



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Físicas

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos

**Dimensionamiento hidráulico para la ampliación del
gasoducto Ayacucho de acuerdo a la demanda de gas
natural de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y
Junín**

MONOGRAFÍA TÉCNICA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

Raúl Angel CAYO CHAMANA

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

Cayo, R. (2022). *Dimensionamiento hidráulico para la ampliación del gasoducto Ayacucho de acuerdo a la demanda de gas natural de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín*. [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 | Raúl Angel Cayo Chamana |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número de documento de identidad | 71495673 |
| URL de ORCID | https://orcid.org/0000-0002-9066-8877 |
| Datos de asesor | |
| Nombres y apellidos | Sin Asesor |
| Tipo de documento de identidad | - |
| Número de documento de identidad | - |
| URL de ORCID | - |
| 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 | HENRY MANUEL PALA REYES |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 15860791 |
| Miembro del jurado 2 | |
| Nombres y apellidos | ELISEO PAEZ APOLINARIO |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 19948335 |
| Miembro del jurado 3 | |
| Nombres y apellidos | |
| Tipo de documento | DNI |

| | |
|--|--|
| Número de documento de identidad | |
| Datos de investigación | |
| Línea de investigación | A.2.5.1. Energética |
| Grupo de investigación | |
| Agencia de financiamiento | PROPIA |
| Ubicación geográfica de la investigación | País: Perú Departamentos: Ayacucho, Huancavelica y Junín |
| 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#2.03.01 |



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 11:19 a.m. del día sábado 5 de noviembre 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 Mg. Ing. HENRY MANUEL PALA REYES y el Mg. Ing. ELISEO PAEZ APOLINARIO, 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:

RAÚL ANGEL CAYO CHAMANA

El Presidente del Jurado Examinador dio lectura del Resumen del Expediente, e invitó al Bachiller RAÚL ANGEL CAYO CHAMANA, a realizar la Exposición del trabajo de la Monografía Técnica titulada “DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO PARA LA AMPLIACIÓN DEL GASODUCTO AYACUCHO DE ACUERDO A LA DEMANDA DE GAS NATURAL DE LAS REGIONES DE AYACUCHO, HUANCVELICA Y JUNÍN”.

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:

DIECISEIS (16)

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 RAÚL ANGEL CAYO CHAMANA Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las 12:00 horas del mismo día, se levantó la sesión.


Dr. Ing. EUSEBIO MELCHOR VEGA BUEZA
PRESIDENTE DEL JURADO


Mg. Ing. HENRY MANUEL PALA REYES
MIEMBRO DEL JURADO


Mg. Ing. ELISEO PAEZ APOLINARIO
MIEMBRO DEL JURADO



UNMSM

Firmado digitalmente por LOZANO
BARTRA Whualkuer Enrique FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 11.11.2022 15:14:30 -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/83054274444?pwd=T1NBdWhrZTZ2ckI3SmNRZmpHczEyZz09>

ID de reunión: 830 5427 4444

Código de acceso: 888183

Grabación archivada en el siguiente enlace:

Ciudad Universitaria, Pabellón de Ciencias Físicas, Ca. Germán Amézaga N° 375. Lima, 1
Teléfono: 619-7000 anexo 3806 E-mail: epimf.fcf@unmsm.edu.pe

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)
"DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO PARA LA AMPLIACIÓN DEL GASODUCTO AYACUCHO DE ACUERDO A LA DEMANDA DEL GAS NATURAL DE LAS REGIONES DE AYACUCHO, HUANCVELICA Y JUNÍN"
7. Autor del documento (2)
RAÚL ANGEL CAYO CHAMANA
8. Fecha de recepción del documento 10/10/22
9. Fecha de aplicación del programa informático de similitudes 11/10/22
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 15 /11 /22



UNMSM

Firmado digitalmente por SARANGO
JULCA Douglas Donal FAU
20148092262 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 15.11.2022 22:55:18 -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

Dedico el presente trabajo a mis padres Isabel Nona Chamana Chipana y Angel Cayo Huamaní, así como a mi hijo Emir Sebastián Cayo Villanueva por ser ellos mi motivo de seguir creciendo profesionalmente y ser mi apoyo emocional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi entorno laboral y a mi alma mater Universidad Nacional Mayor de San Marcos por formarme en mi vida profesional.

RESUMEN

El presente trabajo trata sobre el dimensionamiento hidráulico de una posible infraestructura de transporte de gas natural que parta desde la ciudad de Ayacucho, pase por la región de Huancavelica y culmine en la ciudad de Oroya de la región de Junín, con la finalidad de atender la demanda de consumo del gas natural creciente de las mencionadas regiones y así llegar hacia los futuros mercados de consumo del país.

Para ello se estudió las diferentes variables que permitan el correcto diseño del gasoducto, como es la demanda de consumo que puede presentar las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín, la presión de salida del inicio de la ampliación del gasoducto y el trazo del gasoducto con las mejores facilidades del terreno.

Con dichas variables, se dimensionó el gasoducto en función del diámetro, procediéndose a realizar los cálculos hidráulicos como capacidad de transporte, velocidad del gas y presión de llegada al final del gasoducto. Conocido estos cálculos técnicos se pudo definir el mejor dimensionamiento hidráulico del gasoducto para atender la proyección de la demanda de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín.

Finalmente, los resultados obtenidos permiten contribuir con la política energética que viene impulsando el Estado respecto al desarrollo de infraestructura de gas natural a nivel nacional para su masificación.

ABSTRACT

The present work deals with the hydraulic dimensioning of a possible natural gas transportation infrastructure that starts from the city of Ayacucho, passes through the Huancavelica region and ends in the city of Oroya in the Junín region, with the purpose of attending the growing demand for natural gas consumption in the aforementioned regions and thus reach the country's future consumer markets.

For this, the different variables that allow the correct design of the gas pipeline were studied, such as the consumption demand that the regions of Ayacucho, Huancavelica and Junín may present, the outlet pressure at the beginning of the expansion of the gas pipeline and the layout of the gas pipeline with the best facilities on the ground.

With these variables, the gas pipeline was sized according to its diameter, proceeding to carry out hydraulic calculations such as transport capacity, gas velocity and arrival pressure at the end of the gas pipeline. Knowing these technical calculations, it was possible to define the best hydraulic sizing of the gas pipeline to meet the demand projection of the Ayacucho, Huancavelica and Junín regions.

Finally, the results obtained allow us to contribute to the energy policy that the State has been promoting regarding the development of natural gas infrastructure at the national level for its mass use.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| DEDICATORIA | i |
| AGRADECIMIENTO | ii |
| RESUMEN | iii |
| ABSTRACT | iv |
| ÍNDICE GENERAL | v |
| LISTA DE FIGURAS | vii |
| LISTA DE TABLAS | viii |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Motivación..... | 1 |
| 1.2 Justificación..... | 1 |
| 1.3 Descripción del Problema de Investigación..... | 2 |
| 1.3.1 Problema General..... | 2 |
| 1.3.2 Problemas Específicos..... | 3 |
| 1.4 Objetivos del Estudio..... | 4 |
| 1.4.1 Objetivo General..... | 4 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos..... | 4 |
| 1.5 Antecedentes Investigativos..... | 4 |
| 1.5.1 Antecedentes nacionales..... | 4 |
| 1.5.2 Antecedentes internacionales..... | 5 |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO | 5 |
| 2.1 Marco Teórico..... | 5 |
| 2.1.1 Propiedades de los Gases..... | 5 |
| 2.1.2 Volumen..... | 6 |
| 2.1.3 Densidad, peso específico y volumen específico..... | 6 |
| 2.1.4 Gravedad específica..... | 7 |
| 2.1.5 Viscosidad..... | 7 |
| 2.1.6 Gases Ideales..... | 12 |
| 2.1.7 Gases Reales..... | 12 |
| 2.1.8 Factor de Compresibilidad..... | 15 |
| 2.1.9 Ecuaciones para el diseño de Gasoductos..... | 16 |
| Ecuación de Weymouth..... | 16 |
| Ecuación de Panhandle..... | 17 |
| Ecuación del Instituto de Tecnología del gas (IGT)..... | 18 |

| | |
|---|----|
| Ecuación de Flujo General con Colebrook-White | 18 |
| Comparación de las ecuaciones de Flujo | 20 |
| 2.1.10 Efecto de las elevaciones en gasoductos..... | 22 |
| 2.1.11 Presión de segmento de tubería media..... | 24 |
| 2.1.12 Velocidad del Gas en una Tubería | 24 |
| 2.1.13 Número de flujo de Reynolds | 26 |
| 2.1.14 Factor de Fricción | 27 |
| 2.1.15 Ecuación de Colebrook - White..... | 29 |
| 2.1.16 Factor de Transmisión | 29 |
| CAPÍTULO III. METODOLOGÍA Y DESARROLLO..... | 30 |
| 3.1 Determinación del trazo del Gasoducto..... | 31 |
| 3.2 Determinación de la demanda de gas natural en el recorrido del Gasoducto | 35 |
| 3.2.1 Demanda de gas natural del sector Residencial y Comercial..... | 35 |
| 3.2.2 Demanda de gas natural del sector Vehicular | 40 |
| 3.2.3 Demanda del sector Industrial..... | 42 |
| 3.2.4 Demanda de la Generación Eléctrica | 43 |
| 3.2.5 Demanda consolidada de gas natural de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín | 44 |
| 3.3 Selección del Diámetro del Gasoducto y determinación de las propiedades del gas en todos los puntos múltiples..... | 46 |
| 3.3.1 Determinación del Diámetro teórico | 46 |
| 3.3.2 Cálculos Hidráulicos de la ampliación del Gasoducto..... | 53 |
| CAPÍTULO IV. RESULTADOS | 72 |
| 4.1 Resultados esperados..... | 72 |
| CAPÍTULO V. CONCLUSIONES | 73 |
| CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES | 74 |
| CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 75 |
| CAPÍTULO VIII. ANEXOS | 78 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 1 | Ubicación del City Gate Ayacucho | 2 |
| Figura 2 | Variación de viscosidad..... | 11 |
| Figura 3 | Tabla de factores de compresibilidad para gases naturales. (De los proveedores de procesadores de gas Asociación, Ing. Libro de datos, vol. II. Con permiso.)..... | 14 |
| Figura 4 | Flujo constante en gasoducto..... | 19 |
| Figura 5 | Comparación de ecuaciones de Flujo..... | 21 |
| Figura 6 | Presiones aguas arriba para varias ecuaciones de flujo | 21 |
| Figura 7 | Diagrama de Moody | 28 |
| Figura 8 | Ubicación Geográfica del Trazo del Gasoducto..... | 32 |
| Figura 9 | Esquema del trazo enfocado en los puntos donde se entregara el Gas Natural..... | 33 |
| Figura 10 | Esquema asumido para la determinación del Diámetro Teórico | 46 |
| Figura 11 | Sistema Hidráulico del Gasoducto con diámetro Nominal 18" | 62 |
| Figura 12 | Sistema Hidráulico del Gasoducto con diámetro Nominal 16" | 71 |

LISTA DE TABLAS

| | | |
|-----------------|---|----|
| Tabla 1 | Propiedades de los gases de hidrocarburos | 10 |
| Tabla 2 | Viscosidad de gases comunes..... | 11 |
| Tabla 3 | Puntos de trazo del Gasoducto..... | 33 |
| Tabla 4 | Hogares potenciales dela región Ayacucho | 36 |
| Tabla 5 | Hogares potenciales dela región Huancavelica | 37 |
| Tabla 6 | Hogares potenciales dela región Junín..... | 37 |
| Tabla 7 | Demanda potencial del sector residencial de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín | 38 |
| Tabla 8 | Número de Comercios y demanda potencial del sector comercial de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín..... | 39 |
| Tabla 9 | Número de potencial de vehículos a convertir en las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín | 40 |
| Tabla 10 | Demanda de gas natural del sector vehicular en las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín | 41 |
| Tabla 11 | Demanda de gas natural del sector Industrial de la región de Junín | 42 |
| Tabla 12 | Parámetros de la Generación Eléctrica en la región de Junín | 43 |
| Tabla 13 | Demanda de gas natural de la Generación Eléctrica de la región de Junín . | 44 |
| Tabla 14 | Demanda consolidada de gas natural de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín | 45 |
| Tabla 15 | Demanda consolidada de gas natural separada de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín al año 2043 | 45 |
| Tabla 16 | Parámetros iniciales de presión y temperatura | 47 |
| Tabla 17 | Parámetros finales de presión y temperatura | 47 |
| Tabla 18 | Caudal de diseño | 47 |
| Tabla 19 | Parámetros de la gravedad especifica del gas natural | 48 |
| Tabla 20 | Parámetro del factor de compresibilidad..... | 49 |
| Tabla 21 | Parámetros iniciales para terminar la longitud equivalente | 49 |
| Tabla 22 | Dato de la longitud equivalente..... | 50 |
| Tabla 23 | Parámetros de la temperatura y presión base | 50 |
| Tabla 24 | Parámetros de la viscosidad del gas natural..... | 50 |
| Tabla 25 | Parámetros de la rugosidad | 50 |
| Tabla 26 | Parámetros supuestos para determinar el diámetro teórico..... | 51 |
| Tabla 27 | Iteración para hallar el factor de fricción | 52 |
| Tabla 28 | Parámetros del Diámetro Comercial de 16” | 53 |
| Tabla 29 | Parámetros del Diámetro Comercial de 18” | 53 |
| Tabla 30 | Cálculo Hidráulico del Gasoducto de diámetro Nominal de 18” | 54 |
| Tabla 31 | Cálculo Hidráulico del Gasoducto de diámetro Nominal 16” | 63 |

CAPÍTULO I.INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

En el Perú se está presentando una política energética que incentiva el uso masivo del gas natural a nivel nacional en diferentes sectores económicos, tales como el sector residencial, comercial, industrial, vehicular y generación eléctrica.

Asimismo, el Ministerio de Energía y Minas promueve proyectos de inversión y establece normativas que permitan fructificar el mercado del gas natural, debido a las ventajas que este tiene frente a los combustibles derivados del petróleo, por ser menos contaminante, de menor costo y considerándose que dentro del país se cuenta con reservas muy importantes en los yacimientos de Camisea (Cusco).

En ese contexto, la motivación del presente trabajo consiste en desarrollar el dimensionamiento hidráulico para el desarrollo inicial de una posible ampliación de infraestructura de transporte de gas natural que parta desde la ciudad de Ayacucho, pase por la región de Huancavelica y culmine en la ciudad de Oroya de la región de Junín con la finalidad de atender la demanda de consumo del gas natural creciente de las mencionadas regiones y así llegar hacia los futuros mercados de consumo del país.

1.2 Justificación

El desarrollo que comprende este estudio se enfocara en el dimensionamiento hidráulico para la ampliación del gasoducto Ayacucho de acuerdo a la demanda de gas natural de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín, permitiendo así que el presente trabajo pueda ser tomado como referencia para un futuro proyecto de ampliación de infraestructura de transporte de gas natural y así contribuir con la política energética que viene impulsando el Estado respecto al desarrollo de infraestructura de gas natural a nivel nacional.

Asimismo, es preciso indicar que las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín por donde se proyecta el trazo de la ampliación de gasoducto son regiones que demandan el uso del gas natural en sus diferentes sectores de consumo, en ese aspecto conocer el dimensionamiento hidráulico que pueda presentar la posible ampliación de gasoducto Ayacucho permita conocer si

es posible atender la demanda de gas natural que puedan presentar las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín.

Finalmente, se debe considerar la importancia que representa incentivar el desarrollo de infraestructura de gas natural para el avance de proyectos de masificación de gas natural que en la actualidad viene promocionando el Estado del Perú mediante el Ministerio de Energía y Minas.

1.3 Descripción del Problema de Investigación

1.3.1 Problema General

El gasoducto derivación principal Ayacucho comienza en el distrito de Chiara, provincia Huamanga, región Ayacucho, y finaliza en los límites de la ciudad de Ayacucho. En el punto final de dicho gasoducto se encuentra un City Gate tal como se puede apreciar en la figura 1; dicho gasoducto consta de una longitud de 18.33 km aproximadamente y de un diámetro de 14” pulgadas (ver Anexo B).

Figura 1

Ubicación del City Gate Ayacucho



Nota 1. Fuente: Google Earth (2020) – Elaboración Propia

Nota 2. La ubicación del lugar se encuentra en el siguiente link:

<https://www.google.com/maps/@-13.1843262,-74.1821138,233m/data=!3m1!1e3>

En tal sentido, un problema identificado es que el gasoducto derivación principal Ayacucho de la empresa Transportadora de Gas del Perú S.A., no viene siendo utilizado desde la terminación de su construcción en el año 2016.

Asimismo, el Estado tiene la prioridad de promover proyectos para la masificación de gas natural en las regiones de Ayacucho, Junín y Huancavelica tal como ya se comprometió en el Anexo I del Programa Anual de Promociones 2022, (Ministerio de Energía y Minas, 2022).

Por ello, la presente monografía técnica hallara el dimensionamiento hidráulico para la ampliación del gasoducto Ayacucho que parta desde la ciudad de Ayacucho, pase por la región de Huancavelica y culmine en la ciudad de la Oroya de la región de Junín con el fin de atender las necesidades de consumo de gas natural que se vienen demandando en las mencionadas regiones y así llegar hacia los futuros mercados de consumo del país.

En tal sentido, el problema principal de la investigación es:

¿Cuál es el dimensionamiento hidráulico para la ampliación de un gasoducto que parta desde la ciudad de Ayacucho, pase por la región de Huancavelica y culmine en la ciudad de la Oroya de la región de Junín con la mejor condición que permita atender la demanda de gas natural de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín?

1.3.2 Problemas Específicos

- ¿Cuál es el trazo indicado de la ampliación del gasoducto que pase por las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín?
- ¿Cuál es la demanda proyectada de gas natural de los diferentes sectores de consumo que presenta las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín?
- ¿Cuáles son las especificaciones técnicas de la ampliación del gasoducto que permita atender la demanda de gas natural de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín?
- ¿Cuáles son los variables hidráulicas de la ampliación del gasoducto?

1.4 Objetivos del Estudio

1.4.1 Objetivo General

Determinar el dimensionamiento hidráulico para la ampliación de un gasoducto que parta desde la ciudad de Ayacucho, pase por la región de Huancavelica y culmine en la ciudad de la Oroya de la región de Junín con la mejor condición que permita atender la demanda de gas natural de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín

1.4.2 Objetivos Específicos

- Proponer el trazo indicado de la ampliación del gasoducto que pase por las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín
- Determinar la demanda proyectada de gas natural de los diferentes sectores de consumo que presenta las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín
- Seleccionar las especificaciones técnicas de la ampliación del gasoducto que permita atender la demanda de gas natural de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín
- Determinar las variables hidráulicas de la ampliación del gasoducto que pase por las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín

1.5 Antecedentes Investigativos

1.5.1 Antecedentes nacionales

(Energy Sector Management Assistance Program, 2006). “Extensión de Ramales de Gas Natural al Interior del Perú”.

El objetivo fue ofrecer consideraciones sobre la estrategia y la estructuración de las futuras concesiones que brinden el servicio de provisión del gas natural en las regiones de Ayacucho, Junín, Ica y Cusco con la extensión de ramales de gas natural. El resultado fue una estimación de proyecciones en diferentes sectores de consumo de gas natural hasta el año 2025, ingeniería básica y estimaciones económicas (tarifas, ingresos, costos de implementación, costos en operación y mantenimiento, VAN) en el desarrollo de gasoductos en el interior del Perú.

(Sánchez, 2014). “Gasoducto Perú Centro”

El objetivo fue proponer una línea de abastecimiento de gas natural a la zona centro del Perú mediante gasoductos, que tendría como punto de origen el yacimiento de gas natural de Camisea – Cusco con dos puntos intermedios de entrega que son las provincias de Junín y Pasco. El resultado fue la determinación de la sensibilidad económica que permita desarrollar la línea de abastecimiento de gas natural en la zona centro de nuestro país.

1.5.2 Antecedentes internacionales

(R. Lopez, 2015) “Redes de Transporte de Gas Natural - Optimización de la logística de abastecimiento (2014-2030)”

El objetivo fue proponer un rediseño de las redes que transportan el gas natural en el país de Argentina 2014-2030 y definir un modelo que permita evaluar la necesidad de ampliaciones de dichas redes. El resultado de acuerdo a la proyección de la oferta y la demanda identificada, es que los gasoductos de Argentina al momento del estudio se encuentran saturados para lo cual concluyó que se requieren ampliaciones y construcciones de nuevos gasoductos que reciban gradualmente la oferta de gas natural futura.

CAPÍTULO II.MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Teórico

Representa las indagaciones, concepciones, destrezas aplicadas, las cuales se usaran de insumo para la presente monografía técnica, además cuenta con la explicación de las bases teóricas.

Para ello se requirió a información como Google Académico y libros que se enfocan en la mecánica de fluidos las cuales se irán mencionando en las referencias de cada contenido.

2.1.1 Propiedades de los Gases

Según (Menon, 2005). Las propiedades de los gases, como densidad, viscosidad y compresibilidad pueden cambiar con la temperatura y la presión.

En ese aspecto, es importante tener en cuenta que conocer las propiedades de los gases es un primer paso importante hacia el análisis de un gasoducto en la parte hidráulica.

2.1.2 Volumen

Según (Menon, 2005). El volumen de un gas, es el espacio que ocupa una determinada masa de gas a una determinada temperatura y presión.

2.1.3 Densidad, peso específico y volumen específico

Según (Menon, 2005). La densidad representa la cantidad de gas como masa que se puede empaquetar en un volumen dado.

Por lo tanto, la densidad queda expresado de la siguiente manera:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Dónde:

ρ = Densidad del gas

m = Masa del gas

V = Volumen del gas

Según (Menon, 2005). La densidad se expresa en slug/ft³ o libras/pies³ en unidades USCS y kg/m³ en unidades SI. Un término completamente llamado peso específico también se utiliza cuando se hace referencia a la densidad de gas. El peso específico, es representado por el símbolo γ , este viene a ser el peso del gas por unidad de volumen medido en lb/ft en unidades USCS y, por lo tanto, se contrasta con la densidad que se mide en slug/ft³. En unidades del SI, el peso específico se expresa en Newton/m³.

Según (Menon, 2005). El recíproco del peso específico se conoce como volumen específico. Por definición, el volumen específico representa el volumen ocupado por unidad de peso de gas, se mide en pies³/lb en unidades del USCS y m³/N en unidades del SI.

2.1.4 Gravedad específica

Según (Menon, 2005). La Gravedad específica de un gas, a veces llamado gravedad, es una medición de cuán pesado es el gas en colación con el aire a una temperatura determinada. Podría llamarse densidad relativa, expresado como la relación entre la densidad del gas y la densidad del aire. Por lo tanto, la gravedad específica es una relación, lo que lo convierte en una cantidad adimensional.

$$G = \frac{\rho_{Gas}}{\rho_{aire}} \quad (2)$$

Dónde:

G = Gravedad específica, adimensional

ρ_{Gas} = Densidad del gas

ρ_{aire} = Densidad del aire

La tabla 1 enumera los pesos moleculares y otras propiedades de varios gases de hidrocarburos.

2.1.5 Viscosidad

Según (Menon, 2005). La viscosidad de un fluido representa su resistencia a fluir. Cuanto mayor sea la viscosidad, le es más difícil fluir.

Según (Menon, 2005). La viscosidad tiene un rol importante en la determinación del tipo de flujo que se tengan en las tuberías. El número de Reynolds es un parámetro adimensional que utiliza para clasificar el tipo de fluido en tuberías. De la viscosidad del gas dependen, el caudal, el diámetro de la tubería, temperatura y la presión.

Según (Menon, 2005). Otro término relacionado es la viscosidad cinemática, esta es simplemente la viscosidad absoluta dividida por la densidad. Las dos viscosidades se relacionan de la siguiente manera:

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (3)$$

Dónde, en unidades USCS:

v = viscosidad cinemática, ft²/s

μ = viscosidad dinámica, lb/ft-s

ρ = densidad, lb/ft³

y, en unidades del SI:

v = viscosidad cinemática, St

μ = viscosidad dinámica, P

ρ = densidad, kg/m³

Según (Menon, 2005). La viscosidad de un gas se encuentra en función de su presión y temperatura. A diferencia de los líquidos, la viscosidad de un gas aumenta con el incremento de la temperatura. En tal sentido, a medida que aumenta la temperatura del gas, la cantidad de gas que fluye a través una tubería disminuye; por lo tanto, es posible un mayor rendimiento en un gasoducto que trabajen a menores temperaturas.

Según (Menon, 2005). Cabe señalar que, en discrepancia con los líquidos, la presión si afecta la viscosidad de un gas. La figura 2 muestra el cambio de la viscosidad del gas con variaciones en su temperatura. La tabla 2 enumera las viscosidades de los gases comunes.

