

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“Supervisión Técnica de la Instalación de una Red de
Distribución de Gas Natural en Polietileno y su Impacto en la
Calidad de Vida en el Pueblo Joven Santa Cruz de Villacuri,
Ica”**

Para obtener el Título Profesional de

Ingeniero Petroquímico

Elaborado por

Arnaldo Jaime Anchelia Huamanta

 0009-0004-7114-5722

Asesor

Msc. Herbert Jhordy Manrique Olortegui

 0000-0002-1980-8304

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	Anchelia Huamanta [1]
Referencia/Reference	[1] A. Anchelia Huamanta. "Supervisión Técnica de la Instalación de una Red de Distribución de Gas Natural en Polietileno y su Impacto en la Calidad de Vida en el Pueblo Joven Santa Cruz de Villacuri, Ica" [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style:	
IEEE (2020)	
Citar/How to cite	(Anchelia, 2024)
Referencia/Reference	Anchelia, A. (2024). Supervisión Técnica de la Instalación de una Red de Distribución de Gas Natural en Polietileno y su Impacto en la Calidad de Vida en el Pueblo Joven Santa Cruz de Villacuri, Ica . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style:	
APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicada a mis padres, Arnaldo y Aceli, mi pareja Wendy, mis hijos Thiago y Matías, hermano Jaime y amigos de trabajo, quienes me apoyaron, aconsejaron y guiaron durante la realización del presente proyecto.

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a Dios por brindarme salud y sabiduría, a mi familia por su apoyo incondicional y a mi asesor al Ing. Herbert Jhordy Manrique Olortegui por guiarme e instruirme durante la realización del presente trabajo.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica de la Universidad Nacional de Ingeniería por la formación brindada durante mi etapa universitaria.

Agradezco a mis compañeros de trabajo por el apoyo e intercambio de conocimientos constante que sirvieron de mucho para realizar el presente trabajo.

Resumen

Este Trabajo de Suficiencia Profesional describe la supervisión de la instauración de las actividades de construcción de una red troncal de polietileno de suministro de gas natural, para abastecer a todo el Pueblo Joven Santa Cruz de Villacuri, y con el beneficio del gas natural en la región analizar la contribución en la calidad de vida de los pobladores.

Mediante las visitas de fiscalización de OSINERGMIN a las actividades de instalación de redes de polietileno para el suministro de gas natural de baja presión garantizará el cumplimiento de las normativas nacionales e internaciones vigentes. La fiscalización se da a toda la etapa constructiva, prueba de hermeticidad de la red y gasificación del proyecto.

En el presente trabajo se busca verificar los estándares de diseño del sistema de distribución, describir los criterios de supervisión a detalle de todo el proceso constructivo de la red y analizar cómo mejora la calidad de vida de la población, tanto económica como medioambiental comparándolo con otras fuentes de energía utilizados habitualmente.

Después de verificar los parámetros de diseño de la red, se constató que la tubería de polietileno de 160 mm de diámetro y SDR 17 cumple con los criterios de caída de presión y velocidad del gas natural en la red, manteniéndose en condiciones seguras de operación. Además, se calculó que, utilizando gas natural en lugar del balón de gas licuado de petróleo, el ahorro mensual por familia es de 26.48 soles. En cuanto a las emisiones de CO₂, al usar gas natural en lugar del balón de gas licuado de petróleo, se reduce en 1.93 kg de CO₂ por mes. Esto evidencia que el uso de gas natural beneficia a la población tanto económicamente como en términos medioambientales.

Palabras clave – CO₂, polietileno, gas natural, gas licuado de petróleo, hermeticidad, gasificación.

Abstract

This Professional Sufficiency Work describes the supervision of the implementation of the construction activities of a polyethylene trunk network of natural gas supply, to supply the entire Pueblo Joven Santa Cruz de Villacuri, and with the benefit of natural gas in the region analyze the contribution to the quality of life of the villagers

Through OSINERGMIN's inspection visits to the installation activities of polyethylene networks for the supply of low pressure natural gas, it will ensure compliance with national and international regulations in force. The inspection covers the entire construction stage, network tightness test and gasification of the project.

