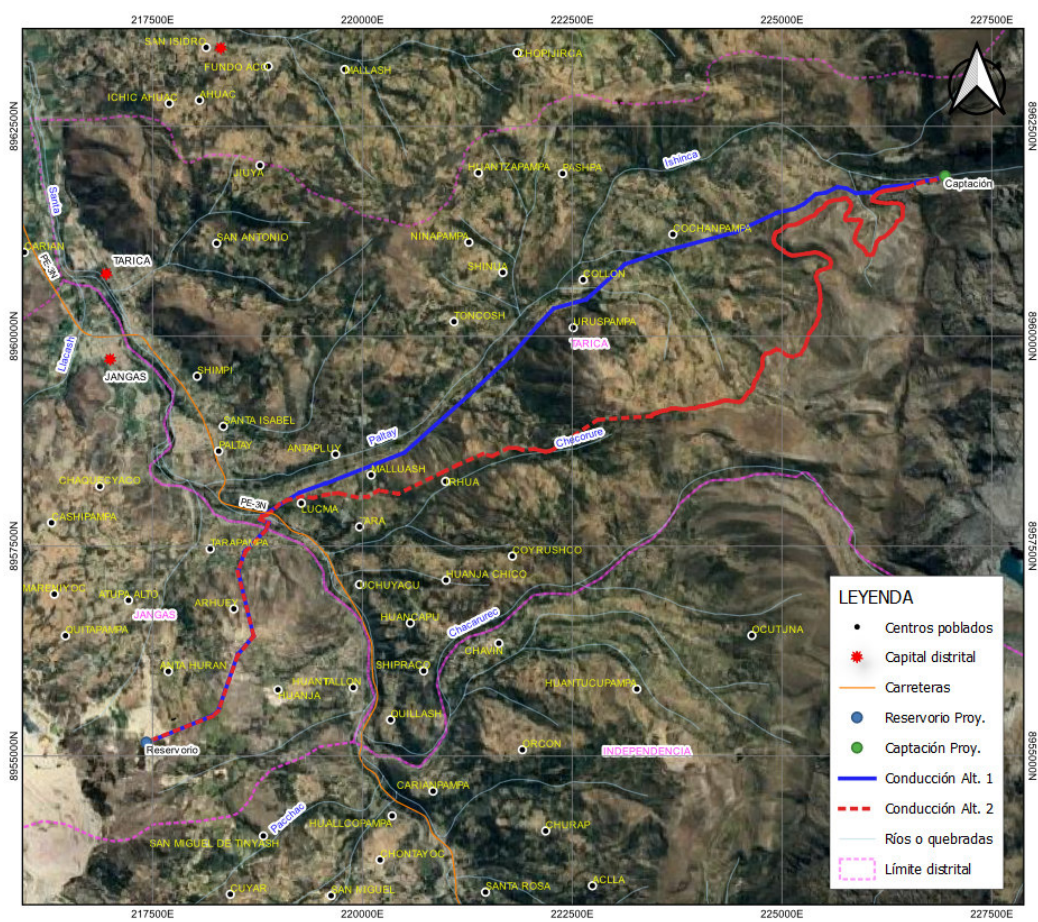
En este escenario la línea de conducción se comportará de dos maneras, un primer tramo tendrá el comportamiento de lámina libre (como canal) y en el segundo tramo el flujo será a presión (tubería llena), en donde se tendrá en cuenta los siguientes aspectos:

- Carga disponible.

- Trazo y pendiente de la rasante.
- Régimen de flujo.
- Velocidad mínima y máxima permisible en la conducción
- Tipos de tubería.
- Presión máxima de trabajo para diversos tipos de tuberías.
- Diámetros nominales para emplearse
- Espesores de tuberías para diversos tipos

Figura 10

Ubicación satelital de las líneas de conducción proyectadas



Fuente: Elaboración propia

4.3. Estándares para toma de datos y/o instrumentos, normatividades

4.3.1. Metodología de cálculo

En la presente monografía se cuenta con dos tipos de conducciones de flujo a gravedad, una con flujo a presión y la otra a lámina libre, cada una de ellas cuenta con una metodología de cálculo diferenciada, además, el escenario de análisis 2 tiene ambos tipos de conducciones, por lo tanto, la metodología que se presenta a continuación viene diferenciada por cada tipo de flujo.

4.3.1.1. Metodología para conducciones a gravedad con flujo a presión

- A. Realizar el trazo en planta de la línea de conducción, desde el punto inicial (captación) hasta el punto final (reservorio).
- B. Realizar el perfil longitudinal del trazo planteado y determinar la carga disponible.
- C. Determinar tramos de análisis, identificando cota de entrada, cota de salida y longitud total.
- D. Determinar el gradiente hidráulico “S” para cada tramo.
- E. Calcular el diámetro de la tubería y utilizar el diámetro comercial más próximo.
Verificar que cumpla la velocidad recomendada.
- F. Determinar la pérdida de carga
- G. Determinar la altura de carga de presión
- H. Determinar la carga estática
- I. Determinar el tipo de tubería a utilizarse.

4.3.1.2. Metodología para conducciones a gravedad con flujo a lámina libre

- I. Realizar el trazo en planta de la línea de conducción, considerando una pendiente baja para evitar pérdida de altura y mantener un régimen de flujo subcrítico.

- II. Determinar el tipo de tubería a utilizar para la definición del coeficiente de rugosidad asociado.
- III. Determinar la relación tirante y diámetro.
- IV. Estimar el diámetro de la tubería.
- V. Verificar las velocidades permisibles.

4.3.2. *Normatividad aplicable*

- Manual: Criterios de diseño de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico, ANA (Autoridad Nacional del Agua), Perú 2010.
- Norma OS.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones. MVCS 2006, Perú.

4.4. Consideraciones de diseño

Al ser una evaluación con fines académicos y de escala regional, en este documento se consideran como parámetros conocidos a la información topográfica y caudal de diseño. No se describirá el proceso de obtención de dichos parámetros, ya que, no son parte del alcance de este documento.

4.4.1. *Información topográfica*

La topografía utilizada en la presente monografía corresponde a la información descargada del IGN con curvas de nivel a cada 15 m.

Tabla 5

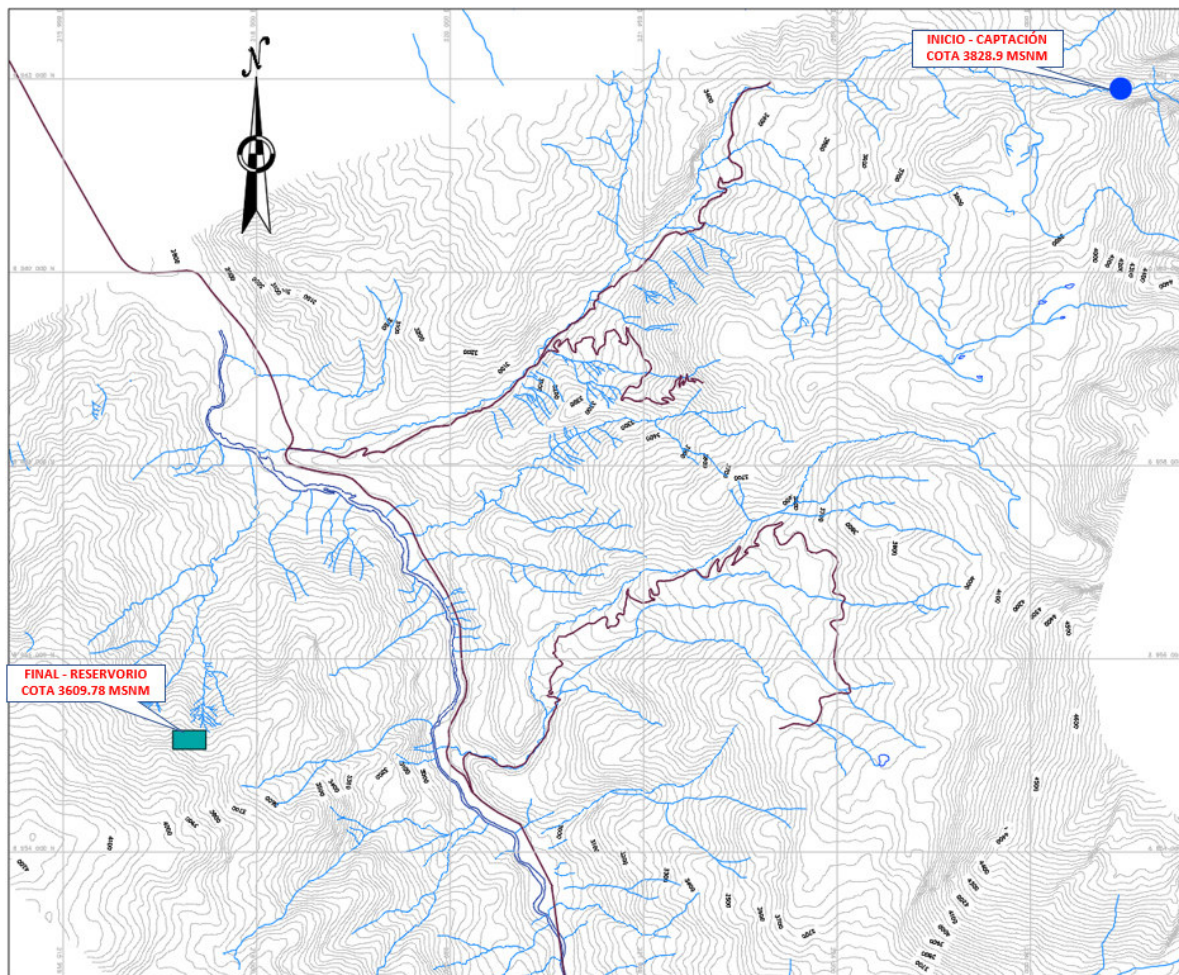
Ubicación geográfica de la infraestructura existente

Descripción	Este (m)	Norte (m)	Altura (msnm)
Captación Ishinca	226934	8961910	3828.9
Reservorio	217439	8955157	3609.8
Comunidad Antahurán	217687	8956054	3326.0

Fuente: Elaboración propia

Figura 11

Información topográfica empleada



Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Caudal de diseño

En la presente monografía no se determinará el caudal de diseño por no encontrarse dentro de los objetivos de esta, para este caso se usará como dato el caudal de 50 L/s.