Según (Menon, 2005). Dado que el gas natural es una mezcla de gases puros como el metano y el etano, la fórmula siguiente se utiliza para calcular la viscosidad a partir de las viscosidades de los gases componentes:

$$\mu = \frac{\sum(\mu_i y_i \sqrt{M_i})}{\sum(y_i \sqrt{M_i})} \quad (4)$$

Dónde:

μ = viscosidad dinámica de la mezcla de gases

μ_i = viscosidad dinámica del componente gaseoso i

y_i = fracción molar o porcentaje del componente gaseoso i

M_i = peso molecular del componente gaseoso i

Tabla 1

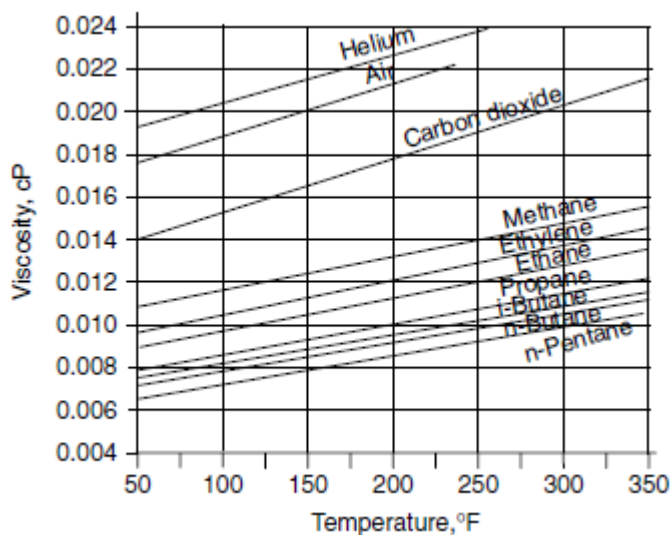
Propiedades de los gases de hidrocarburos

| Gas | Formula | Molecular Weight | Vapor Pressure psia at 100°F | Critical Constants | | | Ideal Gas 14.696 psia, 60°F | | Specific Heat, Btu/lb°F 14.696 psia, 60°F Ideal Gas |
|---------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------|---|
| | | | | Pressure psia | Temperature °F | Volume ft ³ /lb | Spgr (air=1.00) | ft ³ /lb-gas | |
| Methane | CH ₄ | 16.0430 | 5000 | 666.0 | -116.66 | 0.0988 | 0.5539 | 23.654 | 0.52676 |
| Ethane | C ₂ H ₆ | 30.0700 | 800 | 707.0 | 90.07 | 0.0783 | 1.0382 | 12.620 | 0.40789 |
| Propane | C ₃ H ₈ | 44.0970 | 188.65 | 617.0 | 205.93 | 0.0727 | 1.5226 | 8.6059 | 0.38847 |
| Isobutane | C ₄ H ₁₀ | 58.1230 | 72.581 | 527.9 | 274.4 | 0.0714 | 2.0068 | 6.5291 | 0.38669 |
| n-butane | C ₄ H ₁₀ | 58.1230 | 51.706 | 548.8 | 305.52 | 0.0703 | 2.0068 | 6.5291 | 0.39500 |
| Iso-pentane | C ₅ H ₁₂ | 72.1500 | 20.443 | 490.4 | 368.96 | 0.0684 | 2.4912 | 5.2596 | 0.38448 |
| n-pentane | C ₅ H ₁₂ | 72.1500 | 15.575 | 488.1 | 385.7 | 0.0695 | 2.4912 | 5.2596 | 0.38831 |
| Neo-pentane | C ₅ H ₁₂ | 72.1500 | 36.72 | 464.0 | 321.01 | 0.0673 | 2.4912 | 5.2596 | 0.39038 |
| n-hexane | C ₆ H ₁₄ | 86.1770 | 4.9596 | 436.9 | 453.8 | 0.0688 | 2.9755 | 4.4035 | 0.38631 |
| 2-methyl pentane | C ₆ H ₁₄ | 86.1770 | 6.769 | 436.6 | 435.76 | 0.0682 | 2.9755 | 4.4035 | 0.38526 |
| 3-methyl pentane | C ₆ H ₁₄ | 86.1770 | 6.103 | 452.5 | 448.2 | 0.0682 | 2.9755 | 4.4035 | 0.37902 |
| Neo hexane | C ₆ H ₁₄ | 86.1770 | 9.859 | 446.7 | 419.92 | 0.0667 | 2.9755 | 4.4035 | 0.38231 |
| 2,3-dimethylbutane | C ₆ H ₁₄ | 86.1770 | 7.406 | 454.0 | 440.08 | 0.0665 | 2.9755 | 4.4035 | 0.37762 |
| n-Heptane | C ₇ H ₁₆ | 100.2040 | 1.621 | 396.8 | 512.8 | 0.0682 | 3.4598 | 3.7872 | 0.38449 |
| 2-Methylhexane | C ₇ H ₁₆ | 100.2040 | 2.273 | 396.0 | 494.44 | 0.0673 | 3.4598 | 3.7872 | 0.38170 |
| 3-Methylhexane | C ₇ H ₁₆ | 100.2040 | 2.13 | 407.6 | 503.62 | 0.0646 | 3.4598 | 3.7872 | 0.37882 |
| 3-Ethylpentane | C ₇ H ₁₆ | 100.2040 | 2.012 | 419.2 | 513.16 | 0.0665 | 3.4598 | 3.7872 | 0.38646 |
| 2,2-Dimethylpentane | C ₇ H ₁₆ | 100.2040 | 3.494 | 401.8 | 476.98 | 0.0665 | 3.4598 | 3.7872 | 0.38651 |
| 2,4-Dimethylpentane | C ₇ H ₁₆ | 100.2040 | 3.294 | 397.4 | 475.72 | 0.0667 | 3.4598 | 3.7872 | 0.39627 |
| 3,3-Dimethylpentane | C ₇ H ₁₆ | 100.2040 | 2.775 | 427.9 | 505.6 | 0.0662 | 3.4598 | 3.7872 | 0.38306 |
| Triptane | C ₇ H ₁₆ | 100.2040 | 3.376 | 427.9 | 496.24 | 0.0636 | 3.4598 | 3.7872 | 0.37724 |
| n-octane | C ₈ H ₁₈ | 114.2310 | 0.5371 | 360.7 | 564.15 | 0.0673 | 3.9441 | 3.322 | 0.38334 |
| Di Isobutyl | C ₈ H ₁₈ | 114.2310 | 1.1020 | 361.1 | 530.26 | 0.0676 | 3.9441 | 3.322 | 0.37571 |
| Isooctane | C ₈ H ₁₈ | 114.2310 | 1.7090 | 372.7 | 519.28 | 0.0657 | 3.9441 | 3.322 | 0.38222 |
| n-Nonane | C ₉ H ₂₀ | 128.2580 | 0.17155 | 330.7 | 610.72 | 0.0693 | 4.4284 | 2.9588 | 0.38248 |
| n-Decane | C ₁₀ H ₂₂ | 142.2850 | 0.06088 | 304.6 | 652.1 | 0.0702 | 4.9127 | 2.6671 | 0.38181 |
| Cyclopentane | C ₅ H ₁₀ | 70.1340 | 9.917 | 653.8 | 461.1 | 0.0594 | 2.4215 | 5.411 | 0.27122 |
| Methylcyclopentane | C ₆ H ₁₂ | 84.1610 | 4.491 | 548.8 | 499.28 | 0.0607 | 2.9059 | 4.509 | 0.30027 |
| Cyclohexane | C ₆ H ₁₂ | 84.1610 | 3.267 | 590.7 | 536.6 | 0.0586 | 2.9059 | 4.509 | 0.29012 |
| Methylcyclohexane | C ₇ H ₁₄ | 98.1880 | 1.609 | 503.4 | 570.2 | 0.0600 | 3.3902 | 3.8649 | 0.31902 |
| Ethylene | C ₂ H ₄ | 28.0540 | 1400 | 731.0 | 48.54 | 0.0746 | 0.9686 | 13.527 | 0.35789 |
| Propylene | C ₃ H ₆ | 42.0810 | 232.8 | 676.6 | 198.31 | 0.0717 | 1.4529 | 9.0179 | 0.35683 |
| Butylene | C ₄ H ₈ | 56.1080 | 62.55 | 586.4 | 296.18 | 0.0683 | 1.9373 | 6.7636 | 0.35535 |
| Cis-2-butene | C ₄ H ₈ | 56.1080 | 45.97 | 615.4 | 324.31 | 0.0667 | 1.9373 | 6.7636 | 0.33275 |
| Trans-2-butene | C ₄ H ₈ | 56.1080 | 49.88 | 574.9 | 311.8 | 0.0679 | 1.9373 | 6.7636 | 0.35574 |
| Isobutene | C ₄ H ₈ | 56.1080 | 64.95 | 580.2 | 292.49 | 0.0681 | 1.9373 | 6.7636 | 0.36636 |
| 1-Pentene | C ₅ H ₁₀ | 70.1340 | 19.12 | 509.5 | 376.86 | 0.0674 | 2.4215 | 5.411 | 0.35944 |
| 1,2-Butadiene | C ₄ H ₆ | 54.0920 | 36.53 | 656.0 | 354 | 0.0700 | 1.8677 | 7.0156 | 0.34347 |
| 1,3-Butadiene | C ₄ H ₆ | 54.0920 | 59.46 | 620.3 | 306 | 0.0653 | 1.8677 | 7.0156 | 0.34223 |
| Isoprene | C ₅ H ₈ | 68.1190 | 16.68 | 582.0 | 403 | 0.0660 | 2.3520 | 5.571 | 0.35072 |
| Acetylene | C ₂ H ₂ | 26.0380 | | 890.4 | 95.29 | 0.0693 | 0.8990 | 14.574 | 0.39754 |
| Benzene | C ₆ H ₆ | 78.1140 | 3.225 | 710.4 | 552.15 | 0.0531 | 2.6971 | 4.8581 | 0.24295 |
| Toluene | C ₇ H ₈ | 92.1410 | 1.033 | 595.5 | 605.5 | 0.0549 | 3.1814 | 4.1184 | 0.26005 |
| Ethyl-benzene | C ₈ H ₁₀ | 106.1670 | 0.3716 | 523 | 651.22 | 0.0564 | 3.6657 | 3.5744 | 0.27768 |
| o-Xylene | C ₈ H ₁₀ | 106.1670 | 0.2643 | 541.6 | 674.85 | 0.0557 | 3.6657 | 3.5744 | 0.28964 |
| m-Xylene | C ₈ H ₁₀ | 106.1670 | 0.3265 | 512.9 | 650.95 | 0.0567 | 3.6657 | 3.5744 | 0.27427 |
| p-Xylene | C ₈ H ₁₀ | 106.1670 | 0.3424 | 509.2 | 649.47 | 0.0572 | 3.6657 | 3.5744 | 0.27470 |
| Styrene | C ₈ H ₈ | 104.1520 | 0.2582 | 587.8 | 703 | 0.0534 | 3.5961 | 3.6435 | 0.26682 |
| Isopropylbenzene | C ₉ H ₁₂ | 120.1940 | 0.188 | 465.4 | 676.2 | 0.0569 | 4.1500 | 3.1573 | 0.30704 |
| Methyl alcohol | CH ₃ O | 32.0420 | 4.631 | 1174 | 463.01 | 0.0590 | 1.1063 | 11.843 | 0.32429 |
| Ethyl alcohol | C ₂ H ₆ O | 46.0690 | 2.313 | 891.7 | 465.31 | 0.0581 | 1.5906 | 8.2372 | 0.33074 |
| Carbon monoxide | CO | 28.0100 | | 506.8 | -220.51 | 0.0527 | 0.9671 | 13.548 | 0.24847 |
| Carbon dioxide | CO ₂ | 44.0100 | | 1071 | 87.73 | 0.0342 | 1.5196 | 8.6229 | 0.19909 |
| Hydrogen sulfide | H ₂ S | 34.0820 | 394.59 | 1306 | 212.4 | 0.0461 | 1.1768 | 11.134 | 0.23838 |
| Sulfur dioxide | SO ₂ | 64.0650 | 85.46 | 1143 | 315.7 | 0.0305 | 2.2120 | 5.9235 | 0.14802 |
| Ammonia | NH ₃ | 17.0305 | 211.9 | 1647 | 270.2 | 0.0681 | 0.5880 | 22.283 | 0.49678 |
| Air | N ₂ +O ₂ | 28.9625 | | 546.9 | -221.29 | 0.0517 | 1.0000 | 13.103 | 0.2398 |
| Hydrogen | H ₂ | 2.0159 | | 187.5 | -400.3 | 0.5101 | 0.06960 | 188.25 | 3.4066 |
| Oxygen | O ₂ | 31.9988 | | 731.4 | -181.4 | 0.0367 | 1.1048 | 11.859 | 0.21897 |
| Nitrogen | N ₂ | 28.0134 | | 493 | -232.48 | 0.0510 | 0.9672 | 13.546 | 0.24833 |
| Chlorine | Cl ₂ | 70.9054 | 157.3 | 1157 | 290.69 | 0.0280 | 2.4482 | 5.3519 | 0.11375 |
| Water | H ₂ O | 18.0153 | 0.95 | 3200.1 | 705.1 | 0.04975 | 0.62202 | 21.065 | 0.44469 |
| Helium | He | 4.0026 | | 32.99 | -450.31 | 0.2300 | 0.1382 | 94.814 | 1.24040 |
| Hydrogen chloride | HCl | 36.4606 | 906.71 | 1205 | 124.75 | 0.0356 | 1.2589 | 10.408 | 0.19086 |

Nota. Fue recopilado de la fuente Menon, E. S. (2005), Gas pipeline hydraulics, In Taylor & Francis Group (<https://doi.org/10.1201/9781420038224>)

Figura 2

Variación de viscosidad



Nota. Fue recopilado de la fuente Menon, E. S. (2005), Gas pipeline hydraulics, In Taylor & Francis (Group <https://doi.org/10.1201/9781420038224>)

Tabla 2

Viscosidad de gases comunes

| Gas | Viscosity (cP) |
|-------------------|----------------|
| Methane | 0.0107 |
| Ethane | 0.0089 |
| Propane | 0.0075 |
| i-Butane | 0.0071 |
| n-Butane | 0.0073 |
| i-Pentane | 0.0066 |
| n-Pentane | 0.0066 |
| Hexane | 0.0063 |
| Heptane | 0.0059 |
| Octane | 0.0050 |
| Nonane | 0.0048 |
| Decane | 0.0045 |
| Ethylene | 0.0098 |
| Carbon Monoxide | 0.0184 |
| Carbon Dioxide | 0.0147 |
| Hydrogen Sulphide | 0.0122 |
| Air | 0.0178 |
| Nitrogen | 0.0173 |
| Helium | 0.0193 |

Nota. Fue recopilado de la fuente Menon, E. S. (2005), Gas pipeline hydraulics, In Taylor & Francis (Group <https://doi.org/10.1201/9781420038224>)

2.1.6 Gases Ideales

Según (Menon, 2005). Si M simboliza el peso molecular de un gas y la masa de cierta suma de gas es m , el número de moles viene representado por:

$$n = \frac{m}{M} \quad (5)$$

Donde n representa el número de moles en una determinada masa. La ley de gases ideales a veces denominada ecuación de los gases perfectos, estrictamente establece que la presión, el volumen y la temperatura del gas están relacionados con el número de moles de acuerdo a la siguiente ecuación en USCS:

$$PV = nRT \quad (6)$$

Donde:

P = Presión absoluta del gas, psia

V = volumen del gas, ft³

n = numero de lb moles como se define en la ecuación 5

R = constante universal de los gases, psia ft³/ lb mole °R

T = temperatura absoluta del gas, °R (°F+460)

2.1.7 Gases Reales

Según (Menon, 2005). En el caso de gases reales, se puede aplicar la ecuación del gas ideal mencionada en el presente trabajo y conseguir resultados sensatamente precisos, esto solo se da cuando las presiones se encuentran cercana a la presión atmosférica. En el caso de que las presiones sean más altas, la aplicación de la ecuación del gas ideal no dará resultados adecuados para la mayoría de los gases reales. Los resultados que se obtengan al aplicar la ecuación de los gases ideales a altas presiones pueden llegar a errores de hasta el 500% en algunos casos. Esto en comparación con los errores del 2 a 3% a por la aplicación de la formula a presiones menores.

Según (Menon, 2005). Es necesario definir dos parámetros nombrados presión crítica y temperatura crítica. La temperatura crítica de un gas puro se conoce como la temperatura máxima donde un gas no se puede comprimir para formar un líquido, independientemente de la presión. La presión crítica se conoce como la presión mínima que se necesita comprimir para llegar a la temperatura crítica de un gas para formar un líquido.

Según (Menon, 2005). Se puede considerar que los gases reales tienen una forma rectificada de la ley de los gases ideales. El factor de modificación se encuentra incluida en la propiedad del gas denominada el factor de compresibilidad Z . A esto también se le conoce como factor de desviación del gas. Este factor es definido como la proporción entre el volumen de gas a una temperatura y presión dada y la del volumen que albergaría el gas si fuera un gas ideal a la misma presión y temperatura. El factor Z es un número adimensional menor que 1.0 que cambia con la composición del gas, presión y temperatura.

Según (Menon, 2005). Usando el componente de compresibilidad denominado Z , la ecuación del gas ideal se modifica para valores reales del gas de la siguiente manera, en unidades USCS:

$$PV = ZnRT \quad (7)$$

Donde:

P = Presión absoluta del gas, psia

V = volumen del gas, ft³

Z = Factor de compresibilidad del gas, adimensional

n = número de lb moles como se define en la ecuación 5

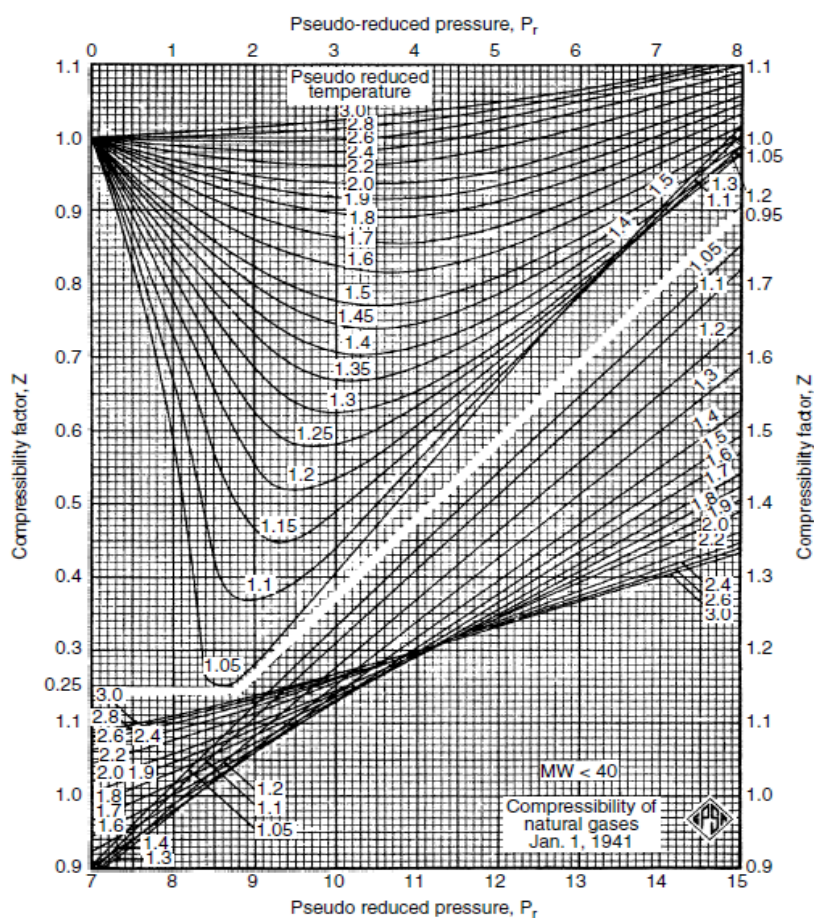
R = constante universal de los gases, psia ft³/ lb mole °R

T = temperatura absoluta del gas, °R (°F+460)

Si la temperatura y la presión son reducidas, entonces sus elementos de desviación del gas (Z) serán iguales. En tal sentido, los gráficos generalizados que exponen la variación de Z por la reducción de la presión y la temperatura se pueden utilizar para un mayor conjunto de gases donde se requieran calcular el factor de compresibilidad. Dicho gráfico se muestra en la figura 3.

Figura 3

Tabla de factores de compresibilidad para gases naturales. (De los proveedores de procesadores de gas Asociación, Ing. Libro de datos, vol. II. Con permiso.)



Nota. Fue recopilado de la fuente Menon, E. S. (2005), Gas pipeline hydraulics, In Taylor & Francis Group (<https://doi.org/10.1201/9781420038224>)

2.1.8 Factor de Compresibilidad

Según (Menon, 2005). El factor de compresibilidad, o factor de desviación del gas, es una medida que te permite conocer qué tan aproximado está un gas real de un gas ideal. El factor de compresibilidad se conoce como la relación entre el volumen de gas a una presión y temperatura dadas y el volumen que habitaría el gas si fuera un gas ideal a la misma presión y temperatura. El factor de compresibilidad es un número adimensional próximo a 1,00 y se encuentra en función de la gravedad del gas, la temperatura del gas, la presión del gas y los parámetros críticos del gas.

Según (Menon, 2005). Se tiene elaborado gráficos que representan la desviación de Z con la presión y la temperatura. Asimismo, se tiene otro término denominado el "factor de supercompresibilidad", F_{pv} , que está relacionado con el factor de compresibilidad Z , y se define de la siguiente manera:

$$F_{pv} = \frac{1}{\sqrt{Z}} \quad (8)$$

$$Z = \frac{1}{F_{pv}^2} \quad (9)$$

Según (Menon, 2005). De acuerdo, con el método de la Asociación de Gas Natural de California (CNGA), existe una ecuación bastante simple para calcular el factor de compresibilidad cuando se conocen la gravedad, la presión y la temperatura del gas. La siguiente ecuación se utiliza para calcular el factor de compresibilidad Z :

$$Z = \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{P_{avg} \cdot 344,400 \cdot 10^{1.785G}}{T_f^{3.825}} \right)} \right) \quad (10)$$

Según (Menon, 2005). Esta fórmula para el factor de compresibilidad es válida cuando la presión media del gas, P_{avg} , es más de 100 psig. Para presiones inferiores a 100 psig, Z es aproximadamente igual a 1,00.

Donde:

P_{avg} = Presión de gas promedio, psig

T_f = Temperatura media del gas, ° R

G = Gravedad del gas, (aire = 1.00)

2.1.9 Ecuaciones para el diseño de Gasoductos

Para el diseño de gasoductos existen diferentes fórmulas a usar, las mismas que se detallan a continuación:

Ecuación de Weymouth

Según (Menon, 2005). La ecuación de Weymouth se usa para alta presión, alta tasa de flujo y grandes sistemas de captación de gas de diámetro. Esta ecuación estima claramente el caudal a través una tubería para valores dados de gravedad del gas, compresibilidad, presiones de ingreso y salida, diámetro y longitud de la tubería. En unidades USCS, la ecuación de Weymouth se establece de la siguiente manera:

$$Q = 433.5E \left(\frac{T_b}{P_b} \right) \left(\frac{P_1^2 - e^s P_2^2}{GT_f L_e Z} \right)^{0.5} D^{2.667} \quad (11)$$

Dónde:

Q = Caudal del gas, medido en condiciones estándar, (SCFD)

E = Eficiencia de gasoducto, un valor decimal menor o igual a 1.0

P_b = Presión base, *psia*

T_b = Temperatura base, $R (460 + ^\circ F)$

P_1 = Presión agua arriba, *psia*

P_2 = Presión aguas abajo, *psia*

G = Gravedad del gas, (*air* = 1.00)

T_f = Temperatura media del flujo del Gas, $R (460 + ^\circ F)$

L_e = Longitud equivalente del segmento de tubería, *millas*

e = Base de logaritmos naturales, ($e = 2.718 \dots$)

Z = Factor de compresibilidad de gas a la temperatura de flujo, *adimensional*

D = Diámetro interior de la tubería, *in*

Ecuación de Panhandle

Según (Menon, 2005). La Ecuación Panhandle fue desarrollada para su uso en gasoductos de gas natural, añadiendo un factor de eficiencia para los números de Reynolds en el rango de 5 a 11 millones. En la ecuación de Panhandle, la rugosidad de la tubería no se utiliza. La forma general del Panhandle se expresa en unidades USCS de la siguiente manera:

$$Q = 435.87E \left(\frac{T_b}{P_b} \right)^{1.0788} \left(\frac{P_1^2 - e^s P_2^2}{G^{0.8539} T_f L_e Z} \right)^{0.5394} D^{2.6182} \quad (12)$$

Dónde:

Q = Caudal del gas, medido en condiciones estándar, (*SCFD*)

E = Eficiencia de gasoducto, un valor decimal menor o igual a 1.0

P_b = Presión base, *psia*

T_b = Temperatura base, $R (460 + ^\circ F)$

P_1 = Presión agua arriba, *psia*

P_2 = Presión aguas abajo, *psia*

G = Gravedad del gas, (*air* = 1.00)

T_f = Temperatura media del flujo del Gas, $R (460 + ^\circ F)$

L_e = Longitud equivalente del segmento de tubería, *millas*

e = Base de logaritmos naturales, ($e = 2.718 \dots$)

Z = Factor de compresibilidad de gas a la temperatura de flujo, *adimensional*

D = Diámetro interior de la tubería, *in*

Ecuación del Instituto de Tecnología del gas (IGT)

Según (Menon, 2005). La ecuación IGT propuesta por el Instituto de Tecnología del Gas también se conoce como Ecuación de distribución IGT y se establece de la siguiente manera para unidades USCS:

$$Q = 136.9E \left(\frac{T_b}{P_b} \right) \left(\frac{P_1^2 - e^s P_2^2}{G^{0.8} T_f L_e \mu^{0.2}} \right)^{0.555} D^{2.667} \quad (13)$$

Dónde:

Q = Caudal del gas, medido en condiciones estándar, (*SCFD*)

E = Eficiencia de gasoducto, un valor decimal menor o igual a 1.0

P_b = Presión base, *psia*

T_b = Temperatura base, *R* ($460 + ^\circ F$)

P_1 = Presión agua arriba, *psia*

P_2 = Presión aguas abajo, *psia*

G = Gravedad del gas, (*air* = 1.00)

T_f = Temperatura media del flujo del Gas, *R* ($460 + ^\circ F$)

L_e = Longitud equivalente del segmento de tubería, *millas*

e = Base de logaritmos naturales, ($e = 2.718 \dots$)

Z = Factor de compresibilidad de gas a la temperatura de flujo, *adimensional*

D = Diámetro interior de la tubería, *in*

μ = Viscosidad del gas, *lb/ft - s*

Ecuación de Flujo General con Colebrook-White

Según (Menon, 2005). La ecuación de flujo general, también llamada la ecuación del flujo fundamental, para el flujo isotérmico en estado estacionario en un gasoducto es la ecuación primordial para concernir la caída de presión con caudal. La representación más común de esta ecuación en unidades del USCS se da en términos de diámetro de tubería, propiedades del gas, temperaturas, presiones y caudal. Ver figura 4 para apreciar los símbolos utilizados en la ecuación en unidades USCS:

$$Q = 77.54 \left(\frac{T_b}{P_b} \right) \left(\frac{P_1^2 - P_2^2}{GT_f LZf} \right)^{0.5} D^{2.5} \quad (14)$$

Dónde:

Q = Caudal del gas, medido en condiciones estándar, ft^3/dia (SCFD)

f = Factor de Fricción, adimensional

P_b = Presión base, $psia$

T_b = Temperatura base, $^{\circ}R$ ($460 + ^{\circ}F$)

P_1 = Presión agua arriba, $psia$

P_2 = Presión aguas abajo, $psia$

G = Gravedad del gas, ($air = 1.00$)

T_f = Temperatura media del flujo del Gas, $^{\circ}R$ ($460 + ^{\circ}F$)

L = Longitud del segmento de tubería, *millas*

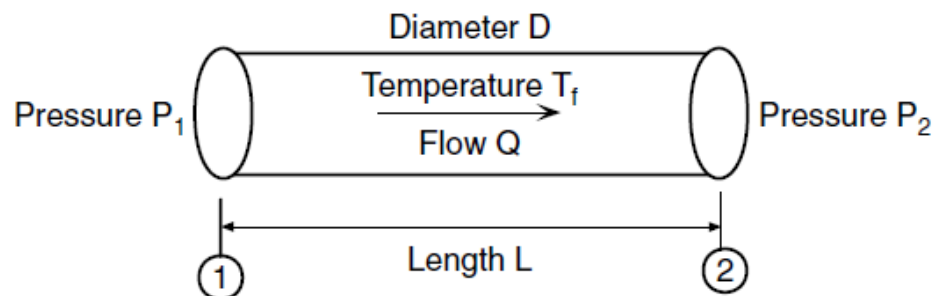
Z = Factor de compresibilidad de gas a la temperatura de flujo, *adimensional*

D = Diámetro interior de la tubería, *in*

Debe tenerse en cuenta que para el segmento de tubería de la sección 1 a la sección 2, la temperatura T_f se supone que es constante (flujo isotérmico).