This work seeks to verify the design standards of the distribution system, describe the detailed supervision criteria of the entire construction process of the network and analyze how it improves the quality of life of the population, both economically and environmentally, compared to other energy sources used in the same way.

After verifying the design parameters of the network, it was found that the polyethylene pipe of 160 mm diameter and SDR 17 meets the criteria of pressure drop and velocity of natural gas in the network, maintaining safe operating conditions. In addition, it was calculated that, by using natural gas instead of liquefied petroleum gas, the monthly savings per family is 26.48 soles. In terms of CO₂ emissions, using natural gas instead of liquefied petroleum gas reduces 1.93 kg of CO₂ per month. This shows that the use of natural gas benefits the population both economically and environmentally.

Keywords – CO₂, polyethylene, natural gas, liquefied petroleum gas, tightness, gasification.

Tabla de Contenido

	Pág.
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xii
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Descripción del problema de investigación	3
1.2.1. <i>Problema general</i>	3
1.2.2. <i>Problema específico</i>	3
1.3. Objetivos del estudio	3
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
1.4. Antecedentes investigativos	4
1.5. Hipótesis	9
1.5.1. <i>Hipótesis general</i>	9
1.5.2. <i>Hipótesis específicas</i>	9
1.6. Matriz de consistencia	9
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual	11
2.1. Marco Teórico	11
2.1.1. <i>Gas Natural</i>	11
2.1.2. <i>Gas Natural Seco</i>	14
2.1.3. <i>Sistema de Suministro de gas natural por gasoducto de polietileno</i> ...	16
2.1.4. <i>Diseño del sistema de tuberías en polietileno</i>	21
2.1.5. <i>Supervisión de la Instalación de las redes de polietileno</i>	28
2.1.6. <i>Cálculo del precio de Gas Natural</i>	43
2.1.7. <i>Estimación de emisiones de CO₂</i>	44
2.2. Marco conceptual	46
Capítulo III: Desarrollo del trabajo de investigación	48
3.1. Verificación de parámetros de diseño de la red de polietileno	48
3.1.1. <i>Cálculo de la MAPO</i>	49
3.1.2. <i>Cálculo de la Presión de diseño de la tubería termoplástica</i>	50

3.1.3. <i>Verificación de la caída de presión</i>	50
3.1.4. <i>Verificación de la velocidad</i>	54
3.1.5. <i>Verificación de la relación Caudal – Diámetro</i>	55
3.2. Identificación de los parámetros críticos en obras civiles	56
3.3. Identificación de los parámetros críticos en la red de polietileno	60
3.3.1. <i>Parámetros críticos en la Instalación de la red</i>	63
3.3.2. <i>Parámetros durante las pruebas de hermeticidad de la red</i>	77
3.3.3. <i>Parámetros durante la gasificación de la red</i>	82
3.4. Estimación económica de ahorro por consumo de gas natural.....	87
3.5. Estimación de emisiones en el escenario con gas natural.....	89
Capítulo IV. Análisis de Resultados	91
4.1. Resultados	91
4.1.1. Parámetros de diseño de la red de polietileno	91
4.1.2. Identificación de los parámetros críticos en obras civiles	92
4.1.3. Identificación de los parámetros críticos en la red de polietileno	92
4.1.4. Estimación económica al emplear gas natural	93
4.1.5. Estimación de emisiones de CO₂ por fuente de energía.....	93
Conclusiones.....	95
Recomendaciones.....	97
Referencias bibliográficas	98
Anexos	101
Autorización para la publicación en Acceso Abierto en el Repositorio institucional de la UNI.....	103