4.5. Cálculos de ingeniería

4.5.1. *Diseño de la línea de conducción – Escenario 1*

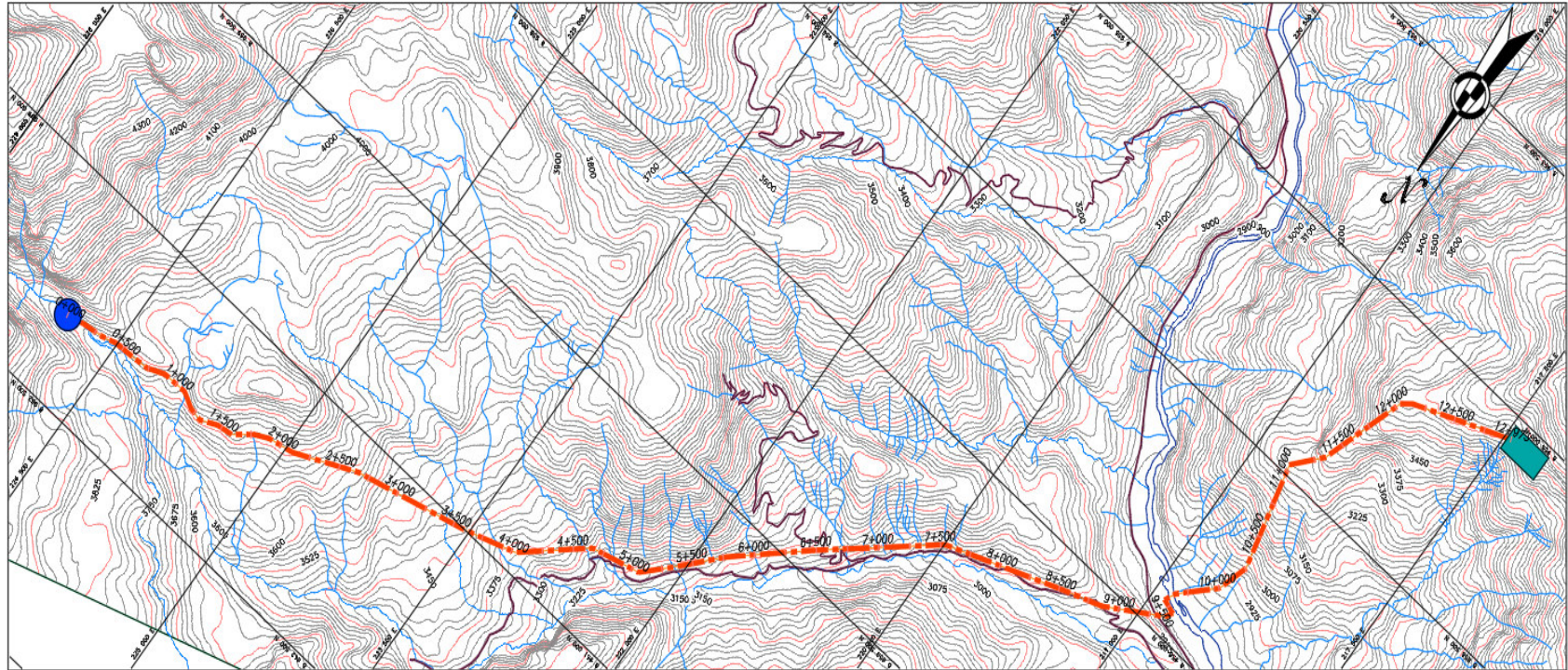
4.5.1.1. Trazo en planta. Se realizó el trazo en planta para el escenario 1, en esta opción se considera que la conducción funcionará a tubería llena durante todo su recorrido, el trazo fue realizado, en lo posible, por los accesos existentes y optimizando la longitud de la tubería. La conducción para este escenario tiene una longitud de 12973 m, véase en la Figura 12.

4.5.1.2. Perfil longitudinal. En la Figura 13 se muestra el perfil longitudinal de la línea de conducción para el escenario 1, en ella se presenta las cotas de rasante para cada progresiva analizada, información que se usará para los siguientes análisis. Asimismo, se puede mencionar la carga disponible.

$$Carga\ disponible = C_i - C_f = 3828.97 - 3609.78 = 219.19\ m$$

Figura 12

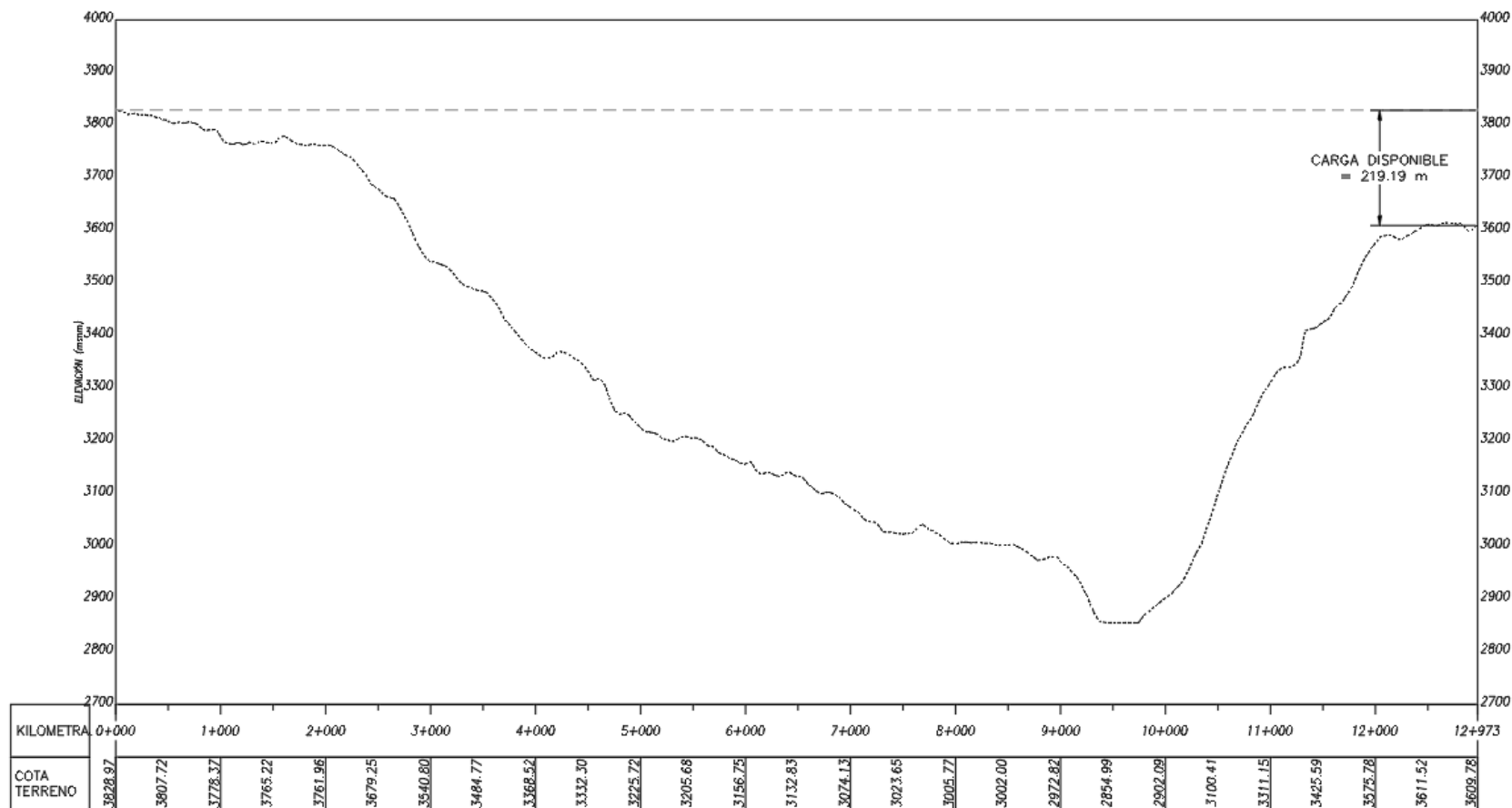
Trazo en planta de la línea de conducción – Escenario 1



Fuente: Elaboración propia

Figura 13

Perfil longitudinal y carga disponible línea de conducción – Escenario 1



Fuente: Elaboración propia

4.5.1.3. Tramos de análisis y longitudes. Como el trazo tiene una longitud de 12.9 km, el análisis se realizará para diversos tramos de 500 m cada uno en promedio, en la Tabla 4 se muestran los tramos de análisis, las cotas de rasante y las longitudes horizontal e inclinada; esta tabla fue construida en base al trazo en planta y el perfil longitudinal, mencionados en los subcapítulos predecesores.

La longitud inclinada se calculó con la siguiente expresión:

$$L_{inc} = \sqrt{L_H^2 + (CR_{i-1} - CR_i)^2} \quad \dots (17)$$

Donde:

- L_{inc} : Longitud inclinada (m)
- L_H : Longitud horizontal (m)
- CR_{i-1} : Cota rasante tramo anterior (msnm)
- CR_i : Cota rasante tramo de análisis (msnm)

Para el tramo 1 la longitud inclinada se determina de la siguiente manera:

$$L_{inc} = \sqrt{500^2 + (3828.97 - 3807.72)^2}$$

$$L_{inc} = 500.45 \text{ m}$$

Para los demás tramos se utiliza el mismo procedimiento descrito, los resultados se observan en la Tabla 6.

4.5.1.4. Estimación de gradiente hidráulica. La gradiente hidráulica por tramo “S” será determinada usando la siguiente expresión:

$$S = \frac{CR_{i-1} - CR_i}{L_{inc}} \quad \dots (18)$$

Para el tramo 1, el valor de S resulta:

$$S = \frac{3828.97 - 3807.72}{500.45}$$

$$S = 0.042$$

De forma análoga el procedimiento se realiza para los siguientes tramos, obteniendo los resultados en la Tabla 6.