Figura 4

Flujo constante en gasoducto



Nota. Fue recopilado de la fuente Menon, E. S. (2005), Gas pipeline hydraulics, In Taylor & Francis (Group <https://doi.org/10.1201/9781420038224>)

En unidades SI, la ecuación de Flujo General se expresa de la siguiente manera:

$$Q = 1.1494 \times 10^{-3} \left(\frac{T_b}{P_b} \right) \left(\frac{P_1^2 - P_2^2}{GT_f LZ f} \right)^{0.5} D^{2.5} \quad (15)$$

Dónde:

Q = Caudal del gas, medido en condiciones estándar, m^3/dia

f = Factor de Fricción, adimensional

P_b = Presión base, kPa

T_b = Temperatura base, $K (273 + ^\circ C)$

P_1 = Presión agua arriba, kPa

P_2 = Presión aguas abajo, kPa

G = Gravedad del gas, ($air = 1.00$)

T_f = Temperatura media del flujo del Gas, $K (273 + ^\circ C)$

L = Longitud del segmento de tubería, km

Z = Factor de compresibilidad de gas a la temperatura de flujo, *adimensional*

D = Diámetro interior de la tubería, mm

Según (Menon, 2005). Debido a la naturaleza de la Ecuación 15 las presiones también pueden ser en Mpa o Bar. Siempre y cuando se utilice la misma unidad uniforme.

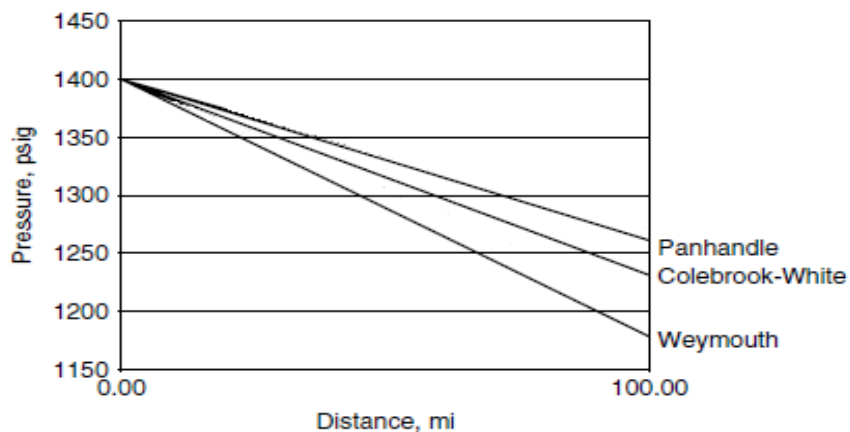
Comparación de las ecuaciones de Flujo

Según (Menon, 2005). Cada ecuación es ligeramente diferente de la otra, y algunas ecuaciones consideran la eficiencia de la tubería mientras que otras usan una tubería interna valor de rugosidad. Obviamente, algunas ecuaciones predecirán tasas de flujo más altas para las mismas presiones que otros.

La Figura 4 y 5 muestran algunas de estas comparaciones cuando se utiliza la Ecuación de flujo con Colebrook-White, Ecuación de Panhandle y Ecuación de Weymouth.

Figura 5

Comparación de ecuaciones de Flujo

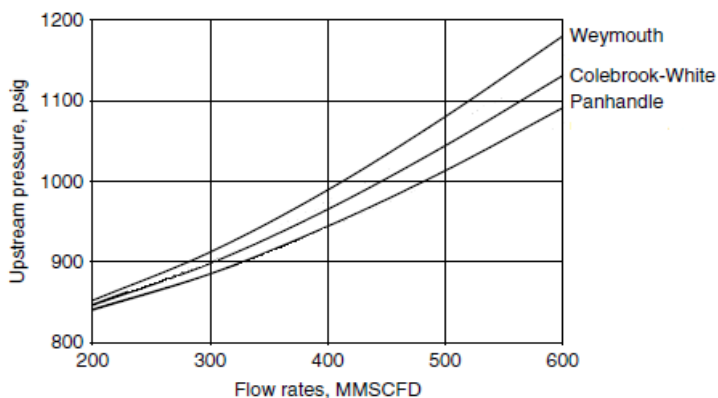


Nota 1. Fue recopilado de la fuente Menon, E. S. (2005), Gas pipeline hydraulics, In Taylor & Francis (Group <https://doi.org/10.1201/9781420038224>)

Nota 2. Considera una tubería de 100 millas de largo, NPS 16" con una pared de 0.250 in de espesor, operando a un caudal de 100 MMSCFD. La temperatura de flujo del gas es 80°F. Con la presión aguas arriba fijada en 1400 psig, la presión aguas abajo fue calculado utilizando las diferentes ecuaciones de flujo

Figura 6

Presiones aguas arriba para varias ecuaciones de flujo



Nota 1. Fue recopilado de la fuente Menon, E. S. (2005), Gas pipeline hydraulics, In Taylor & Francis (Group <https://doi.org/10.1201/9781420038224>)

Nota 2. Considera una tubería de 100 millas de largo, NPS 16" con una pared de 0.250 in de espesor, operando a un caudal de 100 MMSCFD. La temperatura de flujo del gas es 80°F. Con la presión aguas arriba fijada en 1400 psig, la presión aguas abajo fue calculado utilizando las diferentes ecuaciones de flujo

En tal sentido, se consideró que en el presente trabajo se utilice la Ecuación general de flujo con Colebrook-White ya que se encuentra con resultados más conservadores sin irse hacia los extremos.

2.1.10 Efecto de las elevaciones en gasoductos

Según (Menon, 2005). Cuando se considera el efecto de la elevación entre los extremos de un segmento de tubería, la ecuación de flujo general cambia como sigue en unidades SI.

$$Q = 38.77F \left(\frac{T_b}{P_b} \right) \left(\frac{P_1^2 - e^s P_2^2}{GT_f L_e Z} \right)^{0.5} D^{2.5} \quad (16)$$

Dónde:

Q = Caudal del gas, medido en condiciones estándar, m^3/dia

F = Factor de Transmisión, adimensional $(\frac{2}{\sqrt{f}})$

P_b = Presión base, kPa

T_b = Temperatura base, $K (273 + ^\circ C)$

P_1 = Presión agua arriba, kPa

P_2 = Presión aguas abajo, kPa

G = Gravedad del gas, ($air = 1.00$)

T_f = Temperatura media del flujo del Gas, $K (273 + ^\circ C)$

L_e = Longitud equivalente del segmento de tubería, km

e = Base de logaritmos naturales, ($e = 2.718 \dots$)

Z = Factor de compresibilidad de gas a la temperatura de flujo, *adimensional*

D = Diámetro interior de la tubería, mm

Y en unidades del USCS:

$$Q = 5.4747 \times 10^{-4} F \left(\frac{T_b}{P_b} \right) \left(\frac{P_1^2 - e^s P_2^2}{GT_f L_e Z} \right)^{0.5} D^{2.5} \quad (17)$$

Dónde:

Q = Caudal del gas, medido en condiciones estándar, (*SCFD*)

F = Factor de Transmisión, adimensional ($2/\sqrt{F}$)

P_b = Presión base, *psia*

T_b = Temperatura base, *R* ($460 + ^\circ F$)

P_1 = Presión agua arriba, *psia*

P_2 = Presión aguas abajo, *psia*

G = Gravedad del gas, (*air* = 1.00)

T_f = Temperatura media del flujo del Gas, *R* ($460 + ^\circ F$)

L_e = Longitud equivalente del segmento de tubería, *millas*

e = Base de logaritmos naturales, ($e = 2.718 \dots$)

Z = Factor de compresibilidad de gas a la temperatura de flujo, *adimensional*

D = Diámetro interior de la tubería, *in*

La ecuación de la longitud equivalente es:

$$L_e = \frac{L(e^s - 1)}{s} \quad (18)$$

Según (Menon, 2005). La longitud equivalente L_e y el término e^s deben tener en consideración la altura entre las extremadas aguas arriba y aguas abajo del recorrido de la tubería. El parámetro s depende de la gravedad del gas, el factor de compresibilidad del gas, la temperatura de flujo, y la diferencia de elevación. La ecuación en unidades USCS es:

$$s = 0.037G \left(\frac{H_2 - H_1}{T_f Z} \right) \quad (19)$$

Donde:

s = Parámetro de ajuste de elevación, *adimensional*

H_1 = Elevación aguas arriba, *ft*

$H_2 =$ Elevación aguas abajo, ft

Otros símbolos son como se definió anteriormente. En unidades SI, la medida de ajuste de elevación s , se precisa como sigue en unidades SI:

$$s = 0.0684G \left(\frac{H_2 - H_1}{T_f Z} \right) \quad (20)$$

Donde:

$H_1 =$ Elevación aguas arriba, m

$H_2 =$ Elevación aguas abajo, m

2.1.11 Presión de segmento de tubería media

Según (Menon, 2005). En la ecuación de flujo general, se usa el factor de compresibilidad Z . Ello, debido a que se calcula con la temperatura del flujo de gas a la presión media en el segmento del gasoducto. Para ello se considera un segmento de gasoducto con la presión aguas arriba P_1 y la presión aguas abajo P_2 . Como principal aproximación se puede usar una media aritmética de $(P_1+P_2)/2$. Sin embargo, se ha encontrado que un valor más preciso de la presión de gas promedio en un segmento de gasoducto es:

$$P_{avg} = \frac{2}{3} \left(P_1 + P_2 - \frac{P_1 P_2}{P_1 + P_2} \right) \quad (21)$$

Otra manera de calcular la presión promedio en un segmento de gasoducto es:

$$P_{avg} = \frac{2}{3} \left(\frac{P_1^3 - P_2^3}{P_1^2 - P_2^2} \right) \quad (22)$$

2.1.12 Velocidad del Gas en una Tubería

Según (Menon, 2005). La velocidad del flujo de gas en un gasoducto representa la velocidad a la que las moléculas de gas pueden moverse de un lugar a otro. A diferencia de una tubería con líquidos, debido a la compresibilidad. La menor velocidad estará en el extremo aguas arriba, donde la presión es mayor.

En ese aspecto, la velocidad del gas en gasoductos en unidades USCS es:

$$u_1 = 0.002122 \left(\frac{Q_b}{D^2} \right) \left(\frac{P_b}{T_b} \right) \left(\frac{Z_1 T_1}{P_1} \right) \quad (23)$$

Donde:

u_1 = Velocidad del gas aguas arriba, *ft/s*

Q_b = Caudal de gas, medido en condiciones estándar, *SCFD*

D = Diámetro interior del ducto, *in*

P_b = Presión base, *psia*

T_b = Temperatura base, °R (460 + °F)

P_1 = Presión aguas arriba, *psia*

T_1 = Temperatura aguas arriba, °R (460 + °F)

Z_1 = Factor de compresibilidad del gas aguas arriba, adimensional

La velocidad del gas en gasoductos en unidades SI es:

$$u_1 = 14.7349 \left(\frac{Q_b}{D^2} \right) \left(\frac{P_b}{T_b} \right) \left(\frac{Z_1 T_1}{P_1} \right) \quad (24)$$

Donde:

u_1 = Velocidad del gas aguas arriba, *m/s*

Q_b = Caudal de gas, medido en condiciones estándar, *m³/día*

D = Diámetro interior del ducto, *mm*

P_b = Presión base, *kPa*

T_b = Temperatura base, °K (273 + °C)

P_1 = Presión aguas arriba, *psia*

T_1 = Temperatura aguas arriba, °R (460 + °F)

Z_1 = Factor de compresibilidad del gas aguas arriba, adimensional

2.1.13 Número de flujo de Reynolds

Según (Menon, 2005). Es una medida importante en el flujo de fluidos en una tubería es un termino adimensional. El número de Reynolds se usa para determinar el tipo de flujo en una tubería, como flujo laminar, turbulento o crítico. También se utiliza para calcular el factor de fricción en Flujo de tubería. Primero describiremos el cálculo del número de Reynolds basado en las propiedades del gas y el diámetro de la tubería, para poder colocarlo en un rango y así clasificarlo en diferentes tipos de flujo.

Según (Menon, 2005). El número de Reynolds es una función del caudal de gas, del diámetro interior de la tubería, densidad y viscosidad del gas, se calcula a partir de la siguiente formula en unidades SI:

$$Re = \frac{uD\rho}{\mu} \quad (25)$$

Donde:

Re = Número de Reynolds, *adimensional*

u = Velocidad del Gas en la Tubería, *m/s*

D = Diámetro interior de la Tubería, *m*

ρ = Densidad del gas, *kg/m³*

μ = Viscosidad del gas, *kg/m – s*

Según (Menon, 2005). En hidráulica de gasoductos, utilizando unidades habituales, una ecuación más adecuada para el número de Reynolds es el siguiente:

$$Re = 0.5134 \left(\frac{P_b}{T_b} \right) \left(\frac{GQ}{\mu D} \right) \quad (26)$$

Donde

P_b = Presión base, *kPa*

T_b = Temperatura base, *°K (273 + °C)*

G = Gravedad específica del gas, (*aire* = 1.0)

Q = Caudal del gas, $m^3/día$ a condiciones estándar

D = Diámetro interno del gasoducto, mm

μ = Viscosidad del gas, *Poise*

2.1.14 Factor de Fricción

Según (Menon, 2005). La expresión factor de fricción es una medida adimensional que depende del número de flujo de Reynolds. En la aplicación de la ingeniería, encontramos dos factores de fricción diferentes mencionados. El factor de fricción de Darcy y el otro factor de fricción conocido como el factor de fricción de Fanning.

$$f_f = \frac{f_d}{4} \quad (27)$$

Donde

f_f = Factor de fricción de Fanning

f_d = Factor de fricción de Darcy

Para el caso de la presente monografía técnica, se utilizara el factor de fricción de Darcy y se representará con el símbolo f .

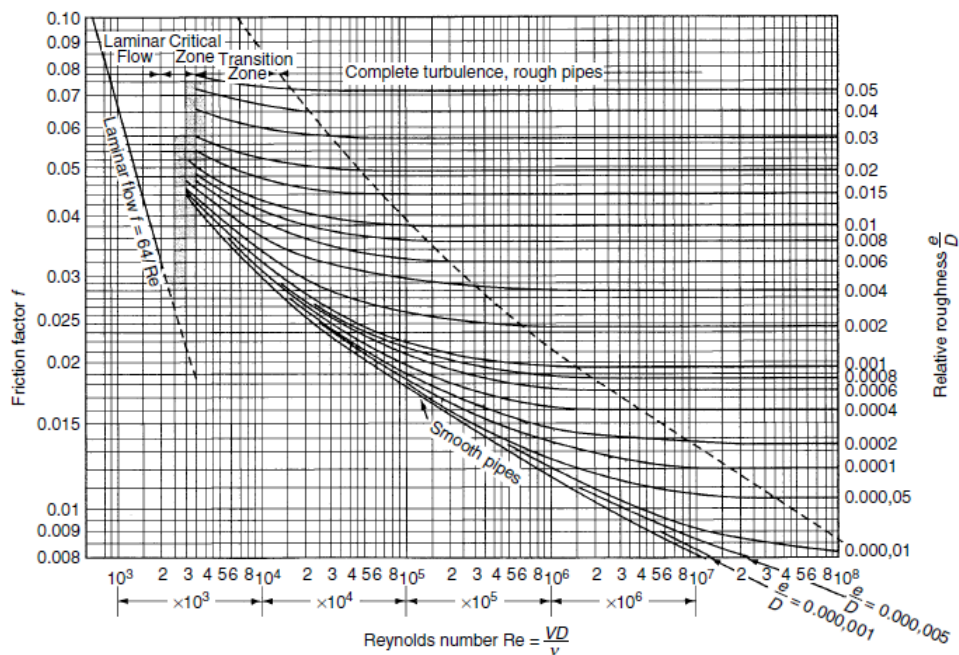
Según (Menon, 2005). En flujo laminar, el factor de fricción es inversamente proporcional al número de Reynolds, como se indica a continuación:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (28)$$

Según (Menon, 2005). En el caso del flujo turbulento, el factor de fricción es una función del número de Reynolds, diámetro interior y rugosidad interna de la tubería. Para flujo turbulento en tuberías lisas, el factor de fricción f depende solo del número de Reynolds. Para tuberías completamente rugosas, f depende más del interior de la tubería y su rugosidad. En la zona de transición entre suave flujo de tubería y flujo en tuberías completamente rugosas, f depende de la rugosidad de la tubería, tubería interior diámetro y el número de Reynolds. Los diversos regímenes de flujo se representan en la Diagrama de Moody, que se muestra en la figura 7.

Figura 7

Diagrama de Moody



Nota. Fue recopilado de la fuente Menon, E. S. (2005), *Gas pipeline hydraulics*, In Taylor & Francis Group (<https://doi.org/10.1201/9781420038224>)

Según (Menon, 2005). El diagrama de Moody es un representativo de la variación del factor de fricción en función del número de Reynolds con varios valores de rugosidad relativa de la tubería. El último término es simplemente un parámetro adimensional obtenido al fraccionar el valor absoluto (o interno) rugosidad de la tubería por el diámetro interior de la tubería de la siguiente forma:

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{e}{D} \quad (29)$$

Donde

e = Rugosidad absoluta o interna de la tubería, *in*

D = Diámetro interior de la Tubería, *in*

2.1.15 Ecuación de Colebrook - White

Según (Menon, 2005). La ecuación de Colebrook-White, a veces denominada simplemente ecuación de Colebrook, es una correspondencia entre el factor de fricción y el número de Reynolds. La siguiente forma de la ecuación de Colebrook se usa para calcular el factor de fricción en tuberías de gas en flujo turbulento.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\text{Log}_{10} \left(\frac{e}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad \text{para } Re > 4000 \quad (30)$$

Donde:

f = Factor de fricción, *adimensional*

D = Diámetro interno del gasoducto, *in*

e = Rugosidad absoluta o interna de la tubería, *in*

Re = Numero de Reynolds, *adimensional*

Según (Menon, 2005). Dado que Re y f son adimensionales, siempre que se usen unidades consistentes para ambos e y D , la ecuación de Colebrook es la misma independientemente de las unidades empleadas. Por lo tanto, en unidades SI, se usa la Ecuación 27 con e y D expresadas en mm.

Según (Menon, 2005). Es preciso indicar que la aplicación de la ecuación 30 para calcular el factor de fricción f , debe utilizar un enfoque de prueba y error, ya que f aparece en ambos lados de la ecuación. Por lo que primero debe asumirse un valor de f como 0.01 y empezar a sustituir en el lado derecho de la ecuación. Esto producirá una segunda aproximación para f , que luego se puede usar para calcular un mejor valor de f , y así sucesivamente. Generalmente luego de 3 a 4 iteraciones son suficientes para converger en un valor razonablemente bueno del factor de fricción.

2.1.16 Factor de Transmisión

Según (Menon, 2005). El factor de transmisión F se considera disímil al factor de fricción f . Mientras que el factor de fricción muestra qué tan dificultoso es mover una cierta cantidad de gas a través de una tubería, el factor de transmisión es una medida inmediata de cuánto gas

puede ser transportado a través de la tubería. A medida que aumenta el factor de fricción, el factor de transmisión disminuye y, por lo tanto, también disminuye el caudal de gas. Por el contrario, en cuanto mayor sea el factor de transmisión, menor será el factor de fricción y, por lo tanto, mayor el caudal será.

El factor de transmisión F está relacionado con el factor de fricción de la siguiente forma:

$$F = \frac{2}{\sqrt{f}} \quad (31)$$

Donde:

f = Factor de fricción, *adimensional*

F = Factor de Transmisión, *adimensional*

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA Y DESARROLLO

La metodología del presente trabajo consistió en los siguientes pasos que se describen a continuación:

Primero, se consideró que para tener un correcto desarrollo del dimensionamiento hidráulico de la ampliación del gasoducto que parta desde la ciudad de Ayacucho, pase por la región de Huancavelica y culmine en la ciudad de la Oroya de la región Junín se tenía que identificar una traza donde se visualice el recorrido que tendrá el mencionado gasoducto con apreciaciones de relieves que permita determinar las cotas y los puntos donde se realizaran los cálculos.

Segundo, se determinó la demanda de gas natural de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín que abastecerá el gasoducto, con la finalidad de poder conocer el caudal máximo de dicha infraestructura.

Tercero, con la información hallada, se realizó el cálculo hidráulico en múltiples secciones para determinar la caída de presión y velocidad del gas natural que tendrá el gasoducto a la llegada de la ciudad de la Oroya de la región de Junín. Esto permitió conocer el dimensionamiento hidráulico favorable que permita abastecer la demanda de gas natural identificada anteriormente

de forma permanente. Asimismo, es preciso indicar que se realizó los cálculos hidráulicos con información de las propiedades del gas natural y otras condiciones conocidas, para tener información de las múltiples secciones que se tenga en el trazo del gasoducto.