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 Matriz de consistencia	10
Tabla 2 Composición del gas natural seco de Camisea.....	13
Tabla 3 Condiciones para distribuir el gas natural en Ica.....	14
Tabla 4 Clasificación del polietileno según su densidad	17
Tabla 5 Coeficiente de reducción (D_F).....	23
Tabla 6 Longitud equivalente de los accesorios	26
Tabla 7 Profundidades y ancho de zanja para instalación de tuberías de polietileno	33
Tabla 8 Pliego de Tarifas Máximas Gas Natural Región Ica	44
Tabla 9 Factor de emisión por combustible.....	45
Tabla 10 Parámetros de diseño de una red troncal de distribución de polietileno	49
Tabla 11 Tuberías y accesorios involucrados en el proyecto	52
Tabla 12 Longitud equivalente de los accesorios en (km)	52
Tabla 13 Parámetros para calcular la caída de presión de la tubería	53
Tabla 14 Parámetros para calcular la velocidad del gas natural.....	55
Tabla 15 Consideraciones antes del inicio de las obras civiles.....	56
Tabla 16 Seguridad durante las obras civiles.....	56
Tabla 17 Supervisión durante la tendido de tuberías de polietileno de diámetro 160 mm	63
Tabla 18 Características de la tubería de polietileno de la marca T-PIPE	65
Tabla 19 Consideraciones generales para realizar trabajos por termofusión a tope en tuberías de polietileno.....	69
Tabla 20 Fases y parámetros de termofusión a tope	72
Tabla 21 Parámetros de fusión de acuerdo con el espesor nominal (mm)	73
Tabla 22 Recomendaciones para la prevención de fallas en termofusión a tope	73
Tabla 23 Descripción de la unión por electrofusión de tuberías y accesorios de polietileno	76
Tabla 24 Parámetros críticos durante la prueba de hermeticidad de la red.....	77
Tabla 25 Presiones y Tiempos de Prueba para Redes de PE	78
Tabla 26 Parámetros críticos durante la prueba de hermeticidad.....	81
Tabla 27 Parámetros críticos durante la gasificación de la red de polietileno	82
Tabla 28 Pliego de Tarifas Máximas Gas Natural Región Ica	87
Tabla 29 Evaluación de resultados	91

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Representación de la producción por mes de gas natural húmedo al 2023 (en MMPCD)	11
Figura 2 Composición típica de Gas Natural en el Perú	12
Figura 3 Flujo comercial de GN y LGN en el mercado interno, 2013.....	14
Figura 4 Propiedades del polietileno de media y alta densidad.....	17
Figura 5 Tuberías serie milimétrica PE 100 (HDPE)	20
Figura 6 Tuberías serie milimétrica PE 80 (MDPE)	21
Figura 7 Tipo de terreno – terreno normal.....	29
Figura 8 Tipo de terreno – terreno arenoso.....	30
Figura 9 Tipo de terreno – terreno semirocoso.....	30
Figura 10 Tipo de terreno – terreno rocoso.....	31
Figura 11 a,b,c,d Tipos de pavimentos	32
Figura 12 Distancias mínimas de seguridad y Sistemas de Protección Aplicables	35
Figura 13 Esquema de un cilindro hueco horizontal con sus dimensiones.....	35
Figura 14 Proceso de termofusión a tope.....	39
Figura 15 Proceso de electrofusión	40
Figura 16 Instrumentos asociados a la prueba de hermeticidad del proyecto.....	42
Figura 17 Certificado de calidad de tuberías T-PIPE.....	48
Figura 18 Plano Constructivo del proyecto Sector Santa Cruz de Villacuri Malla 00	51
Figura 19 Autorización municipal distrito de Salas Guadalupe, Ica	57
Figura 20 Preparación de zanja típica – Contugas región Ica	58
Figura 21 Calicata del Proyecto Sector Santa Cruz de Villacuri Malla 00	59
Figura 22 Diagrama de bloques de la supervisión durante la etapa de instalación de tuberías de polietileno.....	60
Figura 23 Diagrama de bloques de la supervisión durante la prueba de hermeticidad de la red.....	61
Figura 24 Diagrama de bloques de la supervisión durante la etapa de gasificación del proyecto	62
Figura 25 Verificación de la cama de arena en el tramo.....	64
Figura 26 Traslado de la tubería matriz de polietileno.....	66
Figura 27 Inspección visual a la tubería matriz de polietileno	67
Figura 28 Distancias de seguridad – distancia a otro gasoducto	68
Figura 29 Distancias de seguridad – tapada de tubería.....	68
Figura 30 Ciclo de fusión a tope.....	71
Figura 31 a,b,c,d Fallas típicas – termofusión a tope	74
Figura 32 Inspección visual del reborde – termofusión a tope	75
Figura 33 Tablero de adquisición de datos del proyecto.....	79
Figura 34 Cabezal principal – instrumentos analógicos y digitales	79
Figura 35 Cabezal secundario – instrumentos analógicos	80
Figura 36 Manómetro analógico – monitoreo de la presión del fluido	80
Figura 37 Gráfica de Presión y Temperatura del fluido durante la prueba de hermeticidad	81
Figura 38 Verificación de la presión de aire en la red de polietileno	83

Figura 39 Empalme de tuberías de 160 mm de diámetro.....	84
Figura 40 Proceso de electrofusión mediante accesorio tipo TEE	86
Figura 41 Certificado de calificación del fusionista	86
Figura 42 Proceso de venteo de gas natural	87

Introducción

El presente trabajo de suficiencia profesional está dividido en cuatro capítulos.