Tabla 6

Tramos de análisis y características – escenario 1

Tramo	Progresiva (km)	Cota rasante (msnm)	Longitud horizontal (m)	Longitud inclinada (m)	Gradiente hidráulica (S)
Punto inicial	0+000.00	3 828.90			
1	0+500.00	3 807.72	500.00	500.45	0.042
2	1+000.00	3 778.37	500.00	500.86	0.059
3	1+500.00	3 765.22	500.00	500.17	0.026
4	2+000.00	3 761.96	500.00	500.01	0.007
5	2+500.00	3 679.25	500.00	506.79	0.163
6	2+800.00	3 607.75	300.00	308.40	0.232
7	3+000.00	3 540.80	200.00	210.91	0.317
8	3+500.00	3 484.77	500.00	503.13	0.111
9	4+000.00	3 368.52	500.00	513.34	0.226
10	4+500.00	3 332.30	500.00	501.31	0.072
11	5+000.00	3 225.72	500.00	511.23	0.208
12	5+500.00	3 205.68	500.00	500.40	0.040
13	6+000.00	3 156.75	500.00	502.39	0.097
14	6+500.00	3 132.83	500.00	500.57	0.048
15	7+000.00	3 074.13	500.00	503.43	0.117
16	7+500.00	3 023.65	500.00	502.54	0.100
17	8+000.00	3 005.77	500.00	500.32	0.036
18	8+500.00	3 002.00	500.00	500.01	0.008
19	9+000.00	2 972.82	500.00	500.85	0.058
20	9+500.00	2 854.99	500.00	513.70	0.229
21	10+000.00	2 902.09	500.00	502.21	0.094
22	10+500.00	3 100.41	500.00	537.89	0.369
23	11+000.00	3 311.15	500.00	542.60	0.388
24	11+500.00	3 425.59	500.00	512.93	0.223
25	12+000.00	3 575.78	500.00	522.07	0.288
26	12+500.00	3 611.52	500.00	501.28	0.071
27	12+973.00	3 609.78	473.00	473.00	0.004

Tramo	Progresiva (km)	Cota rasante (msnm)	Longitud horizontal (m)	Longitud inclinada (m)	Gradiente hidráulica (S)
Punto final	12+973.00	3 609.78			

Fuente: Elaboración propia

4.5.1.5. Cálculo del diámetro. Utilizando la ecuación de Hazen y Williams, indicada en el presente documento como expresión (10), se calcula el diámetro para cada tramo analizado, para ello se utiliza valores estimados de la gradiente hidráulica y el valor del coeficiente de rugosidad asociada al tipo de tubería a emplearse. Para este caso, se usará un coeficiente de $C=150$ para tuberías HDPE y $C=130$ para tuberías de acero. Ver Tabla 1

A continuación, se detalla el proceso de cálculo para el tramo 1:

$$D = \left(\frac{Q}{0.2785 \times C_{HW} \times S^{0.54}} \right)^{1/2.63}$$

$$D = \left(\frac{0.050}{0.2785 \times 150 \times 0.042^{0.54}} \right)^{1/2.63}$$

$$D = 0.15 \text{ m}$$

El diámetro calculado expresado en pulgadas corresponde a:

$$D = 5.83 \text{ pulgadas}$$

Primera aproximación:

El diámetro comercial más próximo es 6 pulgadas, cuyo diámetro nominal es 160 mm y su espesor es 7.7 mm para tuberías HDPE SDR 21 4227 PE-100 (Ver cuadro en el anexo 1). Lo que corresponde a un diámetro interno de 144.6 mm.

La velocidad media resulta:

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$$V = \frac{4 \times 0.05}{\pi \times 0.1446^2}$$

$$V = 3.04 \text{ m/s}$$

La velocidad obtenida es ligeramente superior a la permisible 3 m/s, sin embargo, se puede continuar con el cálculo siguiente.

La pérdida por fricción se calcula utilizando la ecuación (11):

$$h_f = 10.674 \times \frac{L}{D^{4.871}} \times \frac{Q^{1.852}}{C_{HW}^{1.852}}$$

$$h_f = 10.674 \times \frac{500.45}{0.1446^{4.871}} \times \frac{0.05^{1.852}}{150^{1.852}}$$

$$h_f = 23.93 \text{ m}$$

El cálculo de la pérdida local, para fines prácticos, se realiza asumiendo un 10% de la pérdida por fricción:

$$h_i = 23.93 \times (0.10) = 2.39 \text{ m}$$

Por lo tanto, la pérdida de carga total en el tramo en análisis resulta:

$$h_f + h_i = 23.93 + 2.39 = 26.32 \text{ m}$$

Luego, la cota piezométrica resulta:

$$C_{Pi} = C_{Pi-1} - (h_f + h_i)$$

$$C_{Pi} = 3828.97 - (23.93 + 2.39) = 3802.65 \text{ msnm}$$

Finalmente, la altura de carga de presión en el tramo resulta:

$$\text{Altura carga de presión} = \text{Cota rasante} - \text{Cota piezométrica}$$

$$\text{Altura carga de presión} = 3807.72 - 3802.65$$

$$\text{Altura carga de presión} = -5.07 \text{ m}$$

El valor negativo hallado significa que la primera aproximación no es la correcta, porque en el tramo ocurrió una pérdida de carga alta. Se recomienda que la altura de carga de presión sea mayor o igual a 10 m para que pueda fluir el agua por la tubería. En consecuencia, se debe incrementar el diámetro en el tramo de análisis para disminuir la pérdida de carga, hasta obtener una presión residual aceptable.

Segunda aproximación:

El diámetro comercial próximo que cumpla con la velocidad permisible es:

$$D = 8 \text{ pulgadas}$$

Teniendo en cuenta que esta tubería de 8" HDPE SDR 21 tiene un diámetro nominal de 200 mm y un espesor de 9.6 mm 100 (Ver cuadro en el anexo 1), el diámetro interno es:

$$D_{int} = 0.1808 \text{ m}$$

4.5.1.6. Cálculo de la velocidad de flujo. Utilizando el diámetro interno de la tubería seleccionada y la ecuación de continuidad, se determina la velocidad en la tubería, para el tramo 1 resulta:

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$$V = \frac{4 \times 0.05}{\pi \times 0.1808^2}$$

$$V = 1.95 \text{ m/s}$$

La velocidad obtenida está dentro del rango de velocidad aceptada para este tipo de conducciones (<3.m/s). El resultado del cálculo de los demás tramos se puede observar en la Tabla 7.

Tabla 7*Diámetros y velocidades estimadas por cada tramo – escenario 1*

Tramo	Progresiva (km)	C. de Hazen y Williams	Gradiente hidráulica (S)	Diámetro calculado (m)	Diámetro calculado (pulg.)	Diámetro comercial (pulg.)	Diámetro interno (m)	Velocidad del flujo (m/s)
Inicio	0+000.00							
1	0+500.00	150	0.042	0.15	5.83	8.00	0.1808	1.95
2	1+000.00	150	0.059	0.14	5.46	8.00	0.1808	1.95
3	1+500.00	150	0.026	0.16	6.44	8.00	0.1808	1.95
4	2+000.00	150	0.007	0.22	8.57	8.00	0.1808	1.95
5	2+500.00	150	0.163	0.11	4.42	10.00	0.1942	1.69
6	2+800.00	150	0.232	0.10	4.12	10.00	0.1816	1.93
7	3+000.00	130	0.317	0.10	4.07	10.00	0.2315	1.19
8	3+500.00	130	0.111	0.13	5.05	10.00	0.2315	1.19
9	4+000.00	130	0.226	0.11	4.37	10.00	0.2315	1.19
10	4+500.00	130	0.072	0.14	5.52	10.00	0.2315	1.19
11	5+000.00	130	0.208	0.11	4.44	10.00	0.2315	1.19
12	5+500.00	130	0.040	0.16	6.23	8.00	0.1836	1.89
13	6+000.00	130	0.097	0.13	5.19	8.00	0.1836	1.89
14	6+500.00	130	0.048	0.15	6.01	8.00	0.1836	1.89
15	7+000.00	130	0.117	0.13	5.01	8.00	0.1836	1.89
16	7+500.00	130	0.100	0.13	5.16	8.00	0.1836	1.89
17	8+000.00	130	0.036	0.16	6.38	8.00	0.1836	1.89
18	8+500.00	130	0.008	0.22	8.78	8.00	0.1836	1.89
19	9+000.00	130	0.058	0.15	5.77	8.00	0.1836	1.89
20	9+500.00	130	0.229	0.11	4.36	8.00	0.1746	2.09
21	10+000.00	130	0.094	0.13	5.23	8.00	0.1746	2.09
22	10+500.00	130	0.369	0.10	3.95	10.00	0.2315	1.19
23	11+000.00	130	0.388	0.10	3.91	10.00	0.2315	1.19
24	11+500.00	130	0.223	0.11	4.38	10.00	0.2315	1.19
25	12+000.00	130	0.288	0.11	4.16	10.00	0.2315	1.19
26	12+500.00	150	0.071	0.13	5.24	10.00	0.1816	1.93
27	12+973.00	150	0.004	0.24	9.64	10.00	0.1816	1.93
Fin	12+973.00							

Fuente: Elaboración propia

4.5.1.7. Cálculo de la pérdida de carga. La pérdida de carga por fricción (h_f) será estimada usando la ecuación (11) y los resultados obtenidos en los ítems predecesores, para el tramo 1 se menciona el procedimiento:

$$h_f = 10.674 \times \frac{L}{D^{4.871}} \times \frac{Q^{1.852}}{C_{HW}^{1.852}}$$

$$h_f = 10.674 \times \frac{500.45}{0.1808^{4.871}} \times \frac{0.05^{1.852}}{150^{1.852}}$$

$$h_f = 8.06 \text{ m}$$

La pérdida local o por singularidades (h_i), al tratarse de una evaluación a nivel regional, para el presente documento será considerado como el 10% de la pérdida de carga por fricción.

Luego, para el tramo 1 resulta:

$$h_i = 0.1 \times 8.06$$

$$h_i = 0.81 \text{ m}$$

Finalmente, la pérdida de carga en el tramo de análisis resulta:

$$H_f = h_f + h_i$$

$$H_f = 8.06 + 0.81$$

$$H_f = 8.87 \text{ m}$$

De forma análoga, el resultado de los siguientes tramos se muestra en la Tabla 8.

4.5.1.8. Cálculo de la altura de carga de presión. La cota piezométrica es la diferencia entre la cota inicial y la pérdida de carga, para el tramo 1 se define como:

$$C_{Pi} = C_{Pi-1} - (h_f + h_i)$$

Donde:

- C_{Pi-1} : Cota piezométrica de un tramo anterior

- C_{pi} : Cota piezométrica de un tramo en análisis

$$C_{pi} = 3828.97 - (8.06 + 0.81)$$

$$C_{pi} = 3820.11 \text{ msnm}$$

La altura de carga de presión está definida como la diferencia entre la cota rasante y la piezométrica, para el tramo 1 se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Altura carga de presión} = \text{Cota rasante} - \text{Cota piezométrica}$$

$$\text{Altura carga de presión} = 3807.72 - 3820.11$$

$$\text{Altura carga de presión} = 12.39 \text{ m}$$

El cálculo para los otros tramos se muestra en la Tabla 6.

4.5.1.9. Cálculo de la altura de carga estática y tipo de tubería. La altura de carga estática es igual a la diferencia entre la cota rasante de un tramo anterior y la del tramo en análisis, para el tramo 1 resulta:

$$\text{Altura carga estática} = 3828.97 - 3807.72 = 21.25 \text{ m}$$

En función a los resultados de la altura de carga estática, se determina el tipo de tubería a utilizar por cada tramo, para este se ha determinado utilizar una tubería HDPE SDR 21 que soporta una presión hidrostática de 80 mca (Ver anexo 1) que es mayor a la altura de carga estática resultante. En la Tabla 9 se muestran los resultados para los demás tramos, todos de ellos basados en los cuadros mostrados en los anexos 1 y 2 para tuberías HDPE y Acero respectivamente.