La metodología explicada anteriormente se explica a mayor detalle a continuación:

3.1 Determinación del trazo del Gasoducto

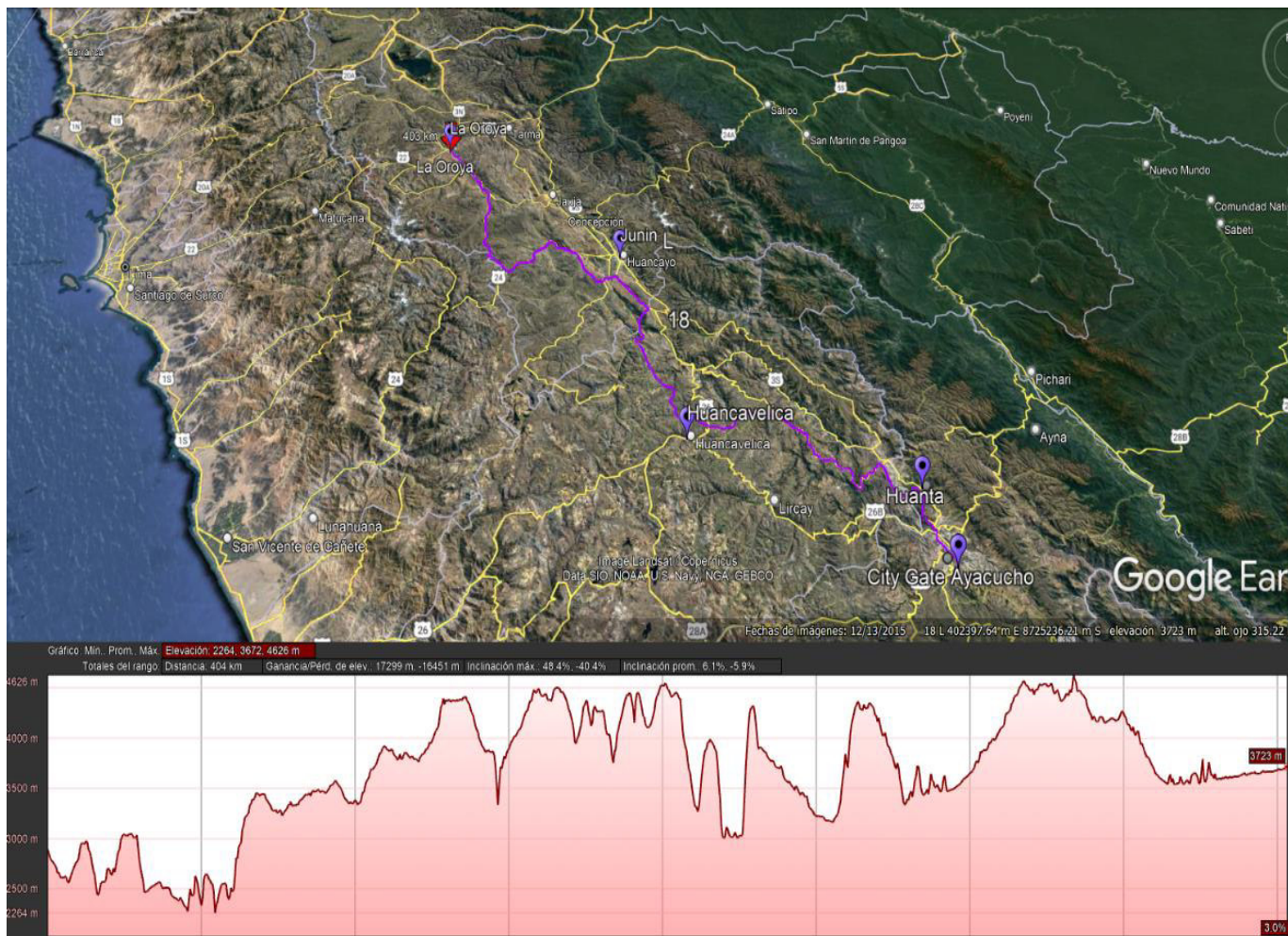
A nivel de gabinete se identificó el recorrido del gasoducto desde el punto inicial, City Gate de la empresa Transportadora de Gas del Perú S.A., ubicado en el distrito de Tambillo, Provincia de Huamanga de la región Ayacucho hasta el punto final, Complejo Metalúrgico La Oroya, ubicado a 3,750 m.s.n.m. en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, distrito La Oroya, provincia de Yauli de la región Junín.

Es preciso indicar que el trazo establecido del gasoducto tiene las siguientes consideraciones:

- Se seleccionó el menor recorrido entre el punto de inicial y final dentro de los parámetros técnicos de construcción y seguridad y operación y mantenimiento.
- La ruta considera los puntos de entrega para la atención de la demanda de gas natural de las ciudades de Ayacucho, Huanta, Huancavelica, Huancayo y la Oroya tal como se aprecia en la figura 8 y 9.
- Se estableció la ruta con la mejor estabilidad geotécnica que se pudo identificar.
- Se evitó las zonas de alta concentración de población
- Se evitó zonas de alto impacto ambiental (bosques, lagos, ríos, bofedales, emplazamientos y sitios arqueológicos)
- Se optimizó la cantidad y longitud de los cruces especiales de corrientes de agua

Figura 8

Ubicación Geográfica del Trazo del Gasoducto



Nota. Fuente: Google Earth (2020) – Elaboración Propia

Figura 9

Esquema del trazo enfocado en los puntos donde se entregara el Gas Natural



Nota 1. Fuente: Elaboración Propia

Nota 2. La propuesta del trazo plantea pasar por las principales ciudades de la región de Ayacucho, Huancavelica y Junín

Asimismo, corresponde mencionar que la propuesta de ruta del trazado del gasoducto, es de carácter preliminar considerando que se realizó en gabinete, no obstante, nos brinda la suficiente información para desarrollar el dimensionamiento hidráulico necesarios para la ampliación del gasoducto objetivo del presente trabajo. El relieve obtenido del trazo del recorrido del gasoducto desde el punto inicial hasta el punto final permite establecer las cotas y los puntos necesarios para desarrollar los cálculos necesarios de la presente monografía técnica.

Tabla 3

Puntos de trazo del Gasoducto

| Cota | Ubicación | Longitud Real (m) | Elevación (m) |
|-------------|------------------|--------------------------|----------------------|
| 1 | Ayacucho | 0 | 2893 |
| 2 | Ayacucho | 6700 | 2550 |
| 3 | Ayacucho | 12300 | 2973 |
| 4 | Ayacucho | 16600 | 2446 |
| 5 | Ayacucho | 24400 | 3045 |
| 6 | Ayacucho | 28900 | 2036 |
| 7 | Ayacucho | 31900 | 2452 |
| 8 | Ayacucho | 36100 | 2575 |
| 9 | Ayacucho | 45100 | 2305 |
| 10 | Huancavelica | 48100 | 2605 |
| 11 | Huancavelica | 50000 | 2327 |

| | | | |
|----|--------------|--------|------|
| 12 | Huancavelica | 50900 | 2647 |
| 13 | Huancavelica | 54200 | 2241 |
| 14 | Huancavelica | 57800 | 2590 |
| 15 | Huancavelica | 58700 | 2396 |
| 16 | Huancavelica | 67700 | 3464 |
| 17 | Huancavelica | 70100 | 3450 |
| 18 | Huancavelica | 76100 | 3252 |
| 19 | Huancavelica | 78500 | 3363 |
| 20 | Huancavelica | 89700 | 3456 |
| 21 | Huancavelica | 93000 | 3585 |
| 22 | Huancavelica | 97200 | 3366 |
| 23 | Huancavelica | 101000 | 3372 |
| 24 | Huancavelica | 109000 | 3925 |
| 25 | Huancavelica | 113000 | 3769 |
| 26 | Huancavelica | 120000 | 3770 |
| 27 | Huancavelica | 128000 | 4387 |
| 28 | Huancavelica | 135000 | 4421 |
| 29 | Huancavelica | 141000 | 3877 |
| 30 | Huancavelica | 144000 | 3878 |
| 31 | Huancavelica | 146000 | 3387 |
| 32 | Huancavelica | 147000 | 3729 |
| 32 | Huancavelica | 157000 | 4483 |
| 33 | Huancavelica | 163000 | 4366 |
| 34 | Huancavelica | 165000 | 4505 |
| 35 | Huancavelica | 171000 | 3941 |
| 36 | Huancavelica | 175000 | 4368 |
| 37 | Huancavelica | 176000 | 4115 |
| 38 | Huancavelica | 177000 | 4317 |
| 39 | Huancavelica | 180000 | 4280 |
| 40 | Huancavelica | 183000 | 3789 |
| 41 | Huancavelica | 188000 | 4443 |
| 42 | Huancavelica | 190000 | 4165 |
| 43 | Huancavelica | 191000 | 4458 |
| 44 | Huancavelica | 194000 | 4105 |
| 45 | Huancavelica | 200000 | 4549 |
| 46 | Huancavelica | 202000 | 4418 |
| 47 | Huancavelica | 203000 | 4468 |
| 48 | Huancavelica | 210000 | 3292 |
| 49 | Huancavelica | 214000 | 3986 |
| 50 | Huancavelica | 219000 | 3015 |
| 51 | Junín | 225000 | 3020 |
| 52 | Junín | 228000 | 4322 |
| 53 | Junín | 230000 | 3933 |
| 54 | Junín | 255000 | 3203 |

| | | | |
|----|-------|--------|------|
| 55 | Junín | 262000 | 4358 |
| 56 | Junín | 266000 | 4354 |
| 57 | Junín | 277000 | 3350 |
| 58 | Junín | 282000 | 3744 |
| 59 | Junín | 283000 | 3441 |
| 60 | Junín | 286000 | 3650 |
| 61 | Junín | 289000 | 3467 |
| 62 | Junín | 290000 | 3647 |
| 63 | Junín | 291000 | 3467 |
| 64 | Junín | 294000 | 3776 |
| 65 | Junín | 300000 | 3778 |
| 66 | Junín | 305000 | 4263 |
| 67 | Junín | 306000 | 4166 |
| 68 | Junín | 311000 | 4433 |
| 69 | Junín | 315000 | 4058 |
| 70 | Junín | 318000 | 4266 |
| 71 | Junín | 323000 | 4145 |
| 72 | Junín | 329000 | 3566 |
| 73 | Junín | 333000 | 3559 |
| 74 | Junín | 335000 | 3746 |
| 75 | Junín | 337000 | 3560 |
| 76 | Junín | 369244 | 3720 |

Nota. Fuente: Google Earth (2020) – Elaboración Propia

3.2 Determinación de la demanda de gas natural en el recorrido del Gasoducto

Este apartado muestra la metodología para determinar la demanda de gas natural de los sectores residencial, comercial, vehicular, industrial y generación eléctrica la zona directa por donde se trazó el gasoducto desde el punto inicial ubicado en la región Ayacucho hasta el punto final ubicado en la región de Junín con proyecciones para los próximos 20 años con la finalidad de tener el caudal máximo de diseño del gasoducto.

3.2.1 Demanda de gas natural del sector Residencial y Comercial

- a) Se tomó información proyectada para el período 2009-2018 del número de hogares de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín, elaborada por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento respecto al número de hogares, por año según dominio geográfico y departamento (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2022).

- b) Se proyectó dicha información para los años 2023-2043 con la tasa promedio de crecimiento de viviendas que presentó cada departamento dentro del período 2009-2018; la proyección calculada es de 3.83% para el departamento de Ayacucho, 3.54% para el departamento de Huancavelica y 3.30% para el departamento de Junín.
- c) Posteriormente, se usó como supuesto que todas las viviendas halladas en el literal b) cuentan con acceso a energía eléctrica. Por tal motivo, se multiplicó dicho valor por 70% tomando como referencia experiencias observadas en distintos sistemas de distribución de gas por red, donde se plantea la hipótesis que el número de Usuarios Potenciales del servicio de gas es numéricamente igual al 70% de los clientes del servicio eléctrico (Regulación, 2014)
- d) Con la información anterior, se proyectó cuántos serían los usuarios potenciales por región:

Tabla 4*Hogares potenciales de la región Ayacucho*

| Año | Hogares |
|------------|----------------|
| 2023 | 189,700 |
| 2024 | 196,700 |
| 2025 | 204,400 |
| 2026 | 212,100 |
| 2027 | 220,500 |
| 2028 | 228,900 |
| 2029 | 237,300 |
| 2030 | 246,400 |
| 2031 | 256,200 |
| 2032 | 266,000 |
| 2033 | 276,500 |
| 2034 | 287,000 |
| 2035 | 297,500 |
| 2036 | 309,400 |
| 2037 | 321,300 |
| 2038 | 333,200 |
| 2039 | 346,500 |
| 2040 | 359,800 |
| 2041 | 373,100 |
| 2042 | 387,800 |
| 2043 | 402,500 |

Nota. Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5*Hogares potenciales de la región Huancavelica*

| Año | Hogares |
|------------|----------------|
| 2023 | 131,600 |
| 2024 | 136,500 |
| 2025 | 141,400 |
| 2026 | 146,300 |
| 2027 | 151,200 |
| 2028 | 156,800 |
| 2029 | 162,400 |
| 2030 | 168,000 |
| 2031 | 174,300 |
| 2032 | 179,900 |
| 2033 | 186,900 |
| 2034 | 193,200 |
| 2035 | 200,200 |
| 2036 | 207,200 |
| 2037 | 214,200 |
| 2038 | 221,900 |
| 2039 | 230,300 |
| 2040 | 238,000 |
| 2041 | 246,400 |
| 2042 | 255,500 |
| 2043 | 264,600 |

*Nota. Fuente: Elaboración Propia***Tabla 6***Hogares potenciales de la región Junín*

| Año | Hogares |
|------------|----------------|
| 2023 | 346,500 |
| 2024 | 357,700 |
| 2025 | 369,600 |
| 2026 | 382,200 |
| 2027 | 394,800 |
| 2028 | 407,400 |
| 2029 | 421,400 |
| 2030 | 434,700 |
| 2031 | 449,400 |

| | |
|------|---------|
| 2032 | 464,100 |
| 2033 | 479,500 |
| 2034 | 495,600 |
| 2035 | 511,700 |
| 2036 | 528,500 |
| 2037 | 546,000 |
| 2038 | 564,200 |
| 2039 | 583,100 |
| 2040 | 602,000 |
| 2041 | 622,300 |
| 2042 | 642,600 |
| 2043 | 663,600 |

Nota. Fuente: Elaboración Propia

- e) Seguidamente, se procedió a establecer el consumo que presentaría un residencial, el cual en base al consumo actual que se tienen en las Concesiones de Distribución de Gas Natural (Ministerio de Energía y Minas, 2021) se determinó que dicho consumo en promedio es de 13 Sm³/mes de gas natural. Por lo que la demanda del sector residencial sería el siguiente:

Tabla 7

Demanda potencial del sector residencial de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín

| Año | Sm³/día | MMPCD |
|------------|---------------------------|--------------|
| 2023 | 289,380.00 | 10.22 |
| 2024 | 299,390.00 | 10.57 |
| 2025 | 310,006.67 | 10.95 |
| 2026 | 320,926.67 | 11.33 |
| 2027 | 332,150.00 | 11.73 |
| 2028 | 343,676.67 | 12.14 |
| 2029 | 355,810.00 | 12.57 |
| 2030 | 367,943.33 | 12.99 |
| 2031 | 381,290.00 | 13.47 |
| 2032 | 394,333.33 | 13.93 |
| 2033 | 408,590.00 | 14.43 |
| 2034 | 422,846.67 | 14.93 |
| 2035 | 437,406.67 | 15.45 |
| 2036 | 452,876.67 | 15.99 |
| 2037 | 468,650.00 | 16.55 |

| | | |
|------|------------|-------|
| 2038 | 485,030.00 | 17.13 |
| 2039 | 502,623.33 | 17.75 |
| 2040 | 519,913.33 | 18.36 |
| 2041 | 538,113.33 | 19.00 |
| 2042 | 557,223.33 | 19.68 |
| 2043 | 576,636.67 | 20.36 |

Nota. Fuente: Elaboración Propia

- f) Finalmente, para determinar la demanda del sector comercial, se procedió a determinar la cantidad de comercios que se tendrían al año, el cual de acuerdo con la experiencia de las Concesiones que existe en el Perú estas representan el 0.25% de los usuarios residenciales. En el caso de consumo unitario de los Comercios se consideró para fines de cálculo un estimado de 1,200 Sm³/mes de gas natural.

Tabla 8

Número de Comercios y demanda potencial del sector comercial de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín

| Año | Hogares Potenciales | Comercios Potenciales | Demanda (Sm³/día) | Demanda (MMPCD) |
|------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| 2023 | 667,800 | 1,670 | 66,800 | 2.36 |
| 2024 | 690,900 | 1,728 | 69,120 | 2.44 |
| 2025 | 715,400 | 1,789 | 71,560 | 2.53 |
| 2026 | 740,600 | 1,852 | 74,080 | 2.62 |
| 2027 | 766,500 | 1,917 | 76,680 | 2.71 |
| 2028 | 793,100 | 1,983 | 79,320 | 2.80 |
| 2029 | 821,100 | 2,053 | 82,120 | 2.90 |
| 2030 | 849,100 | 2,123 | 84,920 | 3.00 |
| 2031 | 879,900 | 2,200 | 88,000 | 3.11 |
| 2032 | 910,000 | 2,275 | 91,000 | 3.21 |
| 2033 | 942,900 | 2,358 | 94,320 | 3.33 |
| 2034 | 975,800 | 2,440 | 97,600 | 3.45 |
| 2035 | 1,009,400 | 2,524 | 100,960 | 3.57 |
| 2036 | 1,045,100 | 2,613 | 104,520 | 3.69 |
| 2037 | 1,081,500 | 2,704 | 108,160 | 3.82 |
| 2038 | 1,119,300 | 2,799 | 111,960 | 3.95 |
| 2039 | 1,159,900 | 2,900 | 116,000 | 4.10 |
| 2040 | 1,199,800 | 3,000 | 120,000 | 4.24 |
| 2041 | 1,241,800 | 3,105 | 124,200 | 4.39 |

| | | | | |
|------|-----------|-------|---------|------|
| 2042 | 1,285,900 | 3,215 | 128,600 | 4.54 |
| 2043 | 1,330,700 | 3,327 | 133,080 | 4.70 |

Nota. Fuente: Elaboración Propia

3.2.2 Demanda de gas natural del sector Vehicular

Con el fin de determinar la demanda vehicular potencial de los distritos seleccionados, se siguieron los siguientes pasos:

- Se tomó información del parque vehicular estimado automotor, según departamento o región del período 2007-2018 elaborada por la Superintendencia Nacional de Registros Públicos – SUNARP y la Oficina General de Presupuesto y Planificación del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2022).
- Se proyectó dicha información para el periodo 2023-2043 con la tasa promedio anual de crecimiento del parque automotor del período 2009-2018; equivalente al 0.92% para el departamento de Ayacucho, 4.22% para Junín y 0.18% para Huancavelica.
- Con los valores determinados en el literal anterior, se procedió a determinar el número potencial de vehículos que se pueden convertir en las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín; para ello, se multiplicó dicho valor por 81.05%, porcentaje que representan los automóviles y los vehículos *station wagon*, asumiendo que la conversión a GNV iniciará con este tipo de vehículos (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2022).

Tabla 9

Número de potencial de vehículos a convertir en las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín

| Año | Vehículos |
|------|-----------|
| 2023 | 78,151 |
| 2024 | 81,254 |
| 2025 | 84,486 |
| 2026 | 87,854 |
| 2027 | 91,363 |
| 2028 | 95,019 |
| 2029 | 98,828 |
| 2030 | 102,797 |
| 2031 | 106,932 |

| | |
|------|---------|
| 2032 | 111,241 |
| 2033 | 115,731 |
| 2034 | 120,409 |
| 2035 | 125,284 |
| 2036 | 130,364 |
| 2037 | 135,656 |
| 2038 | 141,171 |
| 2039 | 146,918 |
| 2040 | 152,907 |
| 2041 | 159,147 |
| 2042 | 165,650 |
| 2043 | 172,427 |

Nota. Fuente: Elaboración Propia

- d) Con la información anterior, se determinó el consumo potencial promedio de GNV en las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín por donde pasa el trazo del gasoducto, considerando que el promedio de consumo de cada vehículo es de 10 m³ por día (Infogas, 2021).

Tabla 10

Demanda de gas natural del sector vehicular en las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín

| Año | Sm³/día | MMPCD |
|------------|---------------------------|--------------|
| 2023 | 781,510 | 27.60 |
| 2024 | 812,540 | 28.69 |
| 2025 | 844,860 | 29.84 |
| 2026 | 878,540 | 31.03 |
| 2027 | 913,630 | 32.26 |
| 2028 | 950,190 | 33.56 |
| 2029 | 988,280 | 34.90 |
| 2030 | 1,027,970 | 36.30 |
| 2031 | 1,069,320 | 37.76 |
| 2032 | 1,112,410 | 39.28 |
| 2033 | 1,157,310 | 40.87 |
| 2034 | 1,204,090 | 42.52 |
| 2035 | 1,252,840 | 44.24 |
| 2036 | 1,303,640 | 46.04 |
| 2037 | 1,356,560 | 47.91 |
| 2038 | 1,411,710 | 49.85 |

| | | |
|------|-----------|-------|
| 2039 | 1,469,180 | 51.88 |
| 2040 | 1,529,070 | 54.00 |
| 2041 | 1,591,470 | 56.20 |
| 2042 | 1,656,500 | 58.50 |
| 2043 | 1,724,270 | 60.89 |

Nota. Fuente: Elaboración Propia

3.2.3 Demanda del sector Industrial

Es necesario indicar que de la búsqueda de información literaria se identificó dos posibles industrias como demanda ancla dentro del trazo del gasoducto.

1. De acuerdo a (Zorrilla Pariachi, 2014) el desarrollo de un Balance General de un Complejo de Producción de Fertilizantes de Origen Fosfatado en el Valle Mantaro en la región Junín requiere de una demanda de gas natural de 24.79 MMPCD.
2. De acuerdo al (Energy Sector Management Assistance Program, 2006) la proyección de la demanda de gas natural de La Oroya al año 2025 en el escenario Conservador es de 28.9 MMPCD.

Tabla 11

Demanda de gas natural del sector Industrial de la región de Junín

| Año | Sm³/día | MMPCD |
|------------|---------------------------|--------------|
| 2023 | 1,520,331.35 | 53.69 |
| 2024 | 1,520,331.35 | 53.69 |
| 2025 | 1,520,331.35 | 53.69 |
| 2026 | 1,520,331.35 | 53.69 |
| 2027 | 1,520,331.35 | 53.69 |
| 2028 | 1,520,331.35 | 53.69 |
| 2029 | 1,520,331.35 | 53.69 |
| 2030 | 1,520,331.35 | 53.69 |
| 2031 | 1,520,331.35 | 53.69 |
| 2032 | 1,520,331.35 | 53.69 |
| 2033 | 1,520,331.35 | 53.69 |
| 2034 | 1,520,331.35 | 53.69 |
| 2035 | 1,520,331.35 | 53.69 |
| 2036 | 1,520,331.35 | 53.69 |
| 2037 | 1,520,331.35 | 53.69 |
| 2038 | 1,520,331.35 | 53.69 |

| | | |
|------|--------------|-------|
| 2039 | 1,520,331.35 | 53.69 |
| 2040 | 1,520,331.35 | 53.69 |
| 2041 | 1,520,331.35 | 53.69 |
| 2042 | 1,520,331.35 | 53.69 |
| 2043 | 1,520,331.35 | 53.69 |

Nota. Fuente: Elaboración Propia

3.2.4 Demanda de la Generación Eléctrica

Es necesario indicar que la generación eléctrica dentro de proyectos de gasoductos son considerados consumos ancla, ya que presentan volúmenes importantes que permiten alcanzar competitividad para viabilizar este tipo de proyectos.

No obstante, dentro de la investigación realizada con información que proporciona el Mapa Minero Energético del (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2022) no se identificó proyectos a futuro que obtén por la generación de electricidad a base de gas natural en las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín.

En ese aspecto, considerando que la vida de un proyecto de gasoductos incentiva el desarrollo de centrales termoeléctricas y son respaldadas por una política energética nacional para fines del presente cálculo se tendrá el siguiente supuesto:

- Desarrollo de un proyecto de una “Central Térmica en la región de Junín”, que consista en la construcción y operación de una planta termoeléctrica de 200 MW de capacidad, ubicada aledaña a la región de Junín.
- Los parámetros de generación de la Central Termoeléctrica son los siguientes:

Tabla 12

Parámetros de la Generación Eléctrica en la región de Junín

| Parámetro | Requerimiento |
|------------------------|---|
| Generación | 200 MW |
| Tipo de Central | Ciclo Simple |
| Operación | Inicia junto con la operación del gasoducto |
| Despacho | 5 horas diarias |
| Demanda de gas Natural | 10 MMPCD |

Nota. Fuente: Elaboración Propia

En ese sentido, considerando dichos parámetros se procedió a estimar la demanda de gas natural requerida por Central Termoeléctrica en la región de Junín:

Tabla 13

Demanda de gas natural de la Generación Eléctrica de la región de Junín

| Año | Sm³/día | MMPCD |
|------------|---------------------------|--------------|
| 2023 | 283,168.44 | 10 |
| 2024 | 283,168.44 | 10 |
| 2025 | 283,168.44 | 10 |
| 2026 | 283,168.44 | 10 |
| 2027 | 283,168.44 | 10 |
| 2028 | 283,168.44 | 10 |
| 2029 | 283,168.44 | 10 |
| 2030 | 283,168.44 | 10 |
| 2031 | 283,168.44 | 10 |
| 2032 | 283,168.44 | 10 |
| 2033 | 283,168.44 | 10 |
| 2034 | 283,168.44 | 10 |
| 2035 | 283,168.44 | 10 |
| 2036 | 283,168.44 | 10 |
| 2037 | 283,168.44 | 10 |
| 2038 | 283,168.44 | 10 |
| 2039 | 283,168.44 | 10 |
| 2040 | 283,168.44 | 10 |
| 2041 | 283,168.44 | 10 |
| 2042 | 283,168.44 | 10 |
| 2043 | 283,168.44 | 10 |

Nota. Fuente: Elaboración Propia

3.2.5 Demanda consolidada de gas natural de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín

Finalmente, considerando la demanda de gas natural de todos los sectores se procedió a estimar la demanda de gas natural total requerida para conocer el caudal de diseño del gasoducto.