El capítulo I contiene las generalidades, descripción del problema de investigación, objetivos, los antecedentes investigativos, hipótesis y matriz de consistencia para el desarrollo del trabajo.

El capítulo II desarrolla el marco teórico y conceptual. En el marco teórico se describen los conceptos fundamentales para la investigación, muestra las ecuaciones a ser utilizadas para la verificación de los parámetros de diseño de las redes de distribución, criterios de supervisión para identificar los parámetros críticos durante la instalación, prueba y gasificación de la red, ecuaciones y tablas normadas para realizar el comparativo económico y ambiental frente a otras fuentes de energía. En el marco conceptual, se describen las terminologías utilizadas durante todo el avance del trabajo de investigación.

El capítulo III contiene el avance del trabajo de investigación como la verificación de los parámetros de diseño del gasoducto de suministro de gas natural de polietileno para verificar que el diámetro y espesor de la tubería matriz proyectada sea la eficiente, identificación de los parámetros críticos durante las obras civiles, instalación de tubería, prueba de hermeticidad, gasificación del proyecto y finalmente la verificación del beneficio económico y medioambientales para los pobladores del norte de Ica.

El capítulo IV contiene la discusión y resultados de los factores de diseño del gasoducto de suministro de gas natural de polietileno, de los factores críticos encontrados durante la supervisión de las obras civiles, instalación, pruebas y gasificación de las redes. Además, se destacan los beneficios para los pobladores del norte de Ica de contar con una red matriz de gas natural en términos económicos y medioambientales.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1. Generalidades

Por medio de la Ley N° 29852 se estableció el Fondo de Inclusión Social Energético (FISE) con el propósito de proporcionar estabilidad al sistema energético mediante un sistema de compensación, además de implementar medidas de apoyo social y garantizar el acceso universal a la energía. Por lo que las empresas concesionarias instalarán más redes de distribución de gas natural en lugares donde no estaban proyectadas realizar de acuerdo con el Plan Quinquenal 2022 – 2026 y así muchas más personas serán beneficiadas con un combustible más limpio, barato, seguro y continuo, logrando así un crecimiento económico para los residentes, comercios e industrias y mejorando su calidad de vida. (Congreso de la República, 2012)

La Resolución Ministerial N° 072-2023-MINEM/DM aprueba el programa de promoción anual para el año 2023, financiado por el Fondo de Inclusión Social Energético (FISE), con el objetivo de fomentar la expansión del suministro del gas natural en el Perú.

En el distrito de Salas Guadalupe, provincia de Ica, departamento de Ica se encuentra el Pueblo Joven Santa Cruz de Villacuri, ubicado al norte de Ica, la cual es una zona de bajos recursos donde usan como fuente de energía para la cocina la leña o gas licuado de petróleo (GLP) envasado, ya que no cuentan con una red matriz para tener acceso al gas natural. Por lo que el estado mediante el FISE en el año 2023 promovió la instalación del gasoducto de polietileno para el transporte de gas natural a beneficio de toda la población, proyectándose una tubería matriz con una longitud de 1279.70 metros. (OSINERGMIN, 2020a)

El beneficio para los residentes y comercios es que, al utilizar el gas natural como fuente de energía, acceden a un combustible más amigable con el medio ambiente, más

seguro por ser menos denso que el aire, más económico y el flujo es continuo e ininterrumpido. Debido a que las redes de distribución de gas natural tendría una máxima presión de operación admisible de cinco (5) bar, se está optando por instalar tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE), ya que son más económicas a comparación de las de acero, presentan resistencia mecánica y química, son flexibles, garantizan alta durabilidad y son compatibles. Sin embargo, es necesario una adecuada supervisión a fin de asegurar la correcta instalación.