Finalmente, en la Figura 10 se muestra la gradiente hidráulica de la línea de conducción.

Tabla 8*Pérdida de carga y cota piezométrica escenario 1*

Tramo	Cota rasante (msnm)	Caudal de diseño (m ³ /s)	Longitud inclinada (m)	C. de Hazen y Williams	Diámetro interno (m)	Pérdida de fricción hf (m)	Pérdida local hi (m)	Cota piezométrica (m)	Altura de carga de presión (m)
Inicio	3 828.97							3 828.97	
1	3 807.72	0.05	500.45	150	0.1808	8.06	0.81	3 820.11	12.39
2	3 778.37	0.05	500.86	150	0.1808	8.06	0.81	3 811.23	32.86
3	3 765.22	0.05	500.17	150	0.1808	8.05	0.81	3 802.38	37.16
4	3 761.96	0.05	500.01	150	0.1808	8.05	0.81	3 793.52	31.56
5	3 679.25	0.05	506.79	150	0.1942	5.76	0.58	3 787.18	107.93
6	3 607.75	0.05	308.40	150	0.1816	4.86	0.49	3 781.84	174.09
7	3 540.80	0.05	210.91	130	0.2315	1.33	0.13	3 780.37	239.57
8	3 484.77	0.05	503.13	130	0.2315	3.17	0.32	3 776.89	292.12
9	3 368.52	0.05	513.34	130	0.2315	3.23	0.32	3 773.34	404.82
10	3 332.30	0.05	501.31	130	0.2315	3.16	0.32	3 769.86	437.56
11	3 225.72	0.05	511.23	130	0.2315	3.22	0.32	3 766.32	540.60
12	3 205.68	0.05	500.40	130	0.1836	9.75	0.97	3 755.60	549.92
13	3 156.75	0.05	502.39	130	0.1836	9.78	0.98	3 744.84	588.09
14	3 132.83	0.05	500.57	130	0.1836	9.75	0.97	3 734.12	601.29
15	3 074.13	0.05	503.43	130	0.1836	9.80	0.98	3 723.33	649.20
16	3 023.65	0.05	502.54	130	0.1836	9.79	0.98	3 712.57	688.92
17	3 005.77	0.05	500.32	130	0.1836	9.74	0.97	3 701.85	696.08
18	3 002.00	0.05	500.01	130	0.1836	9.74	0.97	3 691.14	689.14
19	2 972.82	0.05	500.85	130	0.1836	9.75	0.98	3 680.41	707.59
20	2 854.99	0.05	513.70	130	0.1746	12.78	1.28	3 666.35	811.36
21	2 902.09	0.05	502.21	130	0.1746	12.49	1.25	3 652.61	750.52
22	3 100.41	0.05	537.89	130	0.2315	3.39	0.34	3 648.88	548.47
23	3 311.15	0.05	542.60	130	0.2315	3.42	0.34	3 645.13	333.98

Tramo	Cota rasante (msnm)	Caudal de diseño (m3/s)	Longitud inclinada (m)	C. de Hazen y Williams	Diámetro interno (m)	Pérdida de fricción hf (m)	Pérdida local hi (m)	Cota piezométrica (m)	Altura de carga de presión (m)
24	3 425.59	0.05	512.93	130	0.2315	3.23	0.32	3 641.57	215.98
25	3 575.78	0.05	522.07	130	0.2315	3.29	0.33	3 637.96	62.18
26	3 611.52	0.05	501.28	150	0.1816	7.90	0.79	3 629.27	17.75
27	3 609.78	0.05	473.00	150	0.1816	7.45	0.75	3 621.07	11.29
Fin	3 609.78								

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9

Altura de carga estática y clases de tubería a emplear escenario 1

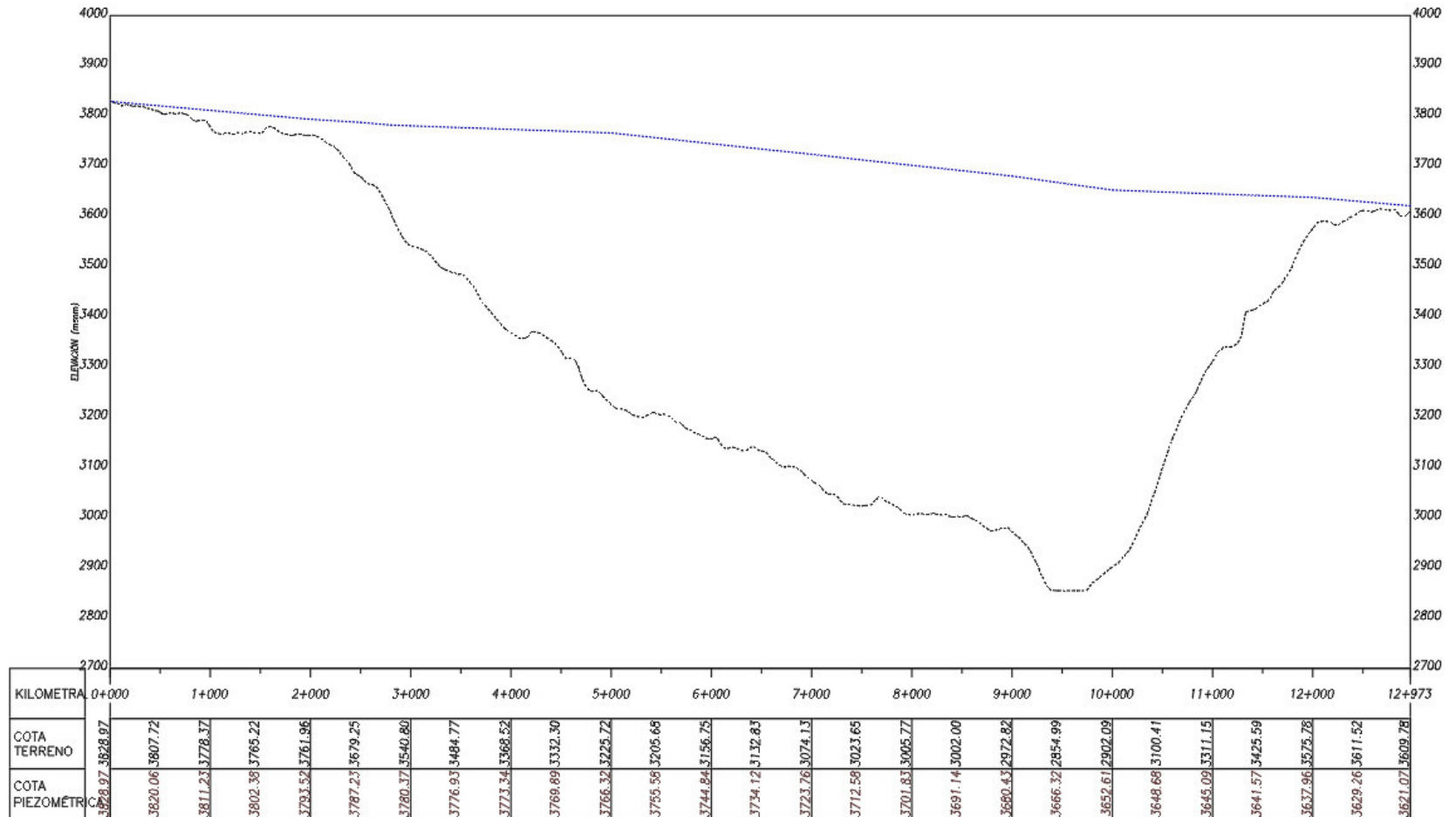
Tramo	Progresiva (km)	Cota rasante (msnm)	Altura de carga estática (m)	Clase de tubería
Punto inicial	0+000.00	3 828.97		
1	0+500.00	3 807.72	21.25	HDPE SDR 21 - 200mm
2	1+000.00	3 778.37	50.60	HDPE SDR 21 - 200mm
3	1+500.00	3 765.22	63.75	HDPE SDR 21 - 200mm
4	2+000.00	3 761.96	67.01	HDPE SDR 21 - 200mm
5	2+500.00	3 679.25	149.72	HDPE SDR 9 - 250mm
6	2+800.00	3 607.75	221.22	HDPE SDR 7.4 - 250mm
7	3+000.00	3 540.80	288.17	ACERO SCH 40 - 250mm
8	3+500.00	3 484.77	344.20	ACERO SCH 40 - 250mm
9	4+000.00	3 368.52	460.45	ACERO SCH 40 - 250mm
10	4+500.00	3 332.30	496.67	ACERO SCH 40 - 250mm
11	5+000.00	3 225.72	603.25	ACERO SCH 40 - 250mm
12	5+500.00	3 205.68	623.29	ACERO SCH 40 - 200mm
13	6+000.00	3 156.75	672.22	ACERO SCH 40 - 200mm

Tramo	Progresiva (km)	Cota rasante (msnm)	Altura de carga estática (m)	Clase de tubería
14	6+500.00	3 132.83	696.14	ACERO SCH 40 - 200mm
15	7+000.00	3 074.13	754.84	ACERO SCH 40 - 200mm
16	7+500.00	3 023.65	805.32	ACERO SCH 40 - 200mm
17	8+000.00	3 005.77	823.20	ACERO SCH 40 - 200mm
18	8+500.00	3 002.00	826.97	ACERO SCH 40 - 200mm
19	9+000.00	2 972.82	856.15	ACERO SCH 40 - 200mm
20	9+500.00	2 854.99	973.98	ACERO SCH 80 - 200mm
21	10+000.00	2 902.09	926.88	ACERO SCH 80 - 200mm
22	10+500.00	3 100.41	728.56	ACERO SCH 40 - 250mm
23	11+000.00	3 311.15	517.82	ACERO SCH 40 - 250mm
24	11+500.00	3 425.59	403.38	ACERO SCH 40 - 250mm
25	12+000.00	3 575.78	253.19	ACERO SCH 40 - 250mm
26	12+500.00	3 611.52	217.45	HDPE SDR 7.4 - 250mm
27	12+973.00	3 609.78	219.19	HDPE SDR 7.4 - 250mm
Punto final	12+973.00	3 609.78		

Fuente: Elaboración propia

Figura 14

Gráfico de la línea de gradiente hidráulico



Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Diseño de la línea de conducción – Escenario 2

4.5.2.1. Trazo en planta. Se realizó el trazo en planta de la línea de conducción para el escenario 2 se considera que esta funcionará un primer tramo a lámina libre y el otro a tubería llena, el trazo fue realizado para que en el primer tramo la conducción obtenga la menor pendiente posible y se optimice la pérdida de carga para el segundo tramo a presión. La conducción para este escenario tiene una longitud de 16962 m, véase en la Figura 15