Tabla 14

Demanda consolidada de gas natural de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín

| Año | Sm³/día | MMPCD |
|------------|---------------------------|--------------|
| 2023 | 2,941,167.94 | 103.87 |
| 2024 | 2,984,428.83 | 105.39 |
| 2025 | 3,029,949.23 | 107.00 |
| 2026 | 3,076,909.63 | 108.66 |
| 2027 | 3,125,926.37 | 110.39 |
| 2028 | 3,176,736.28 | 112.19 |
| 2029 | 3,229,802.52 | 114.06 |
| 2030 | 3,284,185.60 | 115.98 |
| 2031 | 3,342,207.68 | 118.03 |
| 2032 | 3,401,363.43 | 120.12 |
| 2033 | 3,463,701.85 | 122.12 |
| 2034 | 3,527,920.27 | 122.32 |
| 2035 | 3,594,755.03 | 124.59 |
| 2036 | 3,664,406.13 | 126.95 |
| 2037 | 3,736,823.56 | 129.41 |
| 2038 | 3,812,197.33 | 131.96 |
| 2039 | 3,891,263.77 | 134.36 |
| 2040 | 3,972,427.05 | 137.42 |
| 2041 | 4,057,149.83 | 140.28 |
| 2042 | 4,145,835.28 | 146.41 |
| 2043 | 4,237,340.74 | 149.64 |

Nota. Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15

Demanda consolidada de gas natural separada de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín al año 2043

| Región | Sm³/día | MMPCD |
|---------------|---------------------------|--------------|
| Ayacucho | 274,959.28 | 9.71 |
| Huancavelica | 151,497.86 | 5.35 |
| Junín | 3,810,883.60 | 134.58 |

Nota. Fuente: Elaboración Propia

3.3 Selección del Diámetro del Gasoducto y determinación de las propiedades del gas en todos los puntos múltiples

Considerando que el presente trabajo es el dimensionamiento hidráulico en la ampliación del gasoducto Ayacucho para la atención de la demanda de gas natural de la región Ayacucho, Huancavelica y Junín, se analizará dos diámetros para su diseño de acuerdo a los requerimientos de demanda identificados anteriormente y con dicha información se realizará el cálculo en múltiples secciones para determinar la caída de presión que tendrá el gasoducto a la llegada de la región de Junín en ambas alternativas desde el punto inicial ubicado en el gasoducto derivación Ayacucho de la empresa Transportadora de Gas del Perú S.A. hasta un futuro City Gate ubicado en la ciudad de la Oroya de la región de Junín.

Lo dicho anteriormente consiste en los siguientes pasos:

3.3.1 Determinación del Diámetro teórico

Para la determinación del diámetro teórico se asumió el un esquema hidráulico considerando solo dos puntos donde se entregará el Gas Natural (inicio del gasoducto en la ciudad de Ayacucho y finalización del gasoducto en la ciudad de la Oroya) tal como se aprecia en la figura 10, asimismo se consideró más variables para la determinación del mencionado diámetro:

Figura 10

Esquema asumido para la determinación del Diámetro Teórico



Nota 1. Fuente: Elaboración Propia

Nota 2. El esquema toma en consideración que en el punto final del Gasoducto pueda llegar toda la demanda de gas natural de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín.

a. Punto de recepción – City Gate Ayacucho

Tabla 16*Parámetros iniciales de presión y temperatura*

| Parámetro | Dato | USCC | SI |
|-----------------------|-------------|---------------|---------------|
| Presión (P_1) | 100.00 Barg | 1,465.10 psia | 10,101.51 Kpa |
| Temperatura (T_1) | 14.08 ° C | 517.01 °R | 287.23 °K |

Nota 1: De acuerdo al reporte operativo de (Transportadora de Gas del Perú S.A., 2022) la presión de entrega actual del gasoducto sin usar es de 62.09 Barg, no obstante se espera que cuando se encuentre operativo la ampliación del gasoducto de la derivación Ayacucho este pueda llegar a una presión normal de operación de 100 Barg, lo cual se considerara para el presente análisis.

Nota 2: Se tomó la temperatura promedio de la región de Ayacucho, con información proporcionada de (Weather Spark, 2022).

b. Punto de entrega – City Gate Oroya

Tabla 17*Parámetros finales de presión y temperatura*

| Parámetro | Dato | USCC | SI |
|-----------------------|------------|-------------|--------------|
| Presión (P_2) | 36 (Bar_C) | 536.84 psia | 3,701.41 Kpa |
| Temperatura (T_2) | 10.25 ° C | 510.12 °R | 283.40 °K |

Nota: Es preciso mencionar que la presión del punto de entrega se basa en la presión mínima necesaria técnicamente para entregar el gas natural en un City Gate requerido en la ciudad de la Oroya de la región de Junín.

Nota 2: Se tomó la temperatura promedio de la región de Junín, con información proporcionada de (Weather Spark, 2022).

c. Caudal del gas natural

Tabla 18*Caudal de diseño*

| Parámetro | Dato | USCC | SI |
|------------|----------------|--------------|-----------------------------------|
| Caudal (Q) | 149.64 (MMPCD) | 149,640 SCFD | 4,237,340.74 Sm ³ /día |

Nota: Se utiliza el Caudal del Gas Natural determinado para el año 2043 de acuerdo a la tabla del numeral 3.2.5 de la presente monografía.

d. Gravedad específica del gas natural

Tabla 19*Parámetros de la gravedad específica del gas natural*

| Parámetro | Dato |
|---|-----------------------|
| Gravedad Especifica del Gas Natural (G) | 0.6118 (Adimensional) |

Nota: La información se consiguió de reporte mensual estadístico de la empresa Transportadora de Gas Natural del Perú S.A. presentada al Ministerio de Energía y Minas.

e. Presión media

Para la determinación de la presión media se tiene que aplicar la fórmula 22 establecida en la presente monografía:

$$P_{avg} = \frac{2}{3} \left(\frac{P_1^3 - P_2^3}{P_1^2 - P_2^2} \right) = \frac{2}{3} \left(\frac{1465.10^3 - 536.84^3}{1465.10^2 - 536.84^2} \right)$$

$$P_{avg} = 1,072.70 \text{ psia}$$

f. Temperatura media

Se trata simplemente del promedio estadístico de la temperatura en el punto de entrega y el punto de recepción tal como se muestra a continuación

$$T_f = \left(\frac{T_1 + T_2}{2} \right) = \left(\frac{14.08 + 10.25}{2} \right) = 12.165 \text{ } ^\circ\text{C}$$

g. Factor de compresibilidad de gas natural a la temperatura del flujo

Para la determinación del factor de compresibilidad se aplica la fórmula 10 establecida en la presente monografía usando para ello la presión barométrica:

$$Z = \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{P_{avg} \cdot 344,400 \cdot 10^{1.785G}}{T_f^{3.825}} \right)} \right)$$

$$Z = \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{(1,072.70 \cdot 344,400 \cdot 10^{1.785 \times 0.6118})}{513.57^{3.825}} \right)} \right) = 0.836$$

Tabla 20

Parámetro del factor de compresibilidad

| Parámetro | Dato |
|-------------------------------|----------------------|
| Factor de Compresibilidad (Z) | 0.836 (Adimensional) |

Nota: Fuente: Elaboración Propia.

h. Longitud equivalente del segmento de tubería

Tabla 21

Parámetros iniciales para terminar la longitud equivalente

| Parámetro | Dato | USCC | SI |
|---------------------------------|-------------|-------------------|--------------|
| Longitud Real (L) | 379 244 (m) | 235.6508 (millas) | 379.244 (km) |
| Cota superior (H ₁) | 2893 (m) | 9,491.47 (ft) | 2,893 (m) |
| Cota inferior (H ₂) | 3720 (m) | 12,204.72 (ft) | 3,720 (m) |

Nota: Fuente: Elaboración Propia

Primeramente, se procede encontrar s aplicando la fórmula 20 establecida en la presente monografía:

$$s = 0.0684G \left(\frac{H_2 - H_1}{T_f Z} \right) = 0.0684 \times 0.6118 \times \left(\frac{3,720 - 2,893}{285.32 \times 0.836} \right)$$

$$s = 0.145032675$$

Finalmente, se aplica la fórmula 18 establecida en la presente monografía:

$$L_e = \frac{L(e^s - 1)}{s} = \frac{235.6508 \times (e^{0.145032675} - 1)}{0.145032675} = 253.5964 \text{ Millas}$$

Tabla 22*Dato de la longitud equivalente*

| Parámetro | Dato |
|--------------------------------|-------------------|
| Longitud equivalente (L_e) | 253.5964 (Millas) |

Nota: Fuente: Elaboración Propia

i. Presión y Temperatura base

Tabla 23*Parámetros de la temperatura y presión base*

| Parámetro | Dato | USCC | SI |
|----------------------------|--------------|-------------|------------|
| Temperatura base (T_b) | 60 (°F) | 519.67 °R | 288 °K |
| Presión Base (P_b) | 14.70 (psia) | 14.70 psia | 101.35 KPa |

Nota: Fuente: Elaboración Propia

j. Viscosidad del gas natural

Tabla 24*Parámetros de la viscosidad del gas natural*

| Parámetro | Dato |
|------------------|-------------|
| Viscosidad | 0.0155 (cp) |

Nota: Fuente: Elaboración Propia

k. Rugosidad absoluta de la tubería

Tabla 25*Parámetros de la rugosidad*

| Parámetro | Dato | Dato |
|------------------|-------------|-------------|
|------------------|-------------|-------------|

| | | |
|------------------------|------------|--------------|
| Rugosidad absoluta (e) | 0.045 (mm) | 0.00177 (in) |
|------------------------|------------|--------------|

Nota 1. Considera la rugosidad absoluta del acero comercial

Nota 2. Fuente: Tomado de (Generadores de Conocimientos, 2022)

I. Factor de transmisión

Para determinar el valor del factor de transmisión, se aplica la fórmula 31 establecida en la presente monografía, no obstante es necesario calcular f aplicando para ello la fórmula 30 lo cual nos lleva a tener que conocer el número de Re de acuerdo a la fórmula 26.

Para el presente cálculo se asumirá un diámetro de 14" pulgadas, considerando que es el diámetro establecido en el punto de entrega del gasoducto derivación Ayacucho de la empresa Transportadora de Gas Natural S.A.; para ello se considera los siguientes datos:

Tabla 26

Parámetros supuestos para determinar el diámetro teórico

| Diámetro Nominal | | Diámetro Exterior | | Espesor de Pared | |
|------------------|------------|-------------------|------------|------------------|------------|
| Pulgadas | Milímetros | Pulgadas | Milímetros | Pulgadas | Milímetros |
| (in) | (mm) | (in) | (mm) | (in) | (mm) |
| 14 | 350 | 14.0 | 355.6 | 0.438 | 11.13 |

Nota: Considera el diámetro del gasoducto de la derivación Ayacucho

Fuente: Tomado de (Grupo Vemacero C.A., 2022)

Hallando el Número de Reynolds

$$Re = 0.5134 \left(\frac{P_b}{T_b} \right) \left(\frac{GQ}{\mu D} \right)$$

$$Re = 0.5134 \times \frac{101.35 \times 0.6118 \times 4,237,332.53}{288 \times 0.0155 \times 10^{-2} \times (355.6 - 11.13)}$$

$$Re = 8,772,406.01$$

Hallando el factor de Darcy

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{e}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\text{Log}_{10} \left(\frac{0.00177}{3.7(14 - 0.438)} + \frac{2.51}{8,772,406.01\sqrt{f}} \right)$$

Iterando con un f asumido de 0.001

Tabla 27

Iteración para hallar el factor de fricción

| N° | fi | x | g(x) | g'(x) | Xi+1 | fi+1 |
|----|---------|----------|---------|----------|---------|---------|
| 0 | 0.00100 | 31.62278 | 8.70612 | -0.00560 | 8.83380 | 0.01281 |
| 1 | 0.01281 | 8.83380 | 8.84423 | -0.00657 | 8.84416 | 0.01278 |
| 2 | 0.01278 | 8.84416 | 8.84416 | -0.00657 | 8.84416 | 0.01278 |
| 3 | 0.01278 | 8.84416 | 8.84416 | -0.00657 | 8.84416 | 0.01278 |
| 4 | 0.01278 | 8.84416 | 8.84416 | -0.00657 | 8.84416 | 0.01278 |
| 5 | 0.01278 | 8.84416 | 8.84416 | -0.00657 | 8.84416 | 0.01278 |
| 6 | 0.01278 | 8.84416 | 8.84416 | -0.00657 | 8.84416 | 0.01278 |
| 7 | 0.01278 | 8.84416 | 8.84416 | -0.00657 | 8.84416 | 0.01278 |
| 8 | 0.01278 | 8.84416 | 8.84416 | -0.00657 | 8.84416 | 0.01278 |
| 9 | 0.01278 | 8.84416 | 8.84416 | -0.00657 | 8.84416 | 0.01278 |
| 10 | 0.01278 | 8.84416 | 8.84416 | -0.00657 | 8.84416 | 0.01278 |
| 11 | 0.01278 | 8.84416 | 8.84416 | -0.00657 | 8.84416 | 0.01278 |
| 12 | 0.01278 | 8.84416 | 8.84416 | -0.00657 | 8.84416 | 0.01278 |
| 13 | 0.01278 | 8.84416 | 8.84416 | -0.00657 | 8.84416 | 0.01278 |
| 14 | 0.01278 | 8.84416 | 8.84416 | -0.00657 | 8.84416 | 0.01278 |

Nota: Fuente: Elaboración Propia

$$f = 0.01278$$

Hallando F :

$$F = \frac{2}{\sqrt{f}} = \frac{2}{\sqrt{0.01278}} = 17.6915$$

En tal sentido, el diámetro teórico se calculará en base a la siguiente forma:

$$D_t = 2.5 \sqrt{\frac{Q}{38.77F \left(\frac{T_b}{P_b}\right) \left(\frac{P_1^2 - e^s P_2^2}{GT_f L_e Z}\right)^{0.5}}}$$

$$D_t = \sqrt[2.5]{\frac{149,640}{38.77 \times 17.6915 \times \left(\frac{519.67}{14.70}\right) \left(\frac{1465.10^2 - e^{0.145032675536.84^2}}{0.6118 \times 513.57 \times 252.5108 \times 0.836}\right)^{0.5}}}$$

$$D_t = 16.87 \text{ pulg}$$

3.3.2 Cálculos Hidráulicos de la ampliación del Gasoducto

Obtenido el diámetro teórico, se procede a realizar los cálculos hidráulicos con dos diámetros comerciales, considerando para ello la cota establecida en la Tabla 03 y demás parámetros iniciales identificadas en la presente monografía, con la finalidad de definir la mejor opción del desarrollo del gasoducto que inicie en la ciudad de Ayacucho, pase por la región de Huancavelica y culmine en la región de Junín:

Tabla 28

Parámetros del Diámetro Comercial de 16"

| Diámetro Nominal 1 | | Diámetro Exterior 1 | | Espesor de Pared 1 | |
|--------------------|------------|---------------------|------------|--------------------|------------|
| Pulgadas | Milímetros | Pulgadas | Milímetros | Pulgadas | Milímetros |
| (in) | (mm) | (in) | (mm) | (in) | (mm) |
| 16 | 400 | 16.0 | 406.4 | 0.50 | 12.70 |

Nota. Fuente: Tomado de Fiorella Representaciones S.A.C.(2022)

Tabla 29

Parámetros del Diámetro Comercial de 18"

| Diámetro Nominal 2 | | Diámetro Exterior 2 | | Espesor de Pared 2 | |
|--------------------|------------|---------------------|------------|--------------------|------------|
| Pulgadas | Milímetros | Pulgadas | Milímetros | Pulgadas | Milímetros |
| (in) | (mm) | (in) | (mm) | (in) | (mm) |
| 18 | 450 | 18.0 | 457.2 | 0.50 | 12.70 |

Nota. Fuente: Tomado de Fiorella Representaciones S.A.C.(2022)

Es preciso indicar que las siguientes tablas utilizan la ecuación general de los gases con efectos de la elevación y la ecuación de Colebrook, asimismo aplica la mayoría de las formulas establecidas dentro del marco teórico:

Tabla 30

Cálculo Hidráulico del Gasoducto de diámetro Nominal de 18"

| Tramo | Progresiva (m) | Longitud Real (m) | Longitud de Tubería (m) | Temperatura (°C) | Elevación (m) |
|-------|----------------|-------------------|-------------------------|------------------|---------------|
| | Ayacucho | - | - | 14.1 | 2,893 |
| 1 | Ayacucho | 6,700 | 6,700 | 14.1 | 2,550 |
| 2 | Ayacucho | 12,300 | 5,600 | 14.1 | 2,973 |
| 3 | Ayacucho | 16,600 | 4,300 | 14.1 | 2,446 |
| 4 | Ayacucho | 24,400 | 7,800 | 14.1 | 3,045 |
| 5 | Ayacucho | 28,900 | 4,500 | 14.1 | 2,036 |
| 6 | Ayacucho | 31,900 | 3,000 | 14.1 | 2,452 |
| 7 | Ayacucho | 36,100 | 4,200 | 14.1 | 2,575 |
| 8 | Ayacucho | 45,100 | 9,000 | 14.1 | 2,305 |
| 9 | Huancavelica | 48,100 | 3,000 | 12.5 | 2,605 |
| 10 | Huancavelica | 50,000 | 1,900 | 12.5 | 2,327 |
| 11 | Huancavelica | 50,900 | 900 | 12.5 | 2,647 |
| 12 | Huancavelica | 54,200 | 3,300 | 12.5 | 2,241 |
| 13 | Huancavelica | 57,800 | 3,600 | 12.5 | 2,590 |
| 14 | Huancavelica | 58,700 | 900 | 12.5 | 2,396 |
| 15 | Huancavelica | 67,700 | 9,000 | 12.5 | 3,464 |
| 16 | Huancavelica | 70,100 | 2,400 | 12.5 | 3,450 |
| 17 | Huancavelica | 76,100 | 6,000 | 12.5 | 3,252 |
| 18 | Huancavelica | 78,500 | 2,400 | 12.5 | 3,363 |
| 19 | Huancavelica | 89,700 | 11,200 | 12.5 | 3,456 |
| 20 | Huancavelica | 93,000 | 3,300 | 12.5 | 3,585 |
| 21 | Huancavelica | 97,200 | 4,200 | 12.5 | 3,366 |
| 22 | Huancavelica | 101,000 | 3,800 | 12.5 | 3,372 |
| 23 | Huancavelica | 109,000 | 8,000 | 12.5 | 3,925 |
| 24 | Huancavelica | 113,000 | 4,000 | 12.5 | 3,769 |
| 25 | Huancavelica | 120,000 | 7,000 | 12.5 | 3,770 |
| 26 | Huancavelica | 128,000 | 8,000 | 12.5 | 4,387.0 |
| 27 | Huancavelica | 135,000 | 7,000 | 12.5 | 4,421.0 |
| 28 | Huancavelica | 141,000 | 6,000 | 12.5 | 3,877.0 |
| 29 | Huancavelica | 144,000 | 3,000 | 12.5 | 3,878.0 |
| 30 | Huancavelica | 146,000 | 2,000 | 12.5 | 3,387.0 |
| 31 | Huancavelica | 147,000 | 1,000 | 12.5 | 3,729 |
| 32 | Huancavelica | 157,000 | 10,000 | 12.5 | 4,483 |
| 33 | Huancavelica | 163,000 | 6,000 | 12.5 | 4,366 |
| 34 | Huancavelica | 165,000 | 2,000 | 12.5 | 4,505 |
| 35 | Huancavelica | 171,000 | 6,000 | 12.5 | 3,941 |

| | | | | | |
|----|--------------|---------|--------|------|-------|
| 36 | Huancavelica | 175,000 | 4,000 | 12.5 | 4,368 |
| 37 | Huancavelica | 176,000 | 1,000 | 12.5 | 4,115 |
| 38 | Huancavelica | 177,000 | 1,000 | 12.5 | 4,317 |
| 39 | Huancavelica | 180,000 | 3,000 | 12.5 | 4,280 |
| 40 | Huancavelica | 183,000 | 3,000 | 12.5 | 3,789 |
| 41 | Huancavelica | 188,000 | 5,000 | 12.5 | 4,443 |
| 42 | Huancavelica | 190,000 | 2,000 | 12.5 | 4,165 |
| 43 | Huancavelica | 191,000 | 1,000 | 12.5 | 4,458 |
| 44 | Huancavelica | 194,000 | 3,000 | 12.5 | 4,105 |
| 45 | Huancavelica | 200,000 | 6,000 | 12.5 | 4,549 |
| 46 | Huancavelica | 202,000 | 2,000 | 12.5 | 4,418 |
| 47 | Huancavelica | 203,000 | 1,000 | 12.5 | 4,468 |
| 48 | Huancavelica | 210,000 | 7,000 | 12.5 | 3,292 |
| 49 | Huancavelica | 214,000 | 4,000 | 12.5 | 3,986 |
| 50 | Huancavelica | 219,000 | 5,000 | 12.5 | 3,015 |
| 51 | Junín | 225,000 | 6,000 | 10.3 | 3,020 |
| 52 | Junín | 228,000 | 3,000 | 10.3 | 4,322 |
| 53 | Junín | 230,000 | 2,000 | 10.3 | 3,933 |
| 54 | Junín | 255,000 | 25,000 | 10.3 | 3,203 |
| 55 | Junín | 262,000 | 7,000 | 10.3 | 4,358 |
| 56 | Junín | 266,000 | 4,000 | 10.3 | 4,354 |
| 57 | Junín | 277,000 | 11,000 | 10.3 | 3,350 |
| 58 | Junín | 282,000 | 5,000 | 10.3 | 3,744 |
| 59 | Junín | 283,000 | 1,000 | 10.3 | 3,441 |
| 60 | Junín | 286,000 | 3,000 | 10.3 | 3,650 |
| 61 | Junín | 289,000 | 3,000 | 10.3 | 3,467 |
| 62 | Junín | 290,000 | 1,000 | 10.3 | 3,647 |
| 63 | Junín | 291,000 | 1,000 | 10.3 | 3,467 |
| 64 | Junín | 294,000 | 3,000 | 10.3 | 3,776 |
| 65 | Junín | 300,000 | 6,000 | 10.3 | 3,778 |
| 66 | Junín | 305,000 | 5,000 | 10.3 | 4,263 |
| 67 | Junín | 306,000 | 1,000 | 10.3 | 4,166 |
| 68 | Junín | 311,000 | 5,000 | 10.3 | 4,433 |
| 69 | Junín | 315,000 | 4,000 | 10.3 | 4,058 |
| 70 | Junín | 318,000 | 3,000 | 10.3 | 4,266 |
| 71 | Junín | 323,000 | 5,000 | 10.3 | 4,145 |
| 72 | Junín | 329,000 | 6,000 | 10.3 | 3,566 |
| 73 | Junín | 333,000 | 4,000 | 10.3 | 3,559 |
| 74 | Junín | 335,000 | 2,000 | 10.3 | 3,746 |
| 75 | Junín | 337,000 | 2,000 | 10.3 | 3,560 |
| 76 | Junín | 369,000 | 32,000 | 10.3 | 3,720 |

| Tramo | Q (MMPCD) | Velocidad | Variación de Altura | L (Km) | s | Le (Km) | Le (Millas) |
|-------|--------------|-----------|------------------------|--------|----------|------------|----------------|
| 1 | 149.64 | 2.440 | -343 | 6.70 | -0.06295 | 6.493 | 4.035 |
| 2 | 149.64 | 2.544 | 423 | 5.60 | 0.07752 | 5.823 | 3.618 |
| 3 | 149.64 | 2.431 | -527 | 4.30 | -0.09661 | 4.099 | 2.547 |
| 4 | 149.64 | 2.579 | 599 | 7.80 | 0.10966 | 8.244 | 5.122 |
| 5 | 149.64 | 2.357 | -1,009 | 4.50 | -0.18535 | 4.108 | 2.552 |
| 6 | 149.64 | 2.453 | 416 | 3.00 | 0.07680 | 3.118 | 1.938 |
| 7 | 149.64 | 2.487 | 123 | 4.20 | 0.02258 | 4.248 | 2.639 |
| 8 | 149.64 | 2.439 | -270 | 9.00 | -0.04960 | 8.780 | 5.456 |
| 9 | 139.93 | 2.504 | 300 | 3.00 | 0.05532 | 3.085 | 1.917 |
| 10 | 139.93 | 2.436 | -278 | 1.90 | -0.05150 | 1.852 | 1.151 |
| 11 | 139.93 | 2.510 | 320 | 0.90 | 0.05925 | 0.927 | 0.576 |
| 12 | 139.93 | 2.422 | -406 | 3.30 | -0.07522 | 3.179 | 1.975 |
| 13 | 139.93 | 2.506 | 349 | 3.60 | 0.06467 | 3.719 | 2.311 |
| 14 | 139.93 | 2.462 | -194 | 0.90 | -0.03588 | 0.884 | 0.549 |
| 15 | 139.93 | 2.729 | 1,068 | 9.00 | 0.19589 | 9.942 | 6.178 |
| 16 | 139.93 | 2.730 | -14 | 2.40 | -0.00254 | 2.397 | 1.489 |
| 17 | 139.93 | 2.691 | -198 | 6.00 | -0.03598 | 5.893 | 3.662 |
| 18 | 139.93 | 2.722 | 111 | 2.40 | 0.02017 | 2.424 | 1.506 |
| 19 | 139.93 | 2.765 | 93 | 11.20 | 0.01686 | 11.295 | 7.018 |
| 20 | 139.93 | 2.803 | 129 | 3.30 | 0.02332 | 3.339 | 2.075 |
| 21 | 139.93 | 2.756 | -219 | 4.20 | -0.03960 | 4.118 | 2.559 |
| 22 | 139.93 | 2.764 | 6 | 3.80 | 0.00109 | 3.802 | 2.362 |
| 23 | 139.93 | 2.921 | 553 | 8.00 | 0.09958 | 8.412 | 5.227 |
| 24 | 139.93 | 2.889 | -156 | 4.00 | -0.02797 | 3.945 | 2.451 |
| 25 | 139.93 | 2.903 | 1 | 7.00 | 0.00018 | 7.001 | 4.350 |
| 26 | 139.93 | 3.086 | 617 | 8.00 | 0.11004 | 8.457 | 5.255 |
| 27 | 139.93 | 3.114 | 34 | 7.00 | 0.00603 | 7.021 | 4.363 |
| 28 | 139.93 | 2.981 | -544 | 6.00 | -0.09671 | 5.719 | 3.554 |
| 29 | 139.93 | 2.988 | 1 | 3.00 | 0.00018 | 3.000 | 1.864 |
| 30 | 139.93 | 2.863 | -491 | 2.00 | -0.08794 | 1.915 | 1.190 |
| 31 | 139.93 | 2.955 | 342 | 1.00 | 0.06131 | 1.031 | 0.641 |
| 32 | 139.93 | 3.185 | 754 | 10.00 | 0.13389 | 10.700 | 6.649 |
| 33 | 139.93 | 3.169 | -117 | 6.00 | -0.02065 | 5.938 | 3.690 |
| 34 | 139.93 | 3.213 | 139 | 2.00 | 0.02451 | 2.025 | 1.258 |
| 35 | 139.93 | 3.073 | -564 | 6.00 | -0.09972 | 5.711 | 3.548 |
| 36 | 139.93 | 3.202 | 427 | 4.00 | 0.07552 | 4.155 | 2.582 |
| 37 | 139.93 | 3.134 | -253 | 1.00 | -0.04467 | 0.978 | 0.608 |
| 38 | 139.93 | 3.193 | 202 | 1.00 | 0.03567 | 1.018 | 0.633 |
| 39 | 139.93 | 3.191 | -37 | 3.00 | -0.00652 | 2.990 | 1.858 |
| 40 | 139.93 | 3.063 | -491 | 3.00 | -0.08689 | 2.873 | 1.785 |