La supervisión y fiscalización del OSINERGMIN a los proyectos de redes de polietileno para el suministro de gas natural de baja presión garantizará el cumplimiento de las normativas nacionales e internacionales vigentes, así como los estandares de calidad exigidos en los reglamentos. La fiscalización se da a toda la etapa constructiva desde los trabajos de tendido de tubería de polietileno, prueba de hermeticidad de la red y hasta la gasificación del proyecto. Asimismo, se garantizará que todos los trabajos son desarrollados por personal calificado de acuerdo con las tareas que desempeñan y cumpliendo los estandares de calidad.

En el contexto de la supervisión, ENERMIN AUDI SAC es una empresa dedicada a la supervisión y fiscalización del sistema de suministro de gas natural por gasoductos de acero y polietileno de baja y alta presión, y fue la encargada de supervisar la instalación de las redes de polietileno en el distrito de Salas Guadalupe, en el departamento de Ica.

1.2. Descripción del problema de investigación

1.2.1. Problema general

¿De qué manera la supervisión técnica de la instalación de un gasoducto de suministro de gas natural en polietileno en el Pueblo Joven Santa Cruz de Villacuri puede contribuir al progreso de la calidad de vida de sus habitantes, en términos de seguridad, ahorro económico y reducción de impacto ambiental?

1.2.2. Problema específico

- ¿Cómo la verificación de los parámetros de diseño asegura la operación segura de la red de distribución?
- ¿Qué impacto tiene la supervisión técnica en los costos operativos y de consumo para los usuarios finales?
- ¿De qué manera la instalación supervisada contribuye a la reducción de emisiones y a un entorno más limpio para la comunidad?

1.3. Objetivos del estudio

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el impacto de la supervisión técnica en la instalación de una red de distribución de gas natural en polietileno en el Pueblo Joven Santa Cruz de Villacuri, para asegurar una operación segura y contribuir al progreso de la calidad de vida de sus pobladores.

1.3.2. Objetivos específicos

- Verificar que se cumplan los parámetros de diseño y estándares de seguridad en la instalación de la red de polietileno.
- Analizar los beneficios económicos para los usuarios a partir de la implementación de gas natural frente a otras alternativas de energía.
- Cuantificar la reducción de emisiones de CO₂ y otros impactos medioambientales derivados del uso de gas natural en la comunidad.

1.4. Antecedentes investigativos

Carranza Soto, A. M. (2022). Diseño de red de distribución de gas natural de polietileno para abastecer a la zona de Julio Cesar Tello, Lurín.

En este estudio, el autor detecta que dicha zona en mención, ubicada en el distrito de Lurín, existe una considerable cantidad de viviendas y establecimientos comerciales interesados en acceder al gas natural. Sin embargo, dado que no hay una tubería principal cercana, se propone desarrollar un proyecto para diseñar un gasoducto de distribución de gas natural. Este proyecto incluye la definición de las características de las tuberías a utilizar, utilizando una serie de ecuaciones y cálculos que cumplen con la normativa nacional y estándares internacionales aplicables.

El autor estima que el metraje total de tubería de polietileno de media densidad es de 1100 metros. Durante el estudio, identificó que un tramo que atraviesa la Avenida Antigua Panamericana Sur tiene un elevado tráfico vehicular, incluyendo camiones de carga pesada. Debido a esta situación, decidió realizar cálculos para determinar las cargas que la tubería de polietileno deberá soportar en cruces especiales como este, con el fin de elegir un sistema adecuado de mitigación para garantizar la integridad de la tubería. El trabajo del autor se enmarca dentro del entorno de la expansión de las redes de polietileno para el uso de los hogares y las industrias en el departamento de Lima, como parte del proceso de masificación del gas natural.

Finalmente concluyó que el gasoducto debe ser de un diámetro de 200 mm, SDR 17 y debe instalarse a una distancia de seguridad mayor al mínimo requerido en la normativa, pero debido a ello se tendrá una mayor carga al límite de trabajo permitido, por lo que plantea sistemas de protección y de esta manera evitar que la integridad de la tubería se vea afectada. (Carranza Soto, 2022)

Muñoz Vásquez, W. K. (2023). Análisis técnico-económico de la implementación del sistema de distribución de gas natural por red de ductos en la región Piura.