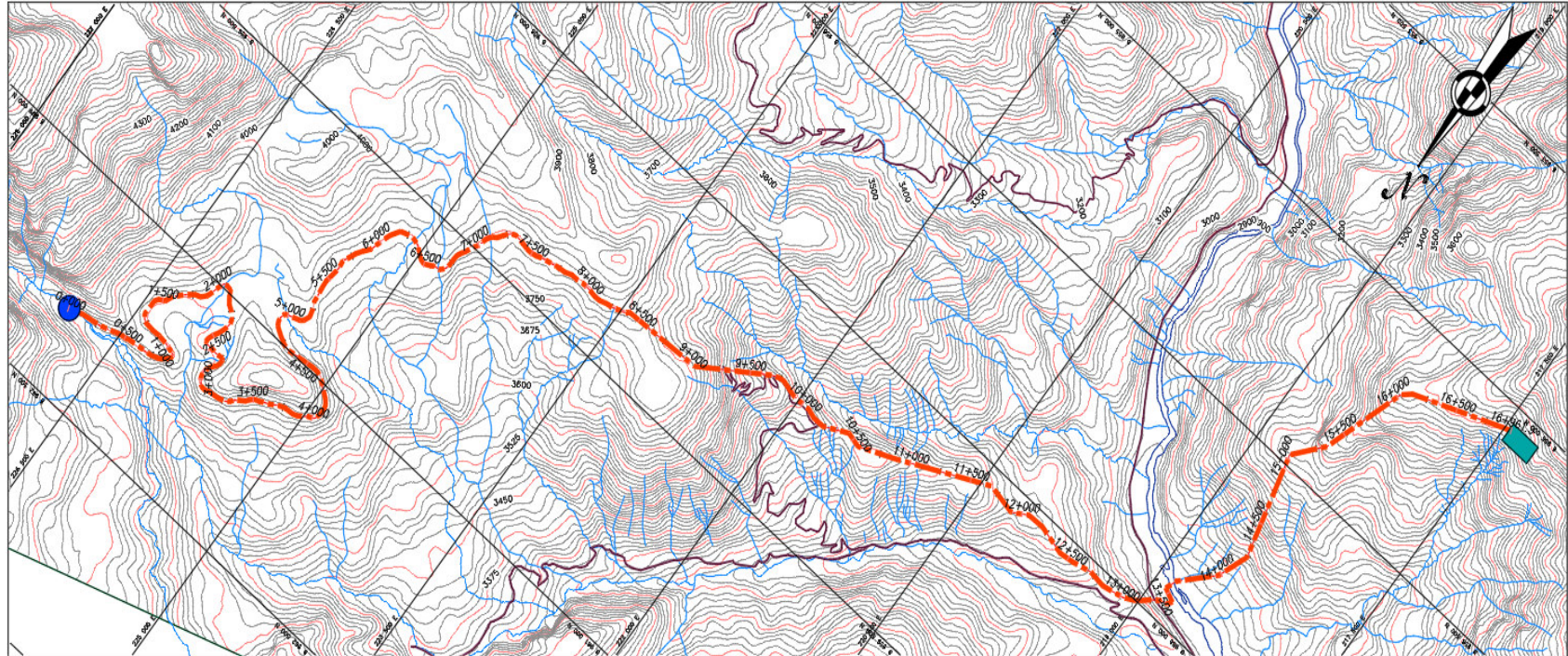
4.5.2.2. Perfil longitudinal. En la Figura 15 se muestra el perfil longitudinal de la línea de conducción para el escenario 2, en ella se presenta las cotas de rasante para cada progresiva analizada, información que se usará para los siguientes análisis. Se muestra que el primer tramo tiene una longitud de 8476 m con una pendiente de 0.2%, por lo que para el tramo 2 (a presión) la carga disponible es:

Asimismo, se puede mencionar la carga disponible.

$$Carga\ disponible = C_i - C_f = 3810.06 - 3609.78 = 200.28\ m$$

Figura 15

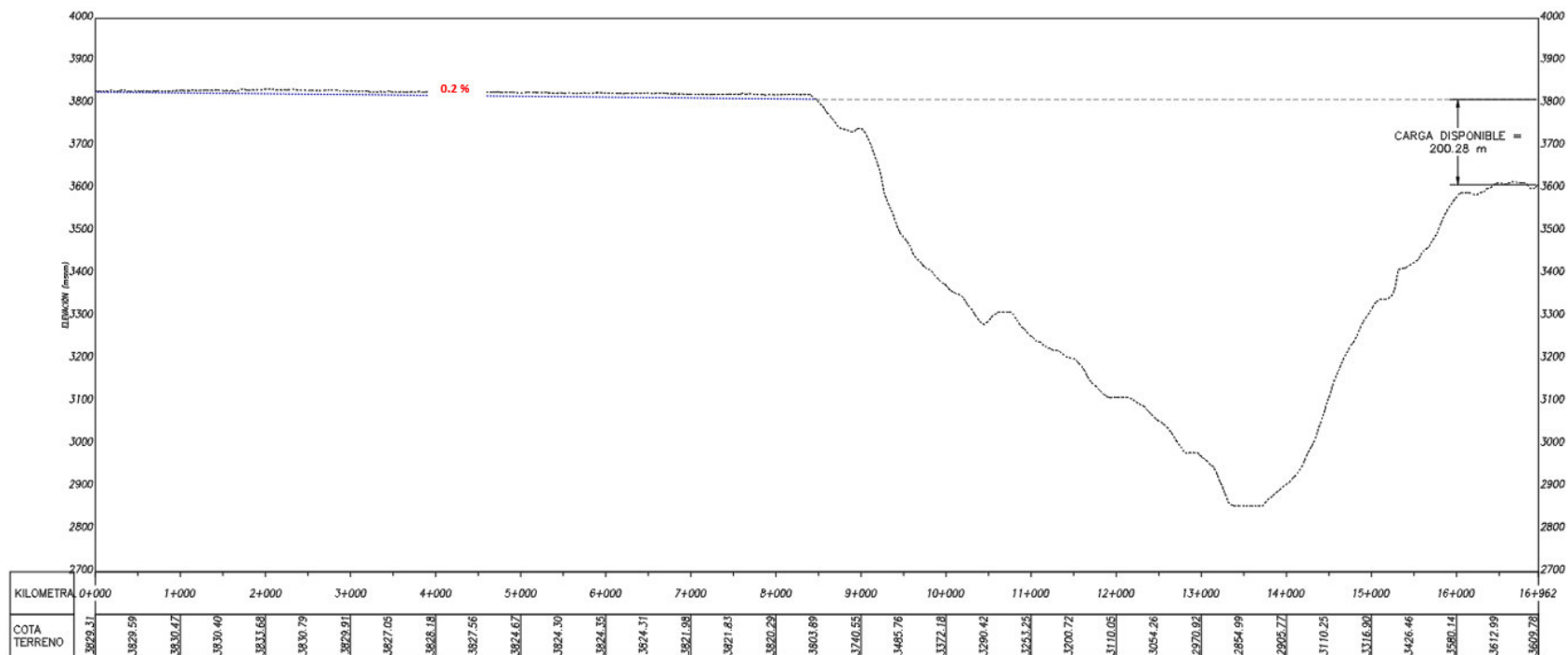
Trazo en planta de la línea de conducción – Escenario 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 16

Perfil longitudinal de la línea de conducción – Escenario 2



Fuente: Elaboración propia

4.5.2.4. Diseño del tramo 1. Al tratarse de una zona en donde se mantiene una pendiente baja y constante a lo largo del tramo (0.2%), la metodología del cálculo aplicada será la descrita en el subcapítulo 4.3.1.2.

4.5.2.4.1. Elección del revestimiento. La elección del tipo de tubería a utilizar está en función a las condiciones a la que estará expuesta la infraestructura instalada tales como: condiciones climáticas, facilidad de instalación, mantenimiento, durabilidad, entre otros.

En la zona de estudio, se presentan condiciones climáticas adversas con bajas temperaturas y presencia de precipitaciones frecuentes, además, se prevé que la tubería estará expuesta en algunas zonas y tendrá poco mantenimiento. En base a lo mencionado, se ha visto por conveniente el uso de tuberías HDPE cuyas principales características son:

- Son económicas y duraderas, ya que requieren menos conexiones entre las piezas porque su instalación se puede realizar con fusión térmica.
- Las tuberías HDPE permanece flexible y fuerte y a la vez ligera y fácil de manejar.
- Se adapta a condiciones adversas de suelos.
- No tiene problemas graves con la corrosión
- Es resistente al impacto y a la fatiga, soporta los cambios bruscos de temperatura

4.5.2.4.2. Cálculo del diámetro. La estimación de este parámetro será mediante la ecuación de Manning mencionada en el presente trabajo como ecuación (14). Tal como se indicó en el capítulo de criterios de diseño, a modo práctico se usará la Tabla 3 de valores conocidos en función a una relación de tirante y diámetro para una primera aproximación.

Consideraciones o datos iniciales:

- Para este tipo de conducciones se puede considerar una relación de tirante-diámetro (d/D) entre 0.75 y 0.80. Se elige 0.75.

- El coeficiente de rugosidad de Manning para tuberías HDPE es 0.010 (Véase Tabla 4)
- El caudal es 0.050 m³/s
- La pendiente es 0.2%

Procedimiento:

Los valores conocidos (según la Tabla 3) de A/D^2 y R/D son:

$$\frac{A}{D^2} = 0.6318$$

$$\frac{R}{D} = 0.3017$$

La expresión de Manning (14) puede expresarse como:

$$A \times R^{2/3} = \frac{Q \times n}{S^{1/2}}$$

Reemplazando los valores conocidos en función a D, se obtiene:

$$0.6318 D^2 \times (0.3017 D)^{2/3} = \frac{0.050 \times 0.010}{0.002^{1/2}}$$

$$D^{\frac{6}{8}} = \frac{0.011}{0.2842}$$

$$D = 0.297 \text{ m}$$

El diámetro obtenido equivale a 11.77 pulgadas, por lo tanto, el diámetro comercial más próximo es 12 pulgadas.

Obtenido el diámetro comercial de la tubería, se procede a verificar la velocidad permisible, tirante medio y borde libre en el conducto.

4.5.2.4.3. Cálculo de la velocidad. Considerando la tubería HDPE SDR 26 NTP ISO 4427 PE-100, el diámetro nominal y espesor de la tubería (ver anexo 1) son:

$$DN = 315 \text{ mm}$$

$$\text{Espesor} = 12.1 \text{ mm}$$

El diámetro interno de la tubería resulta:

$$D_{int} = 290.8 \text{ mm}$$

Utilizando la ecuación de Manning, se obtiene el tirante (d) y la velocidad media (v):

$$d = 0.23 \text{ m}$$

$$v = 0.88 \text{ m/s}$$

La velocidad en la tubería se encuentra dentro de los límites permisibles para este tipo de conductor ($>0.6 \text{ m/s}$), por lo tanto, el diseño es aceptable.