| | | | | | | | |
|----|--------|-------|--------|-------|----------|--------|--------|
| 41 | 139.93 | 3.259 | 654 | 5.00 | 0.11553 | 5.300 | 3.293 |
| 42 | 139.93 | 3.186 | -278 | 2.00 | -0.04894 | 1.952 | 1.213 |
| 43 | 139.93 | 3.272 | 293 | 1.00 | 0.05156 | 1.026 | 0.638 |
| 44 | 139.93 | 3.181 | -353 | 3.00 | -0.06213 | 2.909 | 1.807 |
| 45 | 139.93 | 3.325 | 444 | 6.00 | 0.07804 | 6.240 | 3.878 |
| 46 | 139.93 | 3.294 | -131 | 2.00 | -0.02296 | 1.977 | 1.229 |
| 47 | 139.93 | 3.311 | 50 | 1.00 | 0.00876 | 1.004 | 0.624 |
| 48 | 139.93 | 3.002 | -1,176 | 7.00 | -0.20786 | 6.320 | 3.927 |
| 49 | 139.93 | 3.203 | 694 | 4.00 | 0.12300 | 4.256 | 2.645 |
| 50 | 139.93 | 2.951 | -971 | 5.00 | -0.17237 | 4.593 | 2.854 |
| 51 | 134.58 | 2.952 | 5 | 6.00 | 0.00090 | 6.003 | 3.730 |
| 52 | 134.58 | 3.312 | 1,302 | 3.00 | 0.23331 | 3.379 | 2.100 |
| 53 | 134.58 | 3.205 | -389 | 2.00 | -0.06915 | 1.932 | 1.201 |
| 54 | 134.58 | 3.062 | -730 | 25.00 | -0.13067 | 23.436 | 14.562 |
| 55 | 134.58 | 3.414 | 1,155 | 7.00 | 0.20567 | 7.772 | 4.829 |
| 56 | 134.58 | 3.425 | -4 | 4.00 | -0.00071 | 3.999 | 2.485 |
| 57 | 134.58 | 3.164 | -1,004 | 11.00 | -0.17819 | 10.076 | 6.261 |
| 58 | 134.58 | 3.290 | 394 | 5.00 | 0.07016 | 5.180 | 3.218 |
| 59 | 134.58 | 3.206 | -303 | 1.00 | -0.05389 | 0.974 | 0.605 |
| 60 | 134.58 | 3.274 | 209 | 3.00 | 0.03719 | 3.056 | 1.899 |
| 61 | 134.58 | 3.229 | -183 | 3.00 | -0.03254 | 2.952 | 1.834 |
| 62 | 134.58 | 3.284 | 180 | 1.00 | 0.03200 | 1.016 | 0.631 |
| 63 | 134.58 | 3.235 | -180 | 1.00 | -0.03199 | 0.984 | 0.612 |
| 64 | 134.58 | 3.333 | 309 | 3.00 | 0.05485 | 3.084 | 1.916 |
| 65 | 134.58 | 3.352 | 2 | 6.00 | 0.00035 | 6.001 | 3.729 |
| 66 | 134.58 | 3.515 | 485 | 5.00 | 0.08546 | 5.220 | 3.243 |
| 67 | 134.58 | 3.489 | -97 | 1.00 | -0.01704 | 0.992 | 0.616 |
| 68 | 134.58 | 3.590 | 267 | 5.00 | 0.04681 | 5.119 | 3.181 |
| 69 | 134.58 | 3.488 | -375 | 4.00 | -0.06575 | 3.871 | 2.406 |
| 70 | 134.58 | 3.563 | 208 | 3.00 | 0.03649 | 3.055 | 1.899 |
| 71 | 134.58 | 3.543 | -121 | 5.00 | -0.02120 | 4.947 | 3.074 |
| 72 | 134.58 | 3.387 | -579 | 6.00 | -0.10187 | 5.705 | 3.545 |
| 73 | 134.58 | 3.398 | -7 | 4.00 | -0.00124 | 3.998 | 2.484 |
| 74 | 134.58 | 3.461 | 187 | 2.00 | 0.03295 | 2.033 | 1.263 |
| 75 | 134.58 | 3.411 | -186 | 2.00 | -0.03277 | 1.968 | 1.223 |
| 76 | 134.58 | 3.571 | 160 | 32.00 | 0.02812 | 32.45 | 20.166 |

| Tramo | Re | F | Z | Tmedia (°C) | Tmedia (°K) | Tmedia (°R) |
|-------|-------------|---------|-------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 6789027.025 | 21.2053 | 0.793 | 14.08 | 287.23 | 517.01 |
| 2 | 6789012.894 | 21.2053 | 0.794 | 14.08 | 287.23 | 517.01 |

| | | | | | | |
|----|-------------|---------|-------|-------|--------|--------|
| 3 | 6789028.976 | 21.2053 | 0.794 | 14.08 | 287.23 | 517.01 |
| 4 | 6789026.619 | 21.2053 | 0.795 | 14.08 | 287.23 | 517.01 |
| 5 | 6789041.635 | 21.2053 | 0.792 | 14.08 | 287.23 | 517.01 |
| 6 | 6789026.399 | 21.2053 | 0.788 | 14.08 | 287.23 | 517.01 |
| 7 | 6789026.771 | 21.2053 | 0.793 | 14.08 | 287.23 | 517.01 |
| 8 | 6789030.459 | 21.2053 | 0.792 | 14.08 | 287.23 | 517.01 |
| 9 | 6348490.594 | 21.2053 | 0.791 | 13.29 | 286.44 | 515.59 |
| 10 | 6348493.087 | 21.2053 | 0.790 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 11 | 6348493.119 | 21.2053 | 0.790 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 12 | 6348476.144 | 21.2053 | 0.790 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 13 | 6348467.709 | 21.2053 | 0.790 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 14 | 6348493.956 | 21.2053 | 0.791 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 15 | 6348493.238 | 21.2053 | 0.798 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 16 | 6348474.657 | 21.2053 | 0.807 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 17 | 6348483.125 | 21.2053 | 0.805 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 18 | 6348491.873 | 21.2053 | 0.805 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 19 | 6348519.414 | 21.2053 | 0.807 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 20 | 6348493.206 | 21.2053 | 0.810 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 21 | 6348493.498 | 21.2053 | 0.809 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 22 | 6348452.893 | 21.2053 | 0.808 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 23 | 6348493.24 | 21.2053 | 0.813 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 24 | 6348457.858 | 21.2053 | 0.816 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 25 | 6348481.19 | 21.2053 | 0.816 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 26 | 6348493.565 | 21.2053 | 0.821 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 27 | 6348504.947 | 21.2053 | 0.826 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 28 | 6348493.155 | 21.2053 | 0.823 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 29 | 6348492.407 | 21.2053 | 0.820 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 30 | 6348507.662 | 21.2053 | 0.817 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 31 | 6348493.299 | 21.2053 | 0.816 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 32 | 6348493.125 | 21.2053 | 0.824 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 33 | 6348493.224 | 21.2053 | 0.829 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 34 | 6348492.917 | 21.2053 | 0.830 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 35 | 6348493.22 | 21.2053 | 0.828 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 36 | 6348492.573 | 21.2053 | 0.827 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 37 | 6348493.231 | 21.2053 | 0.829 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 38 | 6348493.633 | 21.2053 | 0.829 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 39 | 6348493.144 | 21.2053 | 0.830 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 40 | 6348495.691 | 21.2053 | 0.827 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 41 | 6348493.205 | 21.2053 | 0.828 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 42 | 6348493.273 | 21.2053 | 0.831 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 43 | 6348490.573 | 21.2053 | 0.832 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 44 | 6348494.653 | 21.2053 | 0.832 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 45 | 6348500.033 | 21.2053 | 0.833 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |

| | | | | | | |
|----|-------------|---------|-------|-------|--------|--------|
| 46 | 6348493.594 | 21.2053 | 0.835 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 47 | 6348486.418 | 21.2053 | 0.835 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 48 | 6348496.186 | 21.2053 | 0.828 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 49 | 6348486.418 | 21.2053 | 0.826 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 50 | 6348493.21 | 21.2053 | 0.824 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 51 | 6105768.749 | 21.2053 | 0.817 | 11.38 | 284.53 | 512.15 |
| 52 | 6105757.822 | 21.2053 | 0.823 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 53 | 6105766.175 | 21.2053 | 0.830 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 54 | 6105768.71 | 21.2053 | 0.824 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 55 | 6105767.209 | 21.2053 | 0.828 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 56 | 6105768.644 | 21.2053 | 0.837 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 57 | 6105748.789 | 21.2053 | 0.831 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 58 | 6105767.228 | 21.2053 | 0.828 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 59 | 6105772.391 | 21.2053 | 0.829 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 60 | 6105723.426 | 21.2053 | 0.829 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 61 | 6105767.955 | 21.2053 | 0.830 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 62 | 6105761.702 | 21.2053 | 0.830 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 63 | 6105773.902 | 21.2053 | 0.830 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 64 | 6105769.888 | 21.2053 | 0.831 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 65 | 6105769.234 | 21.2053 | 0.833 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 66 | 6105754.49 | 21.2053 | 0.837 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 67 | 6105768.784 | 21.2053 | 0.840 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 68 | 6105768.819 | 21.2053 | 0.841 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 69 | 6105768.806 | 21.2053 | 0.841 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 70 | 6105780.492 | 21.2053 | 0.841 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 71 | 6105768.67 | 21.2053 | 0.842 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 72 | 6105769.057 | 21.2053 | 0.838 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 73 | 6105768.72 | 21.2053 | 0.836 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 74 | 6105771.917 | 21.2053 | 0.837 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 75 | 6105768.726 | 21.2053 | 0.837 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 76 | 6105807.629 | 21.2053 | 0.839 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |

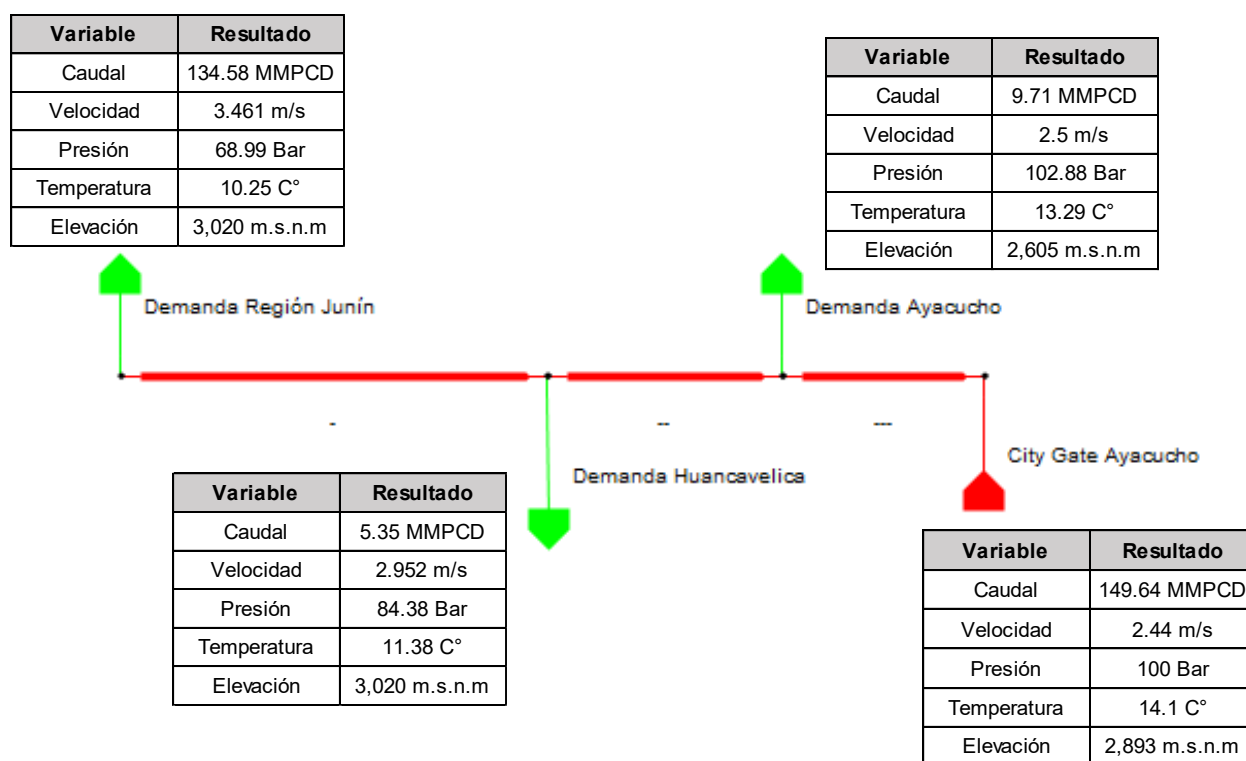
| Tramo | P1 (bar_g) | P1 (KPa) | P1 (psig) | P2 (bar_g) | P2 (KPa) | P2 (psig) |
|--------------|-------------------|-----------------|------------------|-------------------|-----------------|------------------|
| 1 | 100.00 | 10,101.35 | 1,450.40 | 102.83 | 10,384.4 | 1,491.4 |
| 2 | 102.83 | 10384.37 | 1491.45 | 98.56 | 9,957.1 | 1,429.5 |
| 3 | 98.56 | 9,957.07 | 1,429.47 | 103.22 | 10,423.8 | 1,497.2 |
| 4 | 103.22 | 10,423.84 | 1,497.17 | 97.21 | 9,822.5 | 1,409.9 |
| 5 | 97.21 | 9,822.45 | 1,409.95 | 106.47 | 10,748.7 | 1,544.3 |
| 6 | 106.47 | 10,748.70 | 1,544.29 | 102.26 | 10,327.1 | 1,483.1 |
| 7 | 102.26 | 10,327.06 | 1,483.14 | 100.85 | 10,186.7 | 1,462.8 |
| 8 | 100.85 | 10,186.66 | 1,462.77 | 102.88 | 10,389.2 | 1,492.2 |
| 9 | 102.88 | 10,389.22 | 1,492.15 | 99.89 | 10,090.6 | 1,448.8 |
| 10 | 99.89 | 10,090.65 | 1,448.85 | 102.43 | 10,344.0 | 1,485.6 |
| 11 | 102.43 | 10,344.04 | 1,485.60 | 99.36 | 10,037.6 | 1,441.2 |
| 12 | 99.36 | 10,037.57 | 1,441.15 | 103.04 | 10,405.1 | 1,494.5 |
| 13 | 103.04 | 10,405.13 | 1,494.46 | 99.55 | 10,056.0 | 1,443.8 |
| 14 | 99.55 | 10,056.03 | 1,443.83 | 101.32 | 10,233.4 | 1,469.6 |
| 15 | 101.32 | 10,233.41 | 1,469.55 | 91.31 | 9,232.2 | 1,324.3 |
| 16 | 91.31 | 9,232.18 | 1,324.34 | 91.29 | 9,230.1 | 1,324.0 |
| 17 | 91.29 | 9,230.09 | 1,324.03 | 92.62 | 9,363.1 | 1,343.3 |
| 18 | 92.62 | 9,363.05 | 1,343.32 | 91.54 | 9,255.5 | 1,327.7 |
| 19 | 91.54 | 9,255.47 | 1,327.71 | 90.12 | 9,113.2 | 1,307.1 |
| 20 | 90.12 | 9,113.15 | 1,307.07 | 88.87 | 8,988.2 | 1,288.9 |
| 21 | 88.87 | 8,988.17 | 1,288.95 | 90.42 | 9,142.9 | 1,311.4 |
| 22 | 90.42 | 9,142.95 | 1,311.39 | 90.14 | 9,115.8 | 1,307.5 |
| 23 | 90.14 | 9,115.81 | 1,307.46 | 85.25 | 8,625.9 | 1,236.4 |
| 24 | 85.25 | 8,625.88 | 1,236.40 | 86.21 | 8,722.4 | 1,250.4 |
| 25 | 86.21 | 8,722.39 | 1,250.40 | 85.77 | 8,678.3 | 1,244.0 |
| 26 | 85.77 | 8,678.35 | 1,244.01 | 80.62 | 8,163.7 | 1,169.4 |
| 27 | 80.62 | 8,163.72 | 1,169.37 | 79.91 | 8,092.4 | 1,159.0 |
| 28 | 79.91 | 8,092.35 | 1,159.02 | 83.52 | 8,452.9 | 1,211.3 |
| 29 | 83.52 | 8,452.93 | 1,211.31 | 83.32 | 8,433.0 | 1,208.4 |
| 30 | 83.32 | 8,432.96 | 1,208.42 | 86.98 | 8,799.2 | 1,261.5 |
| 31 | 86.98 | 8,799.22 | 1,261.54 | 84.26 | 8,527.5 | 1,222.1 |
| 32 | 84.26 | 8,527.45 | 1,222.12 | 78.10 | 7,911.2 | 1,132.7 |
| 33 | 78.10 | 7,911.24 | 1,132.75 | 78.50 | 7,951.8 | 1,138.6 |
| 34 | 78.50 | 7,951.76 | 1,138.63 | 77.40 | 7,841.1 | 1,122.6 |
| 35 | 77.40 | 7,841.14 | 1,122.58 | 80.99 | 8,200.1 | 1,174.6 |

| | | | | | | |
|----|-------|----------|----------|-------|---------|---------|
| 36 | 80.99 | 8,200.13 | 1,174.65 | 77.68 | 7,869.6 | 1,126.7 |
| 37 | 77.68 | 7,869.62 | 1,126.71 | 79.39 | 8,040.4 | 1,151.5 |
| 38 | 79.39 | 8,040.40 | 1,151.48 | 77.90 | 7,891.5 | 1,129.9 |
| 39 | 77.90 | 7,891.47 | 1,129.88 | 77.95 | 7,896.4 | 1,130.6 |
| 40 | 77.95 | 7,896.43 | 1,130.60 | 81.25 | 8,226.3 | 1,178.4 |
| 41 | 81.25 | 8,226.29 | 1,178.44 | 76.30 | 7,731.3 | 1,106.6 |
| 42 | 76.30 | 7,731.29 | 1,106.65 | 78.07 | 7,908.6 | 1,132.4 |
| 43 | 78.07 | 7,908.61 | 1,132.37 | 75.99 | 7,700.4 | 1,102.2 |
| 44 | 75.99 | 7,700.39 | 1,102.17 | 78.21 | 7,922.0 | 1,134.3 |
| 45 | 78.21 | 7,921.96 | 1,134.30 | 74.76 | 7,577.1 | 1,084.3 |
| 46 | 74.76 | 7,577.11 | 1,084.29 | 75.49 | 7,650.0 | 1,094.9 |
| 47 | 75.49 | 7,650.04 | 1,094.86 | 75.08 | 7,609.4 | 1,089.0 |
| 48 | 75.08 | 7,609.39 | 1,088.97 | 82.91 | 8,392.3 | 1,202.5 |
| 49 | 82.91 | 8,392.33 | 1,202.52 | 77.64 | 7,865.8 | 1,126.2 |
| 50 | 77.64 | 7,865.76 | 1,126.15 | 84.38 | 8,539.1 | 1,223.8 |
| 51 | 84.38 | 8,539.08 | 1,223.81 | 83.99 | 8,500.3 | 1,218.2 |
| 52 | 83.99 | 8,500.33 | 1,218.19 | 74.45 | 7,546.7 | 1,079.9 |
| 53 | 74.45 | 7,546.73 | 1,079.88 | 76.98 | 7,798.9 | 1,116.5 |
| 54 | 76.98 | 7,798.90 | 1,116.45 | 80.63 | 8,164.0 | 1,169.4 |
| 55 | 80.63 | 8,163.96 | 1,169.40 | 72.22 | 7,323.0 | 1,047.4 |
| 56 | 72.22 | 7,322.98 | 1,047.43 | 71.97 | 7,297.9 | 1,043.8 |
| 57 | 71.97 | 7,297.86 | 1,043.78 | 78.00 | 7,901.7 | 1,131.4 |
| 58 | 78.00 | 7,901.67 | 1,131.36 | 74.96 | 7,597.5 | 1,087.2 |
| 59 | 74.96 | 7,597.51 | 1,087.24 | 76.97 | 7,798.4 | 1,116.4 |
| 60 | 76.97 | 7,798.41 | 1,116.38 | 75.34 | 7,635.4 | 1,092.7 |
| 61 | 75.34 | 7,635.42 | 1,092.74 | 76.40 | 7,740.9 | 1,108.0 |
| 62 | 76.40 | 7,740.93 | 1,108.05 | 75.10 | 7,611.6 | 1,089.3 |
| 63 | 75.10 | 7,611.58 | 1,089.28 | 76.26 | 7,727.7 | 1,106.1 |
| 64 | 76.26 | 7,727.72 | 1,106.13 | 73.98 | 7,499.1 | 1,073.0 |
| 65 | 73.98 | 7,499.11 | 1,072.97 | 73.56 | 7,457.3 | 1,066.9 |
| 66 | 73.56 | 7,457.34 | 1,066.91 | 70.10 | 7,111.3 | 1,016.7 |
| 67 | 70.10 | 7,111.35 | 1,016.73 | 70.64 | 7,165.0 | 1,024.5 |
| 68 | 70.64 | 7,165.03 | 1,024.52 | 68.62 | 6,963.7 | 995.3 |
| 69 | 68.62 | 6,963.66 | 995.31 | 70.66 | 7,167.1 | 1,024.8 |
| 70 | 70.66 | 7,167.10 | 1,024.82 | 69.15 | 7,016.2 | 1,002.9 |
| 71 | 69.15 | 7,016.19 | 1,002.93 | 69.53 | 7,054.6 | 1,008.5 |
| 72 | 69.53 | 7,054.58 | 1,008.50 | 72.79 | 7,379.9 | 1,055.7 |
| 73 | 72.79 | 7,379.93 | 1,055.69 | 72.56 | 7,357.0 | 1,052.4 |
| 74 | 72.56 | 7,357.05 | 1,052.37 | 71.22 | 7,223.0 | 1,032.9 |
| 75 | 71.22 | 7,223.04 | 1,032.93 | 72.27 | 7,328.3 | 1,048.2 |
| 76 | 72.27 | 7,328.32 | 1,048.20 | 68.99 | 7,000.8 | 1,000.7 |

Nota: Fuente: Elaboración Propia

Figura 11

Sistema Hidráulico del Gasoducto con diámetro Nominal 18"