En la presente investigación, la autora realiza un análisis técnico-económico con el objetivo de implementar una alternativa de energía más limpia, segura y progresiva en la región de Piura. Este análisis se centra en la instalación de un Extensión de Suministro de gas natural a través de una red de tuberías que incluye cuatro estaciones de regulación para el consumo. El propósito principal es proveer de gas natural a los sectores residenciales, comerciales, vehiculares e industriales en las regiones de Piura, beneficiando así a toda la región con una energía más eficiente y sostenible.

A la fecha de la investigación, la autora señala que en las regiones de Piura predominaban otras fuentes energéticas más contaminantes e inseguras que el gas natural, como el Gas Licuado de Petróleo, el Residual de Petróleo R500, la leña y otras que tienen impactos negativos en la salud. La autora estimó una demanda para los primeros ocho años desde la puesta en servicio del Sistema de Distribución de gas natural en la región, calculando un total de 402 millones de pies cúbicos por día (MMPCD) para atender a 64,669 usuarios. En consecuencia, propone una infraestructura de trazado de ductos compuesta por 12 tramos, con una longitud total de 311 kilómetros.

Según el estudio, los precios de inversión para la extensión de suministro de gas natural por gasoductos en la región de Piura alcanzaron un total de USD 161.98 millones. Basándose en estos datos, el autor concluye que los resultados son viables, ya que el proyecto arroja un Valor Actual Neto (VAN) de USD 9.6 millones y una Tarifa Interna de Retorno (TIR) del 14%. Esto sugiere que el proyecto es económicamente rentable y podría generar beneficios significativos para la región, incentivando la transición hacia una fuente de energía más limpia y segura como el gas natural. (Muñoz Vasquez, 2023)

Ramos Loayza, D. (2022). Diseño y análisis de la calidad en la tubería de conexión entre la estación de servicio "La Reserva" y el ducto principal de Calidda.

El presente informe de investigación aborda el diseño y el estándar de calidad de una tubería que conecta a la estación de combustibles "La Reserva" con una tubería gasificada de Calidda, llevada a cabo por la contratista Nagasco.

Dicha habilitación consumía 184,113 Sm³/mes para el suministro de gas natural para los vehículos. La estación está ubicada a unos 13 metros de la tubería gasificada. Para conectar la tubería a la estación de servicio, se realizó una perforación HOT TAP en la tubería gasificada. El plan de diseño incluyó la ejecución de un HOT TAP en una red activa de 14 pulgadas de diámetro, instalando un refuerzo de acero de 14 pulgadas x 3 pulgadas, unido mediante una unión de torque con una válvula tipo bola de 3 pulgadas. A continuación, se continuó con una tubería de acero de 3 pulgadas hasta culminar con una válvula de bloqueo (3 pulgadas) en un recinto de concreto, finalizando con un cap de acero de 3 pulgadas frente a la estación de servicio "La Reserva".

El proyecto describe que todas las soldaduras fueron sometidas a ensayos no destructivos tipo inspección visual y ensayos gamma gráficos, pruebas destructivas para garantizar la resistencia y hermeticidad, evaluación del recubrimiento de la fabricación de la tubería de conexión, inspección de pruebas de *Holliday Detector* al revestimiento para detectar fugas de energía, protección catódica, entre otros. Finalmente, en el trabajo de investigación el autor busca describir el plan de calculó de diámetro y espesor de la red y los ensayos no destructivos a las que fue sometido el ramal existente en servicio, asegurando así el objetivo de cumplir con todos los estándares en el empalme realizado entre "La Reserva" y tubería gasificado existente de Calidda. (Ramos Loayza, 2022)

Cabrera Beltran, M., & Martínez Hernandez, A. Vi. (2017). Diseño de la ampliación de la red de distribución de gas natural en el centro poblado San Antonio De Anapoima.

En el presente informe de investigación, las autoras, diseñaron la ampliación de la extensión de suministro de gas natural del Municipio de Anapoima, en colaboración con la Municipalidad, utilizando herramientas tecnológicas como AutoCad y el software Aspen Hysys.