Además, si se compara la diferencia entre el diámetro y el tirante, se observa que existe un borde libre de 60.8 mm, lo que equivale a un 26% del tirante, por lo que se indica que es un diseño viable.

4.5.2.5. Diseño del tramo 2. En este tramo se presentan pendientes variables positivas y negativas, la metodología del cálculo aplicada será la descrita en el subcapítulo 4.3.1.1, en donde se hace mención a tuberías a gravedad con funcionamiento a presión. En base a la Figura 16 se observa que la carga hidráulica de este tramo es:

$$\text{Carga disponible} = C_i - C_f = 3810.06 - 3609.78 = 200.28 \text{ m}$$

4.5.2.5.1. Tramos de análisis y longitudes. De forma análoga al cálculo del escenario 1, el análisis en esta zona se realizará para tramos de 500 m. En la Tabla 10 se muestran los tramos de análisis, las cotas de rasante y las longitudes horizontal e inclinada (basadas en la ecuación 17)

Para el tramo 1 correspondiente a las progresivas 8+476 a 8+500, la longitud inclinada se determina de la siguiente manera:

$$L_{inc} = \sqrt{23.9^2 + (3810.06 - 3803.89)^2}$$

$$L_{inc} = 24.68 \text{ m}$$

Tabla 10*Tramos de análisis y características – tramo 2 del escenario 2*

Tramo	Progresiva (km)	Cota rasante (msnm)	Longitud horizontal (m)	Longitud inclinada (m)	Gradiente hidráulica (S)
Punto inicial	8+476.10	3 810.06			
1	8+500.00	3 803.89	23.90	24.68	0.250
2	9+000.00	3 740.55	500.00	504.00	0.126
3	9+250.00	3 614.15	250.00	280.14	0.451
4	9+500.00	3 485.76	250.00	281.04	0.457
5	10+000.00	3 372.18	500.00	512.74	0.222
6	10+500.00	3 290.42	500.00	506.64	0.161
7	11+000.00	3 253.25	500.00	501.38	0.074
8	11+500.00	3 200.72	500.00	502.75	0.104
9	12+000.00	3 110.05	500.00	508.15	0.178
10	12+500.00	3 054.26	500.00	503.10	0.111
11	13+000.00	2 970.72	500.00	506.93	0.165
12	13+500.00	2 854.99	500.00	513.22	0.225
13	14+000.00	2 905.77	500.00	502.57	0.101
14	14+500.00	3 110.25	500.00	540.20	0.379
15	15+000.00	3 316.90	500.00	541.02	0.382
16	15+500.00	3 426.46	500.00	511.86	0.214
17	16+000.00	3 580.14	500.00	523.08	0.294
18	16+500.00	3 612.99	500.00	501.08	0.066
19	16+962.00	3 609.78	462.00	462.01	0.007
Punto final	16+962.00	3 609.78			

Fuente: Elaboración propia

4.5.2.5.2. Cálculo del diámetro. De forma análoga al cálculo del escenario 1, el diámetro de la tubería se determinará utilizando la ecuación de Hazen y Williams, en donde se usarán los coeficientes de C=150 para tuberías HDPE y C=130 para tuberías de acero.

El cálculo para el primer tramo (8+476.1 – 8+500):

$$D = \left(\frac{0.050}{0.2785 \times 150 \times 0.25^{0.54}} \right)^{1/2.63}$$

$$D = 0.10 \text{ m}$$

El diámetro calculado expresado en pulgadas corresponde a:

$$D = 4.05 \text{ pulgadas}$$

El diámetro comercial más próximo es 4 pulgadas, considerando tuberías HDPE SDR 21 PE-100 (véase anexo 1), se obtiene que el diámetro nominal es 110 mm y el espesor 6.3 mm, por lo tanto, el diámetro interno es 97.4 mm, la velocidad en esta tubería resulta:

$$V = \frac{4 \times 0.05}{\pi \times 0.0974^2}$$

$$V = 6.71 \text{ m/s}$$

La velocidad obtenida es mayor a la permisible, lo cual indica que debe recalcularse. De forma análoga con el escenario 1, se elige el diámetro de 8 pulgadas para disminuir las pérdidas.

La tubería de 8'' HDPE SDR 21 tiene un diámetro nominal de 200 mm y un espesor de 9.6 mm 100 (Ver cuadro en el anexo 1), el diámetro interno es:

$$D_{int} = 0.1808 \text{ m}$$

4.5.2.5.3. Cálculo de la velocidad media. La velocidad media del flujo para el diámetro de tubería seleccionada 8'' es:

$$V = \frac{4 \times 0.05}{\pi \times 0.1808^2}$$

$$V = 1.95 \text{ m/s}$$

Esta velocidad se encuentra dentro de los límites permisibles (<3 m/s), por lo que es posible continuar con el cálculo. Los valores determinados de velocidad y diámetros para los otros tramos se pueden observar en la Tabla 11

Tabla 11*Diámetros y velocidades estimadas – Tramo 2 del escenario 2*

Tramo	Progresiva (km)	C. de Hazen y Williams	Gradiente hidráulica (S)	Diámetro calculado (m)	Diámetro calculado (pulg.)	Diámetro comercial (pulg.)	Diámetro interno (m)	Velocidad del flujo (m/s)
Inicio	8+476.10							
1	8+500.00	150	0.250	0.10	4.05	8.00	0.1808	1.95
2	9+000.00	150	0.126	0.12	4.67	8.00	0.1762	2.05
3	9+250.00	150	0.451	0.09	3.59	10.00	0.1816	1.93
4	9+500.00	130	0.457	0.10	3.78	8.00	0.1836	1.89
5	10+000.00	130	0.222	0.11	4.39	8.00	0.1836	1.89
6	10+500.00	130	0.161	0.12	4.68	8.00	0.1836	1.89
7	11+000.00	130	0.074	0.14	5.49	8.00	0.1836	1.89
8	11+500.00	130	0.104	0.13	5.12	8.00	0.1836	1.89
9	12+000.00	130	0.178	0.12	4.59	8.00	0.1836	1.89
10	12+500.00	130	0.111	0.13	5.06	8.00	0.1836	1.89
11	13+000.00	130	0.165	0.12	4.66	8.00	0.1836	1.89
12	13+500.00	130	0.225	0.11	4.37	8.00	0.1746	2.09
13	14+000.00	130	0.101	0.13	5.15	8.00	0.1746	2.09
14	14+500.00	130	0.379	0.10	3.93	8.00	0.1836	1.89
15	15+000.00	130	0.382	0.10	3.92	8.00	0.1836	1.89
16	15+500.00	130	0.214	0.11	4.42	8.00	0.1836	1.89
17	16+000.00	130	0.294	0.11	4.14	8.00	0.1836	1.89
18	16+500.00	150	0.066	0.14	5.33	10.00	0.1816	1.93
19	16+962.00	150	0.007	0.21	8.46	10.00	0.1816	1.93
Fin	16+962.00							

Fuente: Elaboración propia

4.5.2.5.4. Cálculo de la pérdida de carga. La pérdida de carga por fricción para el

tramo (8+476.1 – 8+500) resulta:

$$h_f = 10.674 \times \frac{24.68}{0.1808^{4.871}} \times \frac{0.05^{1.852}}{150^{1.852}}$$

$$h_f = 0.40 \text{ m}$$

La pérdida local o por singularidades (h_i) se considera un 10 % de la pérdida por fricción:

$$h_i = 0.1 \times 0.4$$

$$h_i = 0.04 \text{ m}$$

4.5.2.5.5. Cálculo de la altura de carga de presión. La cota piezométrica es la diferencia entre la cota inicial y la pérdida de carga del tramo, resulta:

$$C_{pi} = 3810.06 - (0.40 + 0.04)$$

$$C_{pi} = 3809.62 \text{ msnm}$$

La altura de carga de presión está definida como la diferencia entre la cota rasante y la piezométrica:

$$\text{Altura carga de presión} = 3809.62 - 3803.89$$

$$\text{Altura carga de presión} = 5.73 \text{ m}$$

El resultado de los demás tramos se muestra en la Tabla 12

4.5.2.5.6. Cálculo de la altura de carga estática y tipo de tubería. La altura de carga estática es igual a la diferencia entre la cota rasante de un tramo anterior y la del tramo en análisis, para este tramo (8+476.1 – 8+500) resulta:

$$\text{Altura carga estática} = 3810.06 - 3803.89 = 6.17 \text{ m}$$

En función a los resultados de la altura de carga estática, se determina el tipo de tubería a utilizar por cada tramo, para este (8+476.1 – 8+500) se ha determinado utilizar una tubería HDPE SDR 21 que soporta una presión hidrostática de 80 mca (véase anexo 1) que es mayor a la altura de carga estática resultante. En la Tabla 13 se muestran los resultados para los demás tramos, todos de ellos basados en los cuadros mostrados en los anexos 1 y 2 para tuberías HDPE y Acero respectivamente.