Nota. Fuente: Elaboración Propia

Tabla 31

Cálculo Hidráulico del Gasoducto de diámetro Nominal 16"

| Tramo | Progresiva (m) | Longitud Real (m) | Longitud de Tubería (m) | Temperatura (°C) | Elevación (m) |
|-------|----------------|-------------------|-------------------------|------------------|---------------|
| | Ayacucho | - | - | 14.1 | 2,893 |
| 1 | Ayacucho | 6,700 | 6,700 | 14.1 | 2,550 |
| 2 | Ayacucho | 12,300 | 5,600 | 14.1 | 2,973 |
| 3 | Ayacucho | 16,600 | 4,300 | 14.1 | 2,446 |
| 4 | Ayacucho | 24,400 | 7,800 | 14.1 | 3,045 |
| 5 | Ayacucho | 28,900 | 4,500 | 14.1 | 2,036 |
| 6 | Ayacucho | 31,900 | 3,000 | 14.1 | 2,452 |
| 7 | Ayacucho | 36,100 | 4,200 | 14.1 | 2,575 |
| 8 | Ayacucho | 45,100 | 9,000 | 14.1 | 2,305 |
| 9 | Huancavelica | 48,100 | 3,000 | 12.5 | 2,605 |
| 10 | Huancavelica | 50,000 | 1,900 | 12.5 | 2,327 |
| 11 | Huancavelica | 50,900 | 900 | 12.5 | 2,647 |
| 12 | Huancavelica | 54,200 | 3,300 | 12.5 | 2,241 |
| 13 | Huancavelica | 57,800 | 3,600 | 12.5 | 2,590 |
| 14 | Huancavelica | 58,700 | 900 | 12.5 | 2,396 |
| 15 | Huancavelica | 67,700 | 9,000 | 12.5 | 3,464 |
| 16 | Huancavelica | 70,100 | 2,400 | 12.5 | 3,450 |
| 17 | Huancavelica | 76,100 | 6,000 | 12.5 | 3,252 |
| 18 | Huancavelica | 78,500 | 2,400 | 12.5 | 3,363 |
| 19 | Huancavelica | 89,700 | 11,200 | 12.5 | 3,456 |
| 20 | Huancavelica | 93,000 | 3,300 | 12.5 | 3,585 |
| 21 | Huancavelica | 97,200 | 4,200 | 12.5 | 3,366 |
| 22 | Huancavelica | 101,000 | 3,800 | 12.5 | 3,372 |
| 23 | Huancavelica | 109,000 | 8,000 | 12.5 | 3,925 |
| 24 | Huancavelica | 113,000 | 4,000 | 12.5 | 3,769 |
| 25 | Huancavelica | 120,000 | 7,000 | 12.5 | 3,770 |
| 26 | Huancavelica | 128,000 | 8,000 | 12.5 | 4,387.0 |
| 27 | Huancavelica | 135,000 | 7,000 | 12.5 | 4,421.0 |
| 28 | Huancavelica | 141,000 | 6,000 | 12.5 | 3,877.0 |
| 29 | Huancavelica | 144,000 | 3,000 | 12.5 | 3,878.0 |
| 30 | Huancavelica | 146,000 | 2,000 | 12.5 | 3,387.0 |
| 31 | Huancavelica | 147,000 | 1,000 | 12.5 | 3,729 |
| 32 | Huancavelica | 157,000 | 10,000 | 12.5 | 4,483 |
| 33 | Huancavelica | 163,000 | 6,000 | 12.5 | 4,366 |
| 34 | Huancavelica | 165,000 | 2,000 | 12.5 | 4,505 |

| | | | | | |
|----|--------------|---------|--------|------|-------|
| 35 | Huancavelica | 171,000 | 6,000 | 12.5 | 3,941 |
| 36 | Huancavelica | 175,000 | 4,000 | 12.5 | 4,368 |
| 37 | Huancavelica | 176,000 | 1,000 | 12.5 | 4,115 |
| 38 | Huancavelica | 177,000 | 1,000 | 12.5 | 4,317 |
| 39 | Huancavelica | 180,000 | 3,000 | 12.5 | 4,280 |
| 40 | Huancavelica | 183,000 | 3,000 | 12.5 | 3,789 |
| 41 | Huancavelica | 188,000 | 5,000 | 12.5 | 4,443 |
| 42 | Huancavelica | 190,000 | 2,000 | 12.5 | 4,165 |
| 43 | Huancavelica | 191,000 | 1,000 | 12.5 | 4,458 |
| 44 | Huancavelica | 194,000 | 3,000 | 12.5 | 4,105 |
| 45 | Huancavelica | 200,000 | 6,000 | 12.5 | 4,549 |
| 46 | Huancavelica | 202,000 | 2,000 | 12.5 | 4,418 |
| 47 | Huancavelica | 203,000 | 1,000 | 12.5 | 4,468 |
| 48 | Huancavelica | 210,000 | 7,000 | 12.5 | 3,292 |
| 49 | Huancavelica | 214,000 | 4,000 | 12.5 | 3,986 |
| 50 | Huancavelica | 219,000 | 5,000 | 12.5 | 3,015 |
| 51 | Junín | 225,000 | 6,000 | 10.3 | 3,020 |
| 52 | Junín | 228,000 | 3,000 | 10.3 | 4,322 |
| 53 | Junín | 230,000 | 2,000 | 10.3 | 3,933 |
| 54 | Junín | 255,000 | 25,000 | 10.3 | 3,203 |
| 55 | Junín | 262,000 | 7,000 | 10.3 | 4,358 |
| 56 | Junín | 266,000 | 4,000 | 10.3 | 4,354 |
| 57 | Junín | 277,000 | 11,000 | 10.3 | 3,350 |
| 58 | Junín | 282,000 | 5,000 | 10.3 | 3,744 |
| 59 | Junín | 283,000 | 1,000 | 10.3 | 3,441 |
| 60 | Junín | 286,000 | 3,000 | 10.3 | 3,650 |
| 61 | Junín | 289,000 | 3,000 | 10.3 | 3,467 |
| 62 | Junín | 290,000 | 1,000 | 10.3 | 3,647 |
| 63 | Junín | 291,000 | 1,000 | 10.3 | 3,467 |
| 64 | Junín | 294,000 | 3,000 | 10.3 | 3,776 |
| 65 | Junín | 300,000 | 6,000 | 10.3 | 3,778 |
| 66 | Junín | 305,000 | 5,000 | 10.3 | 4,263 |
| 67 | Junín | 306,000 | 1,000 | 10.3 | 4,166 |
| 68 | Junín | 311,000 | 5,000 | 10.3 | 4,433 |
| 69 | Junín | 315,000 | 4,000 | 10.3 | 4,058 |
| 70 | Junín | 318,000 | 3,000 | 10.3 | 4,266 |
| 71 | Junín | 323,000 | 5,000 | 10.3 | 4,145 |
| 72 | Junín | 329,000 | 6,000 | 10.3 | 3,566 |
| 73 | Junín | 333,000 | 4,000 | 10.3 | 3,559 |
| 74 | Junín | 335,000 | 2,000 | 10.3 | 3,746 |
| 75 | Junín | 337,000 | 2,000 | 10.3 | 3,560 |
| 76 | Junín | 369,000 | 32,000 | 10.3 | 3,720 |

| Tramo | Q (MMPCD) | Velocidad | Variación de Altura | L (Km) | s | Le (Km) | Le (Millas) |
|-------|--------------|-----------|------------------------|--------|-----------|------------|----------------|
| 1 | 149.64 | 3.118 | -343 | 6.70 | -0.062925 | 6.494 | 4.035 |
| 2 | 149.64 | 3.261 | 423 | 5.60 | 0.077444 | 5.823 | 3.618 |
| 3 | 149.64 | 3.121 | -527 | 4.30 | -0.096473 | 4.099 | 2.547 |
| 4 | 149.64 | 3.325 | 599 | 7.80 | 0.109442 | 8.243 | 5.122 |
| 5 | 149.64 | 3.046 | -1,009 | 4.50 | -0.184848 | 4.109 | 2.553 |
| 6 | 149.64 | 3.175 | 416 | 3.00 | 0.076561 | 3.118 | 1.937 |
| 7 | 149.64 | 3.225 | 123 | 4.20 | 0.022501 | 4.248 | 2.639 |
| 8 | 149.64 | 3.177 | -270 | 9.00 | -0.049389 | 8.781 | 5.456 |
| 9 | 139.93 | 3.266 | 300 | 3.00 | 0.055061 | 3.084 | 1.916 |
| 10 | 139.93 | 3.180 | -278 | 1.90 | -0.051240 | 1.852 | 1.151 |
| 11 | 139.93 | 3.278 | 320 | 0.90 | 0.058942 | 0.927 | 0.576 |
| 12 | 139.93 | 3.168 | -406 | 3.30 | -0.074814 | 3.180 | 1.976 |
| 13 | 139.93 | 3.283 | 349 | 3.60 | 0.064302 | 3.718 | 2.310 |
| 14 | 139.93 | 3.227 | -194 | 0.90 | -0.035673 | 0.884 | 0.549 |
| 15 | 139.93 | 3.592 | 1,068 | 9.00 | 0.194692 | 9.936 | 6.174 |
| 16 | 139.93 | 3.598 | -14 | 2.40 | -0.002524 | 2.397 | 1.489 |
| 17 | 139.93 | 3.560 | -198 | 6.00 | -0.035728 | 5.894 | 3.662 |
| 18 | 139.93 | 3.606 | 111 | 2.40 | 0.020025 | 2.424 | 1.506 |
| 19 | 139.93 | 3.688 | 93 | 11.20 | 0.016722 | 11.294 | 7.018 |
| 20 | 139.93 | 3.747 | 129 | 3.30 | 0.023112 | 3.338 | 2.074 |
| 21 | 139.93 | 3.695 | -219 | 4.20 | -0.039230 | 4.119 | 2.559 |
| 22 | 139.93 | 3.715 | 6 | 3.80 | 0.001076 | 3.802 | 2.362 |
| 23 | 139.93 | 3.946 | 553 | 8.00 | 0.098555 | 8.407 | 5.224 |
| 24 | 139.93 | 3.915 | -156 | 4.00 | -0.027668 | 3.945 | 2.451 |
| 25 | 139.93 | 3.956 | 1 | 7.00 | 0.000177 | 7.001 | 4.350 |
| 26 | 139.93 | 4.232 | 617 | 8.00 | 0.108686 | 8.451 | 5.251 |
| 27 | 139.93 | 4.297 | 34 | 7.00 | 0.005947 | 7.021 | 4.363 |
| 28 | 139.93 | 4.140 | -544 | 6.00 | -0.095327 | 5.723 | 3.556 |
| 29 | 139.93 | 4.161 | 1 | 3.00 | 0.000176 | 3.000 | 1.864 |
| 30 | 139.93 | 3.997 | -491 | 2.00 | -0.086531 | 1.916 | 1.190 |
| 31 | 139.93 | 4.126 | 342 | 1.00 | 0.060314 | 1.031 | 0.640 |
| 32 | 139.93 | 4.487 | 754 | 10.00 | 0.131713 | 10.688 | 6.641 |
| 33 | 139.93 | 4.495 | -117 | 6.00 | -0.020293 | 5.940 | 3.691 |
| 34 | 139.93 | 4.568 | 139 | 2.00 | 0.024075 | 2.024 | 1.258 |
| 35 | 139.93 | 4.401 | -564 | 6.00 | -0.097852 | 5.716 | 3.552 |
| 36 | 139.93 | 4.603 | 427 | 4.00 | 0.074039 | 4.152 | 2.580 |
| 37 | 139.93 | 4.513 | -253 | 1.00 | -0.043779 | 0.978 | 0.608 |
| 38 | 139.93 | 4.602 | 202 | 1.00 | 0.034955 | 1.018 | 0.632 |
| 39 | 139.93 | 4.616 | -37 | 3.00 | -0.006391 | 2.990 | 1.858 |
| 40 | 139.93 | 4.451 | -491 | 3.00 | -0.085040 | 2.876 | 1.787 |

| | | | | | | | |
|----|--------|-------|--------|-------|-----------|--------|--------|
| 41 | 139.93 | 4.759 | 654 | 5.00 | 0.113014 | 5.293 | 3.289 |
| 42 | 139.93 | 4.667 | -278 | 2.00 | -0.047859 | 1.953 | 1.213 |
| 43 | 139.93 | 4.796 | 293 | 1.00 | 0.050412 | 1.026 | 0.637 |
| 44 | 139.93 | 4.684 | -353 | 3.00 | -0.060717 | 2.911 | 1.809 |
| 45 | 139.93 | 4.933 | 444 | 6.00 | 0.076214 | 6.235 | 3.874 |
| 46 | 139.93 | 4.901 | -131 | 2.00 | -0.022409 | 1.978 | 1.229 |
| 47 | 139.93 | 4.934 | 50 | 1.00 | 0.008553 | 1.004 | 0.624 |
| 48 | 139.93 | 4.529 | -1,176 | 7.00 | -0.202402 | 6.337 | 3.938 |
| 49 | 139.93 | 4.850 | 694 | 4.00 | 0.119592 | 4.249 | 2.640 |
| 50 | 139.93 | 4.509 | -971 | 5.00 | -0.167386 | 4.604 | 2.861 |
| 51 | 134.58 | 4.543 | 5 | 6.00 | 0.000871 | 6.003 | 3.730 |
| 52 | 134.58 | 5.099 | 1,302 | 3.00 | 0.226118 | 3.366 | 2.092 |
| 53 | 134.58 | 4.954 | -389 | 2.00 | -0.067073 | 1.934 | 1.202 |
| 54 | 134.58 | 4.920 | -730 | 25.00 | -0.126199 | 23.487 | 14.594 |
| 55 | 134.58 | 5.530 | 1,155 | 7.00 | 0.198159 | 7.742 | 4.810 |
| 56 | 134.58 | 5.592 | -4 | 4.00 | -0.000680 | 3.999 | 2.485 |
| 57 | 134.58 | 5.292 | -1,004 | 11.00 | -0.171188 | 0.110 | 6.282 |
| 58 | 134.58 | 5.549 | 394 | 5.00 | 0.067214 | 5.172 | 3.214 |
| 59 | 134.58 | 5.423 | -303 | 1.00 | -0.051601 | 0.975 | 0.606 |
| 60 | 134.58 | 5.567 | 209 | 3.00 | 0.035585 | 3.054 | 1.898 |
| 61 | 134.58 | 5.529 | -183 | 3.00 | -0.031117 | 2.954 | 1.835 |
| 62 | 134.58 | 5.630 | 180 | 1.00 | 0.030584 | 1.015 | 0.631 |
| 63 | 134.58 | 5.561 | -180 | 1.00 | -0.030572 | 0.985 | 0.612 |
| 64 | 134.58 | 5.761 | 309 | 3.00 | 0.052403 | 3.080 | 1.914 |
| 65 | 134.58 | 5.873 | 2 | 6.00 | 0.000338 | 6.001 | 3.729 |
| 66 | 134.58 | 6.225 | 485 | 5.00 | 0.081558 | 5.210 | 3.237 |
| 67 | 134.58 | 6.197 | -97 | 1.00 | -0.016256 | 0.992 | 0.616 |
| 68 | 134.58 | 6.459 | 267 | 5.00 | 0.044648 | 5.113 | 3.177 |
| 69 | 134.58 | 6.359 | -375 | 4.00 | -0.062609 | 3.877 | 2.409 |
| 70 | 134.58 | 6.548 | 208 | 3.00 | 0.034700 | 3.053 | 1.897 |
| 71 | 134.58 | 6.618 | -121 | 5.00 | -0.020138 | 4.950 | 3.076 |
| 72 | 134.58 | 6.464 | -579 | 6.00 | -0.096438 | 5.720 | 3.554 |
| 73 | 134.58 | 6.566 | -7 | 4.00 | -0.001166 | 3.998 | 2.484 |
| 74 | 134.58 | 6.725 | 187 | 2.00 | 0.031089 | 2.031 | 1.262 |
| 75 | 134.58 | 6.680 | -186 | 2.00 | -0.030892 | 1.969 | 1.224 |
| 76 | 134.58 | 7.978 | 160 | 32.00 | 0.026344 | 32.425 | 20.148 |

| Tramo | Re | F | Z | Tmedia (°C) | Tmedia (°K) | Tmedia (°R) |
|-------|--------------|---------|-------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 7,661,593.13 | 21.3095 | 0.793 | 14.08 | 287.23 | 517.01 |

| | | | | | | |
|----|--------------|---------|-------|-------|--------|--------|
| 2 | 7,661,582.04 | 21.3095 | 0.795 | 14.08 | 287.23 | 517.01 |
| 3 | 7,661,582.36 | 21.3095 | 0.795 | 14.08 | 287.23 | 517.01 |
| 4 | 7,661,592.78 | 21.3095 | 0.797 | 14.08 | 287.23 | 517.01 |
| 5 | 7,661,582.05 | 21.3095 | 0.794 | 14.08 | 287.23 | 517.01 |
| 6 | 7,661,556.65 | 21.3095 | 0.791 | 14.08 | 287.23 | 517.01 |
| 7 | 7,661,582.15 | 21.3095 | 0.796 | 14.08 | 287.23 | 517.01 |
| 8 | 7,661,628.51 | 21.3095 | 0.796 | 14.08 | 287.23 | 517.01 |
| 9 | 7,164,451.67 | 21.3095 | 0.795 | 13.29 | 286.44 | 515.59 |
| 10 | 7,164,418.55 | 21.3095 | 0.794 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 11 | 7,164,429.21 | 21.3095 | 0.795 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 12 | 7,164,465.39 | 21.3095 | 0.794 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 13 | 7,164,429.36 | 21.3095 | 0.794 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 14 | 7,164,443.51 | 21.3095 | 0.796 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 15 | 7,164,433.56 | 21.3095 | 0.803 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 16 | 7,164,429.26 | 21.3095 | 0.812 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 17 | 7,164,442.60 | 21.3095 | 0.811 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 18 | 7,164,429.62 | 21.3095 | 0.811 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 19 | 7,164,470.52 | 21.3095 | 0.814 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 20 | 7,164,432.43 | 21.3095 | 0.817 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 21 | 7,164,431.36 | 21.3095 | 0.817 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 22 | 7,164,430.58 | 21.3095 | 0.816 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 23 | 7,164,429.10 | 21.3095 | 0.821 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 24 | 7,164,429.20 | 21.3095 | 0.825 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 25 | 7,164,474.35 | 21.3095 | 0.825 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 26 | 7,164,466.79 | 21.3095 | 0.831 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 27 | 7,164,431.87 | 21.3095 | 0.837 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 28 | 7,164,402.59 | 21.3095 | 0.835 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 29 | 7,164,422.64 | 21.3095 | 0.833 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 30 | 7,164,409.06 | 21.3095 | 0.830 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 31 | 7,164,431.38 | 21.3095 | 0.830 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 32 | 7,164,423.09 | 21.3095 | 0.838 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 33 | 7,164,429.34 | 21.3095 | 0.844 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 34 | 7,164,429.49 | 21.3095 | 0.845 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 35 | 7,164,383.54 | 21.3095 | 0.844 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 36 | 7,164,418.66 | 21.3095 | 0.844 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 37 | 7,164,428.03 | 21.3095 | 0.846 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 38 | 7,164,429.23 | 21.3095 | 0.846 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 39 | 7,164,435.60 | 21.3095 | 0.847 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 40 | 7,164,429.22 | 21.3095 | 0.845 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 41 | 7,164,441.40 | 21.3095 | 0.847 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 42 | 7,164,431.38 | 21.3095 | 0.850 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 43 | 7,164,429.15 | 21.3095 | 0.851 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 44 | 7,164,429.40 | 21.3095 | 0.851 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |

| | | | | | | |
|----|--------------|---------|-------|-------|--------|--------|
| 45 | 7,164,445.91 | 21.3095 | 0.853 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 46 | 7,164,450.53 | 21.3095 | 0.856 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 47 | 7,164,429.21 | 21.3095 | 0.856 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 48 | 7,164,408.74 | 21.3095 | 0.850 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 49 | 7,164,429.15 | 21.3095 | 0.849 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 50 | 7,164,429.48 | 21.3095 | 0.849 | 12.50 | 285.65 | 514.17 |
| 51 | 6,890,508.71 | 21.3095 | 0.843 | 11.38 | 284.53 | 512.15 |
| 52 | 6,890,508.83 | 21.3095 | 0.849 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 53 | 6,890,511.45 | 21.3095 | 0.856 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 54 | 6,890,508.72 | 21.3095 | 0.853 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 55 | 6,890,508.86 | 21.3095 | 0.860 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 56 | 6,890,520.56 | 21.3095 | 0.868 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 57 | 6,890,502.53 | 21.3095 | 0.865 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 58 | 6,890,511.76 | 21.3095 | 0.865 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 59 | 6,890,509.02 | 21.3095 | 0.866 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 60 | 6,890,504.93 | 21.3095 | 0.866 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 61 | 6,890,507.45 | 21.3095 | 0.868 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 62 | 6,890,510.53 | 21.3095 | 0.868 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 63 | 6,890,509.89 | 21.3095 | 0.869 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 64 | 6,890,508.95 | 21.3095 | 0.870 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 65 | 6,890,508.72 | 21.3095 | 0.873 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 66 | 6,890,507.60 | 21.3095 | 0.877 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 67 | 6,890,479.34 | 21.3095 | 0.880 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 68 | 6,890,508.76 | 21.3095 | 0.882 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 69 | 6,890,533.37 | 21.3095 | 0.884 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 70 | 6,890,473.05 | 21.3095 | 0.884 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 71 | 6,890,496.23 | 21.3095 | 0.886 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 72 | 6,890,508.70 | 21.3095 | 0.886 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 73 | 6,890,469.77 | 21.3095 | 0.885 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 74 | 6,890,531.57 | 21.3095 | 0.887 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 75 | 6,890,508.60 | 21.3095 | 0.888 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |
| 76 | 6,890,507.84 | 21.3095 | 0.896 | 10.25 | 283.40 | 510.12 |

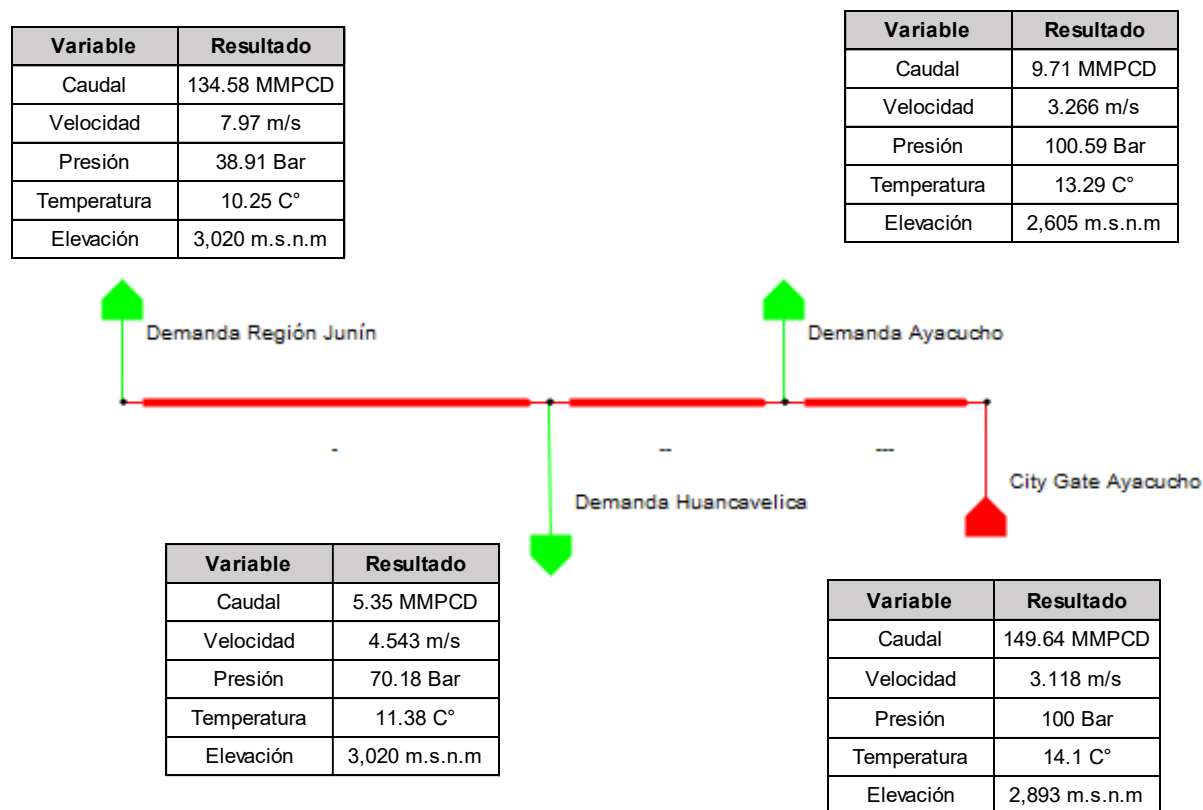
Nota: Fuente: Elaboración Propia

| Tramo | P1 (bar_g) | P1 (KPa) | P1 (psig) | P2 (bar_g) | P2 (KPa) | P2 (psig) |
|-------|---------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| 1 | 100.00 | 10,101.35 | 1,450.40 | 102.50 | 10,351.66 | 1,486.70 |
| 2 | 102.50 | 10351.66 | 1486.70 | 97.98 | 9,899.21 | 1,421.08 |
| 3 | 97.98 | 9,899.21 | 1,421.08 | 102.39 | 10,340.84 | 1,485.14 |
| 4 | 102.39 | 10,340.84 | 1,485.14 | 96.06 | 9,707.24 | 1,393.24 |
| 5 | 96.06 | 9,707.24 | 1,393.24 | 104.95 | 10,596.40 | 1,522.20 |
| 6 | 104.95 | 10,596.40 | 1,522.20 | 100.66 | 10,167.61 | 1,460.01 |
| 7 | 100.66 | 10,167.61 | 1,460.01 | 99.07 | 10,008.61 | 1,436.95 |
| 8 | 99.07 | 10,008.61 | 1,436.95 | 100.59 | 10,160.06 | 1,458.92 |
| 9 | 100.59 | 10,160.06 | 1,458.92 | 97.55 | 9,855.99 | 1,414.81 |
| 10 | 97.55 | 9,855.99 | 1,414.81 | 99.92 | 10,093.45 | 1,449.26 |
| 11 | 99.92 | 10,093.45 | 1,449.26 | 96.91 | 9,791.86 | 1,405.51 |
| 12 | 96.91 | 9,791.86 | 1,405.51 | 100.32 | 10,133.04 | 1,455.00 |
| 13 | 100.32 | 10,133.04 | 1,455.00 | 96.77 | 9,778.66 | 1,403.60 |
| 14 | 96.77 | 9,778.66 | 1,403.60 | 98.45 | 9,945.89 | 1,427.85 |
| 15 | 98.45 | 9,945.89 | 1,427.85 | 88.35 | 8,935.98 | 1,281.38 |
| 16 | 88.35 | 8,935.98 | 1,281.38 | 88.20 | 8,921.18 | 1,279.23 |
| 17 | 88.20 | 8,921.18 | 1,279.23 | 89.15 | 9,016.57 | 1,293.06 |
| 18 | 89.15 | 9,016.57 | 1,293.06 | 88.00 | 8,900.90 | 1,276.29 |
| 19 | 88.00 | 8,900.90 | 1,276.29 | 86.02 | 8,703.57 | 1,247.67 |
| 20 | 86.02 | 8,703.57 | 1,247.67 | 84.65 | 8,566.49 | 1,227.78 |
| 21 | 84.65 | 8,566.49 | 1,227.78 | 85.87 | 8,688.19 | 1,245.44 |
| 22 | 85.87 | 8,688.19 | 1,245.44 | 85.39 | 8,640.75 | 1,238.56 |
| 23 | 85.39 | 8,640.75 | 1,238.56 | 80.33 | 8,133.90 | 1,165.04 |
| 24 | 80.33 | 8,133.90 | 1,165.04 | 80.97 | 8,198.58 | 1,174.42 |
| 25 | 80.97 | 8,198.58 | 1,174.42 | 80.12 | 8,113.23 | 1,162.04 |
| 26 | 80.12 | 8,113.23 | 1,162.04 | 74.84 | 7,585.54 | 1,085.51 |
| 27 | 74.84 | 7,585.54 | 1,085.51 | 73.69 | 7,470.20 | 1,068.78 |
| 28 | 73.69 | 7,470.20 | 1,068.78 | 76.53 | 7,754.29 | 1,109.98 |
| 29 | 76.53 | 7,754.29 | 1,109.98 | 76.14 | 7,715.01 | 1,104.29 |
| 30 | 76.14 | 7,715.01 | 1,104.29 | 79.29 | 8,030.36 | 1,150.02 |
| 31 | 79.29 | 8,030.36 | 1,150.02 | 76.78 | 7,779.45 | 1,113.63 |
| 32 | 76.78 | 7,779.45 | 1,113.63 | 70.52 | 7,153.71 | 1,022.88 |
| 33 | 70.52 | 7,153.71 | 1,022.88 | 70.40 | 7,141.61 | 1,021.12 |
| 34 | 70.40 | 7,141.61 | 1,021.12 | 69.26 | 7,027.83 | 1,004.62 |
| 35 | 69.26 | 7,027.83 | 1,004.62 | 71.92 | 7,293.64 | 1,043.17 |
| 36 | 71.92 | 7,293.64 | 1,043.17 | 68.72 | 6,973.04 | 996.67 |
| 37 | 68.72 | 6,973.04 | 996.67 | 70.12 | 7,112.85 | 1,016.95 |
| 38 | 70.12 | 7,112.85 | 1,016.95 | 68.74 | 6,975.39 | 997.01 |
| 39 | 68.74 | 6,975.39 | 997.01 | 68.53 | 6,954.05 | 993.92 |
| 40 | 68.53 | 6,954.05 | 993.92 | 71.11 | 7,212.42 | 1,031.39 |