Las autoras realizaron una entrevista a los habitantes del pueblo de San Antonio de Anapoima, donde determinaron una proyección en la demanda de gas natural. Posteriormente, procedieron a diseñar la tubería de suministro de Gas Natural sobre el plano del sector utilizando el software AutoCAD. Para realizar el diseño de la red utilizaron la Norma Técnica colombiana (NTC) vigente, la cual especifica parámetros como tipo de material, diámetros, accesorios, distancia de profundidad, presiones, temperaturas, entre otros.

Para verificar las condiciones de diseño y simular variables como temperatura, presión, diámetros de tubería y materiales, utilizaron el simulador Aspen Hysys. Este software les permitió definir las caídas de presión y temperatura en la red de distribución. El gas ingresa a una presión de 74,7 psia y alcanza el perímetro de manzana a 66,7 psia.

Para concluir, las autoras llevaron a cabo el análisis financiero utilizando el método del Valor Presente Neto (VPN), mediante la cual determinaron que el costo del proyecto, en términos actuales, es de COP 245.972.459. (Cabrera Beltran & Martínez Hernandez, 2017)

Rincón Santillán, J. R. (2015). Determinación, mediante GC, del contenido de CO₂ y H₂S para el control de la calidad del gas natural.

El presente trabajo de investigación comienza definiendo los requisitos metrológicos y el diseño de medición, además de proponer cambios para optimizar la determinación de la concentración de CO₂ y H₂S, con el objetivo de poder garantizar las condiciones del gas natural para su transporte y distribución final.

Debido a que la composición química y condiciones del gas natural varían según la ubicación geográfica, el tipo de formación o la reserva de la cual se extrae, es necesario eliminar ciertas impurezas y contaminantes antes de su transporte y distribución para uso residencial y comercial. Esto requiere un programa de aseguramiento, que abarca desde la toma de los ejemplares en la fuente de gas hasta el estudio de su composición y el informe de la concentración del gas natural, asegurando así un alto grado de confiabilidad en el servicio ofrecido al consumidor final.

Finalmente, el autor, utilizando normas de referencia como la ISO y ASTM, realiza ensayos en el taller de aseguramiento de calidad. Mediante un cromatógrafo de gases con localizador de conducción térmica para CO₂ y localizador de quimioluminiscencia para la determinación de H₂S, obtiene valores medios de 2.5706×10^{-1} % mol para el CO₂ y 2.308×10^{-2} mg/m³ para el H₂S. Estos resultados son favorables, ya que están debajo del límite máximo establecido en el Reglamento de Suministro de Gas Natural por Red de Ductos.

(Rincón Santillán, 2015)

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La supervisión técnica del gasoducto de suministro de gas natural en polietileno en el Pueblo Joven Santa Cruz de Villacuri contribuye significativamente a contribuir la calidad de vida de sus pobladores, al asegurar una operación segura, económica y medioambientalmente sostenible.

1.5.2. Hipótesis específicas

- La verificación de los parámetros de diseño garantiza una operación segura y reduce riesgos para los usuarios.
- La supervisión técnica de la instalación permite a los usuarios un ahorro económico en comparación con otras fuentes de energía.
- La instalación supervisada contribuye a una reducción en las emisiones de CO₂, mejorando la calidad del entorno ambiental de la comunidad.

1.6. Matriz de consistencia

En la Tabla 1 se presenta la matriz de consistencia de la investigación.

Tabla 1
Matriz de consistencia

TÍTULO DEL PROYECTO				
Supervisión Técnica de la Instalación de una Red de Distribución de Gas Natural en Polietileno y su Impacto en la Calidad de Vida en el Pueblo Joven Santa Cruz de Villacuri, Ica				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
PRINCIPAL ¿De qué manera la supervisión técnica de la instalación de un gasoducto de polietileno para suministro de gas natural en el Pueblo Joven Santa Cruz de Villacuri puede contribuir al beneficio de la calidad de vida de sus pobladores, en términos de seguridad, ahorro económico y reducción de impacto ambiental?	PRINCIPAL Evaluar el impacto de la supervisión en las actividades de la construcción de un gasoducto de polietileno de distribución de gas natural en el Pueblo Joven Santa Cruz de Villacuri, para asegurar una operación segura y contribuir al beneficio de la calidad de vida de sus