Tabla 12*Pérdida de carga y cota piezométrica – tramo 2 del escenario 2*

Tramo	Cota rasante (msnm)	Caudal de diseño (m3/s)	Longitud inclinada (m)	C. de Hazen y Williams	Diámetro interno (m)	Pérdida de fricción hf (m)	Pérdida local hi (m)	Cota piezométrica (m)	Altura de carga de presión (m)
8+476.10	3 810.06							3 810.06	
8+500.00	3 803.89	0.05	24.68	150	0.1808	0.40	0.04	3 809.62	5.73
9+000.00	3 740.55	0.05	504.00	150	0.1762	9.20	0.92	3 799.50	58.95
9+250.00	3 614.15	0.05	280.14	150	0.1816	4.41	0.44	3 794.65	180.50
9+500.00	3 485.76	0.05	281.04	130	0.1836	5.47	0.55	3 788.62	302.86
10+000.00	3 372.18	0.05	512.74	130	0.1836	9.99	1.00	3 777.64	405.46
10+500.00	3 290.42	0.05	506.64	130	0.1836	9.87	0.99	3 766.79	476.37
11+000.00	3 253.25	0.05	501.38	130	0.1836	9.76	0.98	3 756.05	502.80
11+500.00	3 200.72	0.05	502.75	130	0.1836	9.79	0.98	3 745.28	544.56
12+000.00	3 110.05	0.05	508.15	130	0.1836	9.90	0.99	3 734.39	624.34
12+500.00	3 054.26	0.05	503.10	130	0.1836	9.80	0.98	3 723.61	669.35
13+000.00	2 970.72	0.05	506.93	130	0.1836	9.87	0.99	3 712.75	742.03
13+500.00	2 854.99	0.05	513.22	130	0.1746	12.77	1.28	3 698.71	843.72
14+000.00	2 905.77	0.05	502.57	130	0.1746	12.50	1.25	3 684.96	779.19
14+500.00	3 110.25	0.05	540.20	130	0.1836	10.52	1.05	3 673.38	563.13
15+000.00	3 316.90	0.05	541.02	130	0.1836	10.54	1.05	3 661.79	344.89
15+500.00	3 426.46	0.05	511.86	130	0.1836	9.97	1.00	3 650.83	224.37
16+000.00	3 580.14	0.05	523.08	130	0.1836	10.19	1.02	3 639.62	59.48
16+500.00	3 612.99	0.05	501.08	150	0.1816	7.90	0.79	3 630.94	17.95
16+962.00	3 609.78	0.05	462.01	150	0.1816	7.28	0.73	3 622.93	13.15
16+962.00	3 609.78								

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13

Altura de carga estática y clases de tubería a emplear – tramo 2 del escenario 2

Tramo	Progresiva (km)	Cota rasante (msnm)	Altura de carga estática (m)	Clase de tubería
Punto inicial	8+476.10	3 810.06		
1	8+500.00	3 803.89	6.17	HDPE SDR 21 - 200mm
2	9+000.00	3 740.55	69.51	HDPE SDR 17 - 200mm
3	9+250.00	3 614.15	195.91	HDPE SDR 7.4 - 250mm
4	9+500.00	3 485.76	324.3	ACERO SCH 40 - 200mm
5	10+000.00	3 372.18	437.88	ACERO SCH 40 - 200mm
6	10+500.00	3 290.42	519.64	ACERO SCH 40 - 200mm
7	11+000.00	3 253.25	556.81	ACERO SCH 40 - 200mm
8	11+500.00	3 200.72	609.34	ACERO SCH 40 - 200mm
9	12+000.00	3 110.05	700.01	ACERO SCH 40 - 200mm
10	12+500.00	3 054.26	755.8	ACERO SCH 40 - 200mm
11	13+000.00	2 970.72	839.34	ACERO SCH 40 - 200mm
12	13+500.00	2 854.99	955.07	ACERO SCH 80 - 200mm
13	14+000.00	2 905.77	904.29	ACERO SCH 80 - 200mm
14	14+500.00	3 110.25	699.81	ACERO SCH 40 - 200mm
15	15+000.00	3 316.90	493.16	ACERO SCH 40 - 200mm
16	15+500.00	3 426.46	383.6	ACERO SCH 40 - 200mm
17	16+000.00	3 580.14	229.92	ACERO SCH 40 - 200mm
18	16+500.00	3 612.99	197.07	HDPE SDR 7.4 - 250mm
19	16+962.00	3 609.78	200.28	HDPE SDR 7.4 - 250mm
Punto final	16+962.00	3 609.78		

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4 – Resultados y discusión

5.1. Presentación, análisis e interpretación de resultados

5.1.1. Resultados del diseño para el Escenario 1

En la Tabla 14 se muestra el resumen del diseño de la línea de conducción en el escenario 1, de donde se puede mencionar que se usaron dos tipos de tuberías HDPE y Acero. Los diámetros obtenidos son de 200 y 250 mm para ambos tipos de tuberías, esto corresponde al proceso de iteración para obtener las presiones residuales viables en cada tramo de análisis. Al tratarse de un sistema a presión, los diámetros no sobrepasan los 250 mm. En este escenario se muestra que la longitud horizontal de tuberías de acero es 9.2 km, mientras que las de HDPE están en el orden de 3.77 km.

Tabla 14

Resultados de la línea de conducción escenario 1

Tramo		Tubería
Inicio	Final	
0+000.00	2+000.00	HDPE SDR 21 - 200mm
2+000.00	2+500.00	HDPE SDR 9 - 250mm
2+500.00	2+800.00	HDPE SDR 7.4 - 250mm
2+800.00	5+000.00	ACERO SCH 40 - 250mm
5+000.00	9+000.00	ACERO SCH 40 - 200mm
9+000.00	10+000.00	ACERO SCH 80 - 200mm
10+000.00	12+000.00	ACERO SCH 40 - 250mm
12+000.00	12+973.00	HDPE SDR 7.4 - 250mm

Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Resultados del diseño para el Escenario 2

En la Tabla 15 se presenta el resumen de resultados de la línea de conducción en el escenario 2, en donde se puede observar que el primer tramo tiene un diámetro mayor (315 mm) al segundo tramo (entre 200 y 250 mm), ya que este se comportará como flujo a lámina libre (canal cerrado). La longitud de la tubería de acero está en el orden de 6.75 km, mientras que para tuberías HDPE está en el orden de 10.2 km.

Tabla 15*Resultados de la línea de conducción escenario 2*

	Tramo		Tubería
	Inicio	Final	
0+000.00	8+476.00	HDPE SDR 26 - 315mm	
8+476.00	8+500.00	HDPE SDR 21 - 200mm	
8+500.00	9+000.00	HDPE SDR 17 - 200mm	
9+000.00	9+250.00	HDPE SDR 7.4 - 250mm	
9+250.00	13+500.00	ACERO SCH 40 - 200mm	
13+500.00	14+500.00	ACERO SCH 80 - 200mm	
14+500.00	16+000.00	ACERO SCH 40 - 200mm	
16+000.00	16+962.00	HDPE SDR 7.4 - 250mm	

Fuente: Elaboración propia**5.1.3. Costos tentativos**

Teniendo en cuenta algunos costos tentativos de tuberías HDPE y Acero por metro lineal, basados en proveedores del medio, se presenta en la Tabla 16 un resumen de costos referenciales para las tuberías, en donde se consideraron las longitudes inclinadas de cada tramo para una mejor estimación. Cabe mencionar que, los costos presentados solo se refieren a las tuberías, no se incluye la instalación ni demás obras correspondientes a la infraestructura (movimiento de tierras, control topográfico, dados de anclaje, obras complementarias, etc).

El costo de adquisición de tuberías para el escenario 1 (\$ 894 270.4 USD) resulta ligeramente menor al del escenario 2 (\$ 908 982.7 USD), se muestra que la diferencia es \$ 14 712.4 USD, que representa un 2%.

5.2. Toma de decisiones

En base en que los costos para ambas alternativas son similares, se recomienda la implementación de la línea de conducción en el escenario 2, por las siguientes razones:

Este escenario tiene en su mayoría tuberías de HDPE y una menor cantidad de acero a comparación del escenario 1. La instalación de tuberías HDPE es relativamente más sencilla que las de acero y el tiempo de instalación es menor.

La longitud del tramo a presión es menor al del escenario 1, lo que significa que, no requerirá una menor cantidad de obras complementarias (válvulas de aire y purga).

Mejor facilidad de reparación y mantenimiento, ante cualquier eventualidad por causa de rotura o atasco, ya que, el primer tramo es de HDPE y funciona a flujo libre (canal cerrado)

Tabla 16*Costos tentativos*

Tipo de tubería	Costo unitario (USD)	Longitudes (m)		Costo parcial (USD)	
	\$/m	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 1	Escenario 2
HDPE 4227 PE 100 SDR 26 - 315mm	40.70	-	8476.1	-	344 977.3
HDPE 4227 PE 100 SDR 21 - 200mm	20.28	2001.5	24.7	40 590.3	500.6
HDPE 4227 PE 100 SDR 17 - 200mm	24.82	-	504.0	-	12 509.2
HDPE 4227 PE 100 SDR 9 - 250mm	68.45	506.8	-	34 690.1	-
HDPE 4227 PE 100 SDR 7.4 - 250mm	81.37	1282.7	1243.2	104 371.8	101 161.3
Acero SCH 40 - 200mm	61.00	4010.5	5938.9	244 641.8	362 273.2
Acero SCH 80 - 200mm	86.20	1015.9	1015.8	87 571.4	87 561.2
Acero SCH 40 - 250mm	87.80	4355.4	-	382 404.8	-
			Costo total	894 270.4	908 982.7

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones y recomendaciones

Se ha logrado determinar que, la línea de conducción óptima que debe pasar al diseño definitivo es la correspondiente al escenario 2, la cual considera dos tramos diferenciados en función al comportamiento del flujo, un primer tramo en donde el flujo se comporta a lámina libre (conductor parcialmente lleno) y un segundo tramo en donde el flujo se comporta a presión.

La línea de conducción escenario 1 es un sistema que funciona a gravedad y presión en todo su recorrido, es decir, la tubería estará siempre llena desde el punto de partida. Esta línea tiene una longitud de 12.97 km, en su recorrido se plantean tuberías de HDPE SDR 21, SDR 7.4 y SDR 9; y tuberías de Acero SCH 40 y 80. La línea tiene dos tipos de diámetros de 200 y 250 mm.

La línea de conducción escenario 2 cuenta con dos tipos de flujos diferenciados: un primer tramo que funciona a gravedad y flujo libre; y un segundo tramo que funciona a gravedad y presión. La longitud total de la línea es de 16.96 km, los tipos de tubería determinados son HDPE SDR 26, 21, 17 y 7.4; y acero SCH 40 y 80. Los diámetros de las tuberías en la línea de conducción equivalen a 200 y 250 mm

El costo de adquisición de tuberías para el escenario 1 (\$ 894 270.4 USD) resulta ligeramente menor al del escenario 2 (\$ 908 982.7 USD), se muestra que la diferencia es \$ 14 712.4 USD, que representa un 2%.

La alternativa recomendada es el escenario 2, ya que, la diferencia económica entre ambas opciones es mínima, además, en esta opción la instalación puede realizarse de forma más sencilla por la mayor cantidad de HDPE que resulta, y, su diseño definitivo posee menores infraestructuras complementarias con respecto al escenario 1 por la longitud de la zona a presión.