| | | | | | | |
|----|-------|----------|----------|-------|----------|----------|
| 41 | 71.11 | 7,212.42 | 1,031.39 | 66.44 | 6,745.62 | 963.69 |
| 42 | 66.44 | 6,745.62 | 963.69 | 67.77 | 6,878.80 | 983.00 |
| 43 | 67.77 | 6,878.80 | 983.00 | 65.91 | 6,692.79 | 956.02 |
| 44 | 65.91 | 6,692.79 | 956.02 | 67.52 | 6,853.37 | 979.31 |
| 45 | 67.52 | 6,853.37 | 979.31 | 64.06 | 6,507.31 | 929.12 |
| 46 | 64.06 | 6,507.31 | 929.12 | 64.48 | 6,549.14 | 935.19 |
| 47 | 64.48 | 6,549.14 | 935.19 | 64.04 | 6,505.57 | 928.87 |
| 48 | 64.04 | 6,505.57 | 928.87 | 69.87 | 7,088.06 | 1,013.35 |
| 49 | 69.87 | 7,088.06 | 1,013.35 | 65.18 | 6,619.10 | 945.34 |
| 50 | 65.18 | 6,619.10 | 945.34 | 70.18 | 7,119.79 | 1,017.96 |
| 51 | 70.18 | 7,119.79 | 1,017.96 | 69.37 | 7,038.05 | 1,006.10 |
| 52 | 69.37 | 7,038.05 | 1,006.10 | 61.44 | 6,245.76 | 891.19 |
| 53 | 61.44 | 6,245.76 | 891.19 | 63.27 | 6,428.66 | 917.71 |
| 54 | 63.27 | 6,428.66 | 917.71 | 63.72 | 6,473.08 | 924.16 |
| 55 | 63.72 | 6,473.08 | 924.16 | 56.58 | 5,759.47 | 820.65 |
| 56 | 56.58 | 5,759.47 | 820.65 | 55.94 | 5,694.96 | 811.30 |
| 57 | 55.94 | 5,694.96 | 811.30 | 59.16 | 6,017.65 | 858.10 |
| 58 | 59.16 | 6,017.65 | 858.10 | 56.38 | 5,739.45 | 817.75 |
| 59 | 56.38 | 5,739.45 | 817.75 | 57.72 | 5,872.88 | 837.10 |
| 60 | 57.72 | 5,872.88 | 837.10 | 56.19 | 5,720.58 | 815.02 |
| 61 | 56.19 | 5,720.58 | 815.02 | 56.59 | 5,760.18 | 820.76 |
| 62 | 56.59 | 5,760.18 | 820.76 | 55.55 | 5,656.22 | 805.68 |
| 63 | 55.55 | 5,656.22 | 805.68 | 56.25 | 5,726.48 | 815.87 |
| 64 | 56.25 | 5,726.48 | 815.87 | 54.27 | 5,528.19 | 787.11 |
| 65 | 54.27 | 5,528.19 | 787.11 | 53.21 | 5,422.38 | 771.76 |
| 66 | 53.21 | 5,422.38 | 771.76 | 50.15 | 5,116.23 | 727.36 |
| 67 | 50.15 | 5,116.23 | 727.36 | 50.38 | 5,139.09 | 730.68 |
| 68 | 50.38 | 5,139.09 | 730.68 | 48.29 | 4,930.63 | 700.44 |
| 69 | 48.29 | 4,930.63 | 700.44 | 49.07 | 5,008.20 | 711.69 |
| 70 | 49.07 | 5,008.20 | 711.69 | 47.62 | 4,863.64 | 690.72 |
| 71 | 47.62 | 4,863.64 | 690.72 | 47.11 | 4,811.92 | 683.22 |
| 72 | 47.11 | 4,811.92 | 683.22 | 48.26 | 4,927.01 | 699.92 |
| 73 | 48.26 | 4,927.01 | 699.92 | 47.49 | 4,850.45 | 688.81 |
| 74 | 47.49 | 4,850.45 | 688.81 | 46.34 | 4,735.35 | 672.12 |
| 75 | 46.34 | 4,735.35 | 672.12 | 46.66 | 4,767.76 | 676.82 |
| 76 | 46.66 | 4,767.76 | 676.82 | 38.91 | 3,991.97 | 564.30 |

Figura 12

Sistema Hidráulico del Gasoducto con diámetro Nominal 16"



Nota. Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, para concluir y definir cuál es la mejor dimensionamiento hidráulico para la ampliación de un gasoducto que permita atender la demanda de gas natural de forma óptima a las regiones de Ayacucho, Junín y Huancavelica, se requiere tomar como criterio fundamental la presión final a la entrada del City Gate que se ubique en la ciudad de la Oroya de la región Junín, ya que este como factor de diseño fundamental debe aproximarse o igualarse a los 36 Bares de presión ya que esto permitirá transportar la demanda proyectada de gas natural hasta el año 2043 en las mejores condiciones sin que considerarse sobredimensionadas. Para ello como se apreció anteriormente se realizó el dimensionamiento hidráulico con dos posibles diámetros comerciales que permitan determinar dicha variable.

En ese sentido, de la revisión de ambos dimensionamientos la mejor condición hidráulica para atender la demanda de gas natural de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín, es el gasoducto que tiene el diámetro comercial de 16" pulgadas, al cumplir con una presión en el final del tramo de 38.91 Bares de presión (02.91 Bares de presión más que la de diseño) y de representar un menor costo al ser de menor diámetro.

CAPÍTULO IV.RESULTADOS

4.1 Resultados esperados

Luego de haber realizado los cálculos hidráulicos de dos dimensionamientos de gasoductos en función de sus diámetros y aplicando la metodología antes expuesta, se pudo determinar lo siguiente:

Que el trazo propuesto para la ampliación del gasoducto Ayacucho pasa por las principales ciudades de la región Ayacucho, Huancavelica y Junín y se extiende por una longitud de 369.244 Km, el gasoducto inicia en la ciudad de Ayacucho (elevación a 2,893 m.s.n.m.), pasa por la región de Huancavelica y culmina en la ciudad de la Oroya de la región de Junín (elevación a 3,720 m.s.n.m.).

La demanda de gas natural identificada del sector residencial que puede atender el gasoducto tiene un potencial de entrega de un caudal de 20.36 MMPCD.

La demanda de gas natural identificada del sector comercial que puede atender el gasoducto tiene un potencial de entrega de caudal de 4.70 MMPCD.

La demanda de gas natural identificada del sector vehicular que puede atender el gasoducto tiene un potencial de entrega de caudal de 60.98 MMPCD.

La demanda de gas natural identificada del sector industrial que puede atender el gasoducto tiene un potencial de entrega de caudal de 53.69 MMPCD.

La demanda de gas natural identificada de la generación eléctrica que puede atender el gasoducto tiene un potencial de entrega de caudal de 10.00 MMPCD.

El mejor diámetro comercial del gasoducto que parta desde la ciudad de Ayacucho, pase por la región de Huancavelica y culmine en la ciudad de Oroya de la región Junín, con el mejor dimensionamiento hidráulico, en atención a los cálculos realizados en la presente monografía técnica es el de 16" pulgadas, lo cual permitirá atender la demanda de gas natural de las mencionadas regiones y llegar con una presión final de 38.91 Bares, siendo una presión cercana a los 36 Bares de presión final de diseño que se requiere.

Técnicamente las mejores condiciones hidráulicas para el transporte del gas natural serán cuando se desarrolle la ampliación del gasoducto con un diámetro comercial de 16" pulgadas, asimismo permitirá ofrecer menores costos por considerarse un menor diámetro a la del diseño.

Conocer y tener en cuenta la información del presente trabajo permitirá contribuir de cierta manera contar con los estudios iniciales requeridos para el desarrollo de infraestructura de gas natural a nivel nacional que viene impulsando el Estado.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

- Se determinó que el mejor dimensionamiento hidráulico para la ampliación de un gasoducto que parta desde la ciudad de Ayacucho, que pase por la región de Huancavelica y culmine en la ciudad de la Oroya de la región de Junín es aquel que permite atender la demanda de gas natural de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín sin sobredimensionamientos; el cual se logró cuando se seleccionó un diámetro comercial de 16 pulgadas, considerando que dicha selección de diámetro permite transportar el volumen requerido máximo de 149.64 MMPCD en todo su recorrido y llegar al punto final de consumo con una presión mínima de 38.91 Bares. La presión mínima de diseño requerida que es de 36 Bares (Ver figura 12).
- El trazo más adecuado por donde se desarrollará la ampliación del gasoducto, pasa por las ciudades más importantes de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín. La longitud real de la ampliación del gasoducto es de 369.244 Km, este inicia en la ciudad de Ayacucho a una elevación a 2,893 m.s.n.m., pasa por la región de Huancavelica a

una elevación máxima de 4,505 m.s.n.m. y culmina en la ciudad de la Oroya de la región de Junín a una elevación de 3,720 m.s.n.m. (Ver Anexo C y D).

- La demanda proyectada de gas natural que atenderá la ampliación del gasoducto al año 2043 para la región de Ayacucho es de 9.71 MMPCD, para la región de Huancavelica es de 5.35 MMPCD y para la región de Junín es de 134.58 MMPCD. La demanda del gas natural de las 3 regiones para el año 2043 identificada para el sector residencial es de 20.36 MMPCD, para el sector comercial es de 4.70 MMPCD, para el sector vehicular es de 60.98 MMPCD, para el sector industrial es de 54.69 MMPCD y para el sector eléctrico es de 10 MMPCD.
- Se determinó como especificación técnica que el diámetro comercial del gasoducto sea de 16 pulgadas, cuenten con un espesor de 0.5 pulgadas y que la presión de cabeza que permita atender la demanda de gas natural de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín sea como mínimo de 100 Bares de presión.
- Las variables hidráulicas de la ampliación del gasoducto considerado como mejor alternativa que permita atender la demanda de gas natural de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín se encuentran cuando se escoge el diámetro del gasoducto de 16" pulgadas. Las variables hidráulicas son la longitud equivalente del gasoducto tramo por tramo, velocidad del gas natural por tramo, factor de transmisión, factor de compresibilidad del gas natural, número de Reynolds y por último las presiones en cada punto del tramo tal como se puede apreciar en las tablas 30 y 31 de la presente monografía.

CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES

- Determinar los costos de implementación, costos de operación y mantenimiento del gasoducto propuesto con una vida útil de 20 años.
- Realizar un estudio detallado y especializado de la proyección de la demanda del gas natural por diferentes sectores dentro del área de influencia del trazo del gasoducto propuesto.
- Conocer la viabilidad económica en la implementación del gasoducto que parta desde la ciudad de Ayacucho, pase por la región de Huancavelica y culmine en la ciudad de la Oroya de la región de Junín, y de resultar viable mandarlo a licitación.
- Definir la ubicación de los City Gates para realizar el diseño de sistemas de distribución de gas natural que permitirá llevar el gas natural a los principales puntos de consumo de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Junín.

CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Energy Sector Management Assistance Program. (2006). *Extensión de Ramales de Gas Natural al Interior del Perú*.
[https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/0F0BC063A188ECFE05257B05007161F1/\\$FILE/1_pdfsam_368690PAPER0SP1E0ESM10310601PUBLIC1.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/0F0BC063A188ECFE05257B05007161F1/$FILE/1_pdfsam_368690PAPER0SP1E0ESM10310601PUBLIC1.pdf)
- Fiorella Representaciones S.A.C. (2022). *Tubos de Acero Inoxidable Soldables con Costura EFW ASTM A312 SCH 10S / 40S / 80S Presión de Trabajo para Tubos de Acero Inoxidable Soldables EFW*. <https://www.fiorellarepre.com.pe/FichaTecnica/806003.pdf>
- Generadores de Conocimientos. (2022). *Rugosidades de Tuberías*.
[https://gecousb.com.ve/guias/GECO/Fenómenos De Transporte 1 \(TF-1221\)/Material Teórico \(TF-1221\)/TF-1221 Rugosidades Diámetros Tuberías.pdf](https://gecousb.com.ve/guias/GECO/Fenómenos De Transporte 1 (TF-1221)/Material Teórico (TF-1221)/TF-1221 Rugosidades Diámetros Tuberías.pdf)
- Grupo Vemacero C.A. (2022). *Tubería de Acero al Carbono API 5L/ASTM A53/A106. 2–7*.
https://ingemecanica.com/tutoriales/objetos/tuberias/Catalogo_Gasoductos_Acero.pdf
- Infogas. (2021). *Infogas Estadísticas*. <http://infogas.com.pe/estadisticas/>
- Menon, E. S. (2005). Gas pipeline hydraulics. In *Taylor & Francis Group*.
<https://doi.org/10.1201/9781420038224>
- Ministerio de Energía y Minas. (2021). *Estadísticas Upstream y Downstream hidrocarburos*.
http://www.minem.gob.pe/_estadisticaSector.php?idSector=5
- Ministerio de Energía y Minas. (2022). *Resolución Ministerial N° 154-2022-MINEM_DM*.
<https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/2917579-154-2022-minem-dm>
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2022). *Estadística - Servicios de Transporte Terrestre por Carretera - Parque Automotor Perú*.
<https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344892-estadistica-servicios-de->

transporte-terrestre-por-carretera-parque-automotor

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2022). *Compendio Estadístico de viviendas del Perú*.

<https://ww3.vivienda.gob.pe/repositorioestadistico/CompendioEstadistico.aspx>

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. (2016). *Reporte Proyecto Gasoducto Derivación Ayacucho*.

[https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/gas_natural/Documentos/Transporte/Reporte-Mensual/Proyecto_Gasoducto_de_Derivacion_Principal_a_Ayacucho/Proyecto_Gasoducto_Derivacion_Principal_Ayacucho\(08\).pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/gas_natural/Documentos/Transporte/Reporte-Mensual/Proyecto_Gasoducto_de_Derivacion_Principal_a_Ayacucho/Proyecto_Gasoducto_Derivacion_Principal_Ayacucho(08).pdf)

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. (2022). *Mapa Energético Minero - OSINERGMIN*. <https://gisem.osinergmin.gob.pe/>

R. Lopez, M. (2015). *Condiciones Operativas Diarias* [Centro de Estudios de la Actividad Regulatoria Energetica - Maestría Interdisciplinaria en Energía].

<https://www.ceare.org/tesis/2016/tes14.pdf>

Regulación, R. C. energía &. (2014). *Estudio de Demanda en el Proceso de Promoción del Proyecto de Distribución de Gas Natural por Red de Ductos*. Ministerio de Energía y Minas.

Sánchez, J. (2014). *Gasoducto Perú Centro*. 260. [Politecnica de Madrid - Master Universitario en Ingeniería de la Minería].

https://oa.upm.es/23428/1/TESIS_MASTER_JOHNNY_SANCHEZ_GALVEZ.pdf

Transportadora de Gas del Perú S.A. (2022). *Reporte operativo*.

<http://extranet.tgp.com.pe:8083/>

Weather Spark. (2022). *El clima, el tiempo por mes, temperatura promedio (Ayacucho)*.

<https://es.weatherspark.com/y/20037/Clima-promedio-en-Cayambe-Ecuador-durante-todo-el-año>

Zorrilla Pariachi, J. N. (2014). *Evaluación de un Complejo de Producción de Fertilizantes de Origen Fosfatado en el Valle Mantaro - Región Junín* [Universidad Nacional de Ingeniería - Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica].

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_4f80084cb253fa758a36704d79a74bd6

CAPÍTULO VIII. ANEXOS

A. Catálogo de Tubos de Acero Inoxidable Soldables con Costura EFW ASTM A312 SCH 10S/40S/80S

Tubos de Acero Inoxidable Soldables con Costura EFW ASTM A312 SCH 10S / 40S / 80S



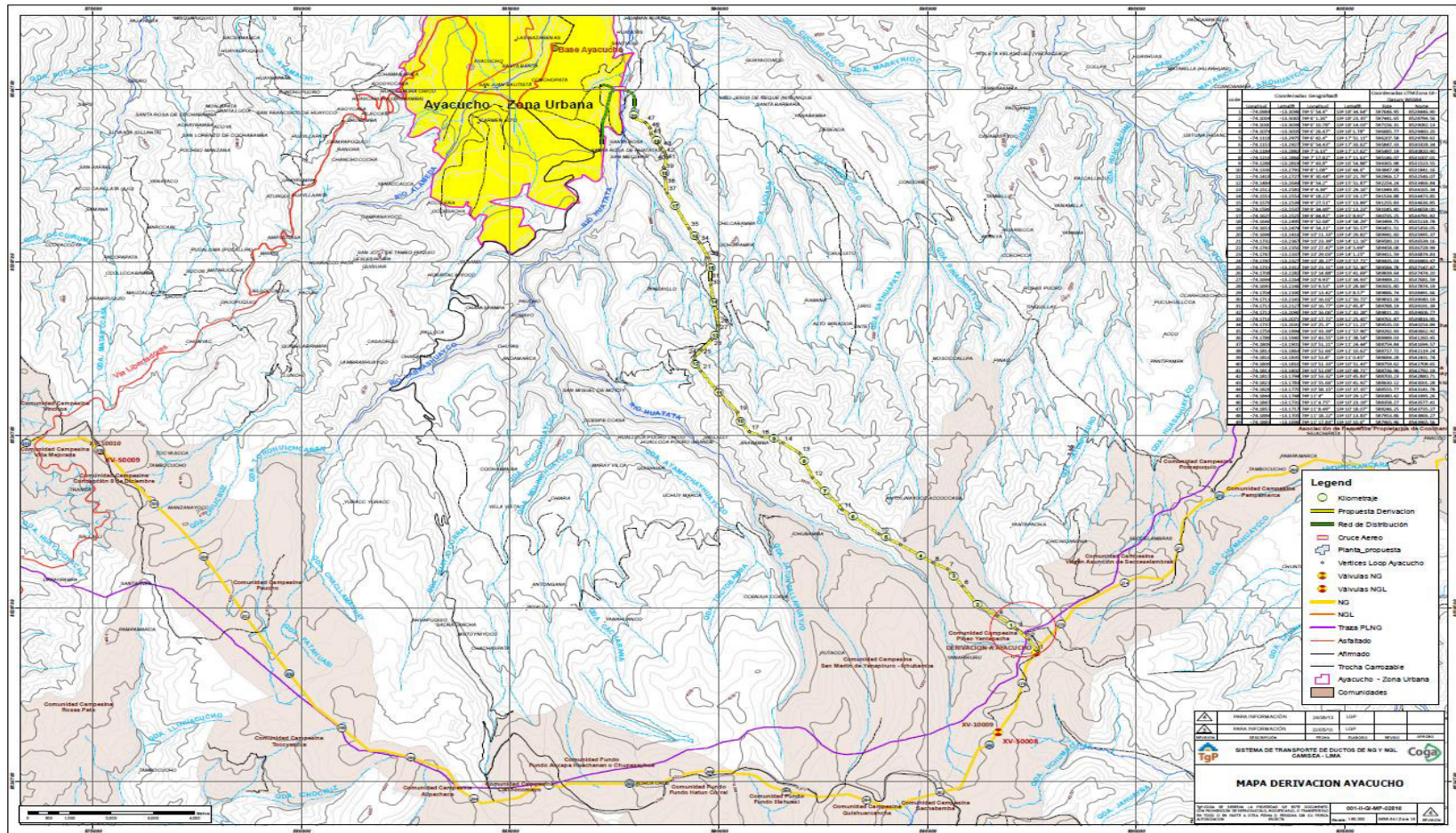
La tubería A312 está destinada para aplicaciones sometidas a temperatura y agentes corrosivos en general. Longitud 6m. Acabado de extremos planos y roscados NPT ASME B1.20.1.

| Test de Tensión | | | | |
|-----------------|-----------------------|-----|-----------------------|-----|
| Material | Carga de Rotura, min. | | Límite Elástico, min. | |
| | psi | MPa | psi | MPa |
| 304L | 70000 | 485 | 25000 | 170 |
| 304 | 75000 | 515 | 30000 | 205 |
| 316L | 70000 | 485 | 25000 | 170 |
| 316 | 75000 | 515 | 30000 | 205 |

| Diámetro Nominal | Dimen. Exterior | SCH-10S | | SCH-40S | | SCH-80S | |
|------------------|-----------------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
| | | Espesor Nominal | Peso | Espesor Nominal | Peso | Espesor Nominal | Peso |
| Pulgadas | mm | mm | kg/m | mm | kg/m | mm | kg/m |
| 1/4 | 13.7 | 1.65 | 0.49 | 2.24 | 0.63 | 3.02 | 0.80 |
| 3/8 | 17.1 | 1.65 | 0.63 | 2.31 | 0.85 | 3.20 | 1.09 |
| 1/2 | 21.3 | 2.11 | 1.00 | 2.77 | 1.27 | 3.73 | 1.62 |
| 3/4 | 26.7 | 2.11 | 1.28 | 2.87 | 1.69 | 3.91 | 2.20 |
| 1 | 33.4 | 2.77 | 2.09 | 3.38 | 2.50 | 4.55 | 3.24 |
| 1 1/4 | 42.2 | 2.77 | 2.69 | 3.56 | 3.39 | 4.85 | 4.47 |
| 1 1/2 | 48.3 | 2.77 | 3.11 | 3.68 | 4.05 | 5.08 | 5.41 |
| 2 | 60.3 | 2.77 | 3.93 | 3.91 | 5.45 | 5.54 | 7.49 |
| 2 1/2 | 73.0 | 3.05 | 5.27 | 5.16 | 8.64 | 7.01 | 11.42 |
| 3 | 88.9 | 3.05 | 6.46 | 5.49 | 11.30 | 7.62 | 15.28 |
| 4 | 114.3 | 3.05 | 8.37 | 6.02 | 16.09 | 8.56 | 22.34 |
| 5 | 141.3 | 3.40 | 11.6 | 6.56 | 21.8 | 9.53 | 31.0 |
| 6 | 168.3 | 3.40 | 13.85 | 7.11 | 28.28 | 10.97 | 42.60 |
| 8 | 219.1 | 3.76 | 19.98 | 8.18 | 42.57 | 12.70 | 64.69 |
| 10 | 273.0 | 4.19 | 27.88 | 9.27 | 60.36 | 12.70 | 81.6 |
| 12 | 323.8 | 4.57 | 36.08 | 9.53 | 73.9 | 12.70 | 97.4 |
| 14 | 355.6 | 4.78 | 41.3 | 9.53 | 81.3 | 12.70 | 107.4 |
| 16 | 406.4 | 4.78 | 47.3 | 9.53 | 93.3 | 12.70 | 123.3 |
| 18 | 457.2 | 4.78 | 53.3 | 9.53 | 105.2 | 12.70 | 139.2 |
| 20 | 508 | 5.54 | 68.8 | 9.53 | 117.2 | 12.70 | 155.1 |
| 22 | 558.8 | 5.54 | 75.5 | 9.53 | 129.1 | 12.70 | 171.1 |
| 24 | 609.6 | 6.35 | 94.5 | 9.53 | 141.1 | 12.70 | 187.1 |

* Fotos y datos referenciales. No aceptamos responsabilidad por usos incorrectos o mal interpretaciones de estos datos.

B. Plano del Trazo de la ampliación del Gasoducto



C. Plano del recorrido de la ampliación del gasoducto



D. Perfil de elevación del recorrido de la ampliación del gasoducto