Bibliografía

- Agüero Pittman R, (1997). Agua potable para poblaciones rurales, sistemas de abastecimiento por gravedad sin tratamiento. Asociación educativos Rurales, Lima - Perú.
- Organización panamericana de la Salud, (2004). Guía para el diseño y construcción de captación de manantiales.
- Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2017). Guía de opciones tecnológicas para sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano y saneamiento en el ámbito rural.
- Celi Suarez B.A, Fabian Esteban P.I, (2012). Cálculo y diseño del Sistema de agua y alcantarillado y agua potable para la lotización Finca Municipal en el Cantón el Chaco, Provincia de Napo. Tesis Bach. Ecuador, Escuela Politécnica del ejército, Facultad de Ingeniería Civil.
- Juan Saldarriaga V, (1998). Hidráulica de tuberías. MacGraw-Hill Interamericana S.A, Bogota-Colombia.
- Rocha Felices, Arturo (2007). Hidráulica de Tuberías y Canales. Editorial UNI.
- Reglamento nacional de Edificaciones. Instituto de la construcción y Gerencia, (2017)
- Salvador Tixe, (2004). Guía de diseño para líneas de conducción e impulsión de sistemas de abastecimiento de agua rural.
- Catálogo tuberías Lisas HDPE Cidelsa. www.Cidelsa.com
- Pronasar, Lima (2005). Parámetros de diseño de infraestructura de agua y saneamiento para centros poblados rurales,
- Mataix, Claudio (1982). Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas. 2da Edición, ediciones Del Castillo S.A, Madrid
- Ven Te Chow. “Hidráulica de los Canales Abiertos” Edit. Diana. México, 1982, 1ra Edición. 633 págs.
- Jairo Iván Alegría Mori “Tesis de Ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable de la ciudad de Bagua Grande”. Universidad nacional de Ingeniería
- Gino Salcedo Santillán “Tesis de proyecto de ampliación de la línea de impulsión, sistema de bombeo y tanque elevado para agua potable en el centro poblado rural (Cpr) Picapiedra distrito de Pachacamac”. Universidad nacional mayor de San Marcos.

Anexos

Anexo 1: Características de tuberías HDPE Norma NTP ISO 4427 PE-80 y PE-100

		Relación estándar de dimensiones (SDR)															
		SDR 33 (S16)		SDR 26 (S12.5)		SDR 21 (S10)		SDR 17 (S8)		SDR 13.6 (S6.3)		SDR 11 (S5)		SDR 9 (S4)		SDR 7.4 (S3.2)	
		Presión Nominal															
PE-80	equiv.	4.0 bar		5.0 bar		6.0 bar		8.0 bar		10.0 bar		12.5 bar		16.0 bar		20.0 bar	
PE-100	equiv.	5.0 bar		6.0 bar		8.0 bar		10.0 bar		12.5 bar		16.0 bar		20.0 bar		25.0 bar	
DN (mm)	DN Equiv. (pulg)	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e mín. (mm)	Peso prom. Kg/ml
20	1/2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	0.12	2.3	0.13	3.0	0.16
25	3/4	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	0.148	2.3	0.17	3.0	0.21	3.5	0.24
32	1	-	-	-	-	-	-	2.0	0.2	2.4	0.23	3.0	0.28	3.6	0.33	4.4	0.39
40	1-1/4	-	-	-	-	2.0	0.245	2.4	0.29	3.0	0.36	3.7	0.43	4.5	0.51	5.5	0.61
50	1-1/2	-	-	2.0	0.31	2.4	0.367	3.0	0.50	3.7	0.55	4.6	0.67	5.6	0.79	6.9	0.94
63	2.00	-	-	2.5	0.49	3.0	0.570	3.8	0.72	4.7	0.88	5.8	1.06	8.1	1.27	8.6	1.48
75	2-1/2	-	-	2.9	0.67	3.6	0.819	4.5	1.02	5.6	1.24	6.8	1.48	8.4	1.78	10.3	2.12
90	3	-	-	3.5	0.97	4.3	1.170	5.4	1.47	6.7	1.78	8.2	2.14	10.1	2.57	12.3	3.03
110	4	-	-	4.2	1.41	5.3	1.78	6.6	2.18	8.1	2.64	10.0	3.18	12.3	3.82	15.1	4.54
160	6	-	-	6.2	3.06	7.7	3.74	9.5	4.56	11.8	5.56	14.6	6.74	17.9	8.05	21.9	9.56
200	8	-	-	7.7	4.73	9.6	5.83	11.9	7.12	14.7	8.65	18.2	10.50	22.4	12.60	27.4	14.94
250	10	-	-	9.6	7.37	11.9	9.02	14.8	11.06	18.4	13.54	22.7	16.35	27.9	19.60	34.2	23.32
280	11	-	-	10.7	9.19	13.4	11.38	16.6	13.90	20.6	16.96	25.4	20.50	31.3	24.64	38.3	29.24
315	12	9.7	9.34	12.1	11.70	15.0	14.30	18.7	17.60	23.2	21.50	28.6	25.95	35.2	31.16	43.1	37.01
355	14	10.9	11.81	13.6	14.79	16.9	18.16	21.1	22.40	26.1	27.25	32.2	32.94	39.7	39.58	48.5	46.93
400	16	12.3	15.01	15.3	18.75	19.1	23.16	23.7	28.31	29.4	34.56	36.3	41.82	44.7	50.21	54.7	59.60
450	18	13.8	18.94	17.2	23.71	21.5	29.28	26.7	35.87	33.1	43.78	40.9	52.96	50.3	63.57	61.5	74.55
500	20	15.3	23.68	19.1	29.25	23.9	36.13	29.7	44.32	36.8	54.02	45.4	65.34	55.8	78.44	-	-
560	22	17.2	29.80	21.4	36.67	26.7	45.22	33.2	55.52	41.2	67.77	50.8	81.86	62.5	98.38	-	-
630	24	19.3	37.60	24.1	46.46	30.0	57.12	37.4	70.32	46.3	85.66	57.2	103.97	70.3	124.46	-	-
710	28	21.8	47.83	27.2	59.14	33.8	72.89	42.1	89.32	52.2	108.93	64.5	131.91	79.3	158.21	-	-
800	32	24.5	60.55	30.6	74.94	38.1	92.30	47.4	113.29	58.8	138.24	72.6	167.29	89.3	200.73	-	-
900	36	27.6	76.70	34.4	94.75	42.9	116.88	53.3	143.29	66.2	175.06	81.7	211.75	-	-	-	-
1000	40	30.6	94.46	38.2	116.90	47.7	144.36	59.3	177.09	72.5	213.25	90.2	259.91	-	-	-	-
1200	48	36.7	135.88	45.9	168.45	57.2	207.67	67.9	244.03	88.2	310.90	-	-	-	-	-	-
1400	54	42.9	185.15	53.5	229.03	66.7	282.49	82.4	344.68	102.9	423.24	-	-	-	-	-	-
1600	64	49.0	241.63	61.2	299.43	76.2	368.91	94.1	449.89	117.6	552.83	-	-	-	-	-	-
1800	72	54.5	302.56	69.1	380.25	85.7	466.60	105.9	569.33	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	80	60.6	373.72	76.9	469.88	95.2	576.01	117.6	702.55	-	-	-	-	-	-	-	-

1) La presión nominal PN corresponde a la máxima presión de operación admisible en Bar, a 20° C.

2) Valores en pulgadas utilizados como referencia con la norma ASTM/ANSI B 36.10.

3) La relación SDR corresponde al cociente entre el diámetro externo y espesor de la tubería.

Fuente: www.cidelsa.com

Anexo 2: Características de tuberías de acero API 5L / ASTM A53 / A106

Diámetro Nominal NPS DN		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		ASTM A53 PRESION DE PRUEBA			
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/pie	kg/m	Grado A		Grado B	
										psi	Kg/cm2	psi	Kg/cm2
8	200	8.625	219.1	0.188	4.78	-	-	16.94	25.26	780	55	920	65
				0.203	5.16	-	-	18.26	27.22	850	60	1000	70
				0.219	5.56	-	-	19.66	29.28	910	64	1070	75
				0.250	6.35	-	20	22.36	33.31	1040	73	1220	86
				0.277	7.04	-	30	24.70	36.81	1160	82	1350	95
				0.312	7.92	-	-	27.70	41.24	1300	91	1520	107
				0.322	8.18	STD	40	28.55	42.55	1340	94	1570	110
				0.344	8.74	-	-	30.42	45.34	1440	101	1680	118
				0.375	9.52	-	-	33.04	49.20	1570	110	1830	129
				0.406	10.31	-	60	35.64	53.08	1700	120	2000	141
				0.438	11.13	-	-	38.30	57.08	1830	129	2130	150
				0.500	12.70	XS	80	43.39	64.64	2090	147	2430	171
				0.594	15.09	-	100	50.95	75.92	2500	176	2800	197
				0.719	18.26	-	120	60.71	90.44	2800	197	2800	197
				0.812	20.62	-	140	67.76	100.92	2800	197	2800	197
				0.875	22.22	XXS	-	72.42	107.88	2800	197	2800	197
0.906	23.01	-	160	74.69	111.27	2800	197	2800	197				
10	250	10.750	273.0	0.188	4.78	-	-	21.21	31.62	630	44	730	51
				0.203	5.16	-	-	22.87	34.08	680	48	800	56
				0.219	5.56	-	-	24.63	36.67	730	51	860	60
				0.250	6.35	-	20	28.04	41.75	840	59	980	69
				0.279	7.09	-	-	31.20	46.49	930	65	1090	77
				0.307	7.80	-	30	34.24	51.01	1030	72	1200	84
				0.344	8.74	-	-	38.23	56.96	1150	81	1340	94
				0.365	9.27	STD	40	40.48	60.29	1220	86	1430	101
				0.438	11.13	-	-	48.19	71.87	1470	103	1710	120
				0.500	12.70	XS	60	54.71	81.52	1670	117	1950	137
				0.594	15.09	-	80	64.43	95.97	1990	140	2320	163
				0.719	18.26	-	100	77.03	114.70	2410	169	2800	197
				0.844	21.44	-	120	89.29	133.00	2800	197	2800	197
				1.000	25.40	XXS	140	104.13	155.09	2800	197	2800	197
				1.125	28.57	-	160	115.65	172.21	2800	197	2800	197
				12	300	12.750	323.8	0.203	5.16	-	-	27.20	40.55
0.219	5.56	-	-					29.31	43.63	620	44	720	51
0.250	6.35	-	20					33.38	49.71	710	50	820	58
0.281	7.14	-	-					37.42	55.75	790	56	930	65
0.312	7.92	-	-					41.45	61.69	880	62	1030	72
0.330	8.38	-	30					43.77	65.18	930	65	1090	77
0.344	8.74	-	-					45.58	67.90	970	68	1130	79
0.375	9.52	STD	-					49.52	73.78	1060	75	1240	87
0.406	10.31	-	40					53.52	79.70	1150	81	1340	94
0.438	11.13	-	-					57.59	85.82	1240	87	1440	101
0.500	12.70	XS	-					65.42	97.43	1410	99	1650	116
0.562	14.27	-	60					73.15	108.92	1590	112	1850	130
0.688	17.28	-	80					88.63	132.04	1940	136	2270	160
0.844	21.44	-	100					107.32	159.86	2390	168	2780	195
1.000	25.40	XXS	120					125.49	186.91	2800	197	2800	197
1.125	28.57	-	140					139.68	208.00	2800	197	2800	197
1.312	33.32	-	160	160.27	238.68	2800	197	2800	197				

Fuente: www.vemacero.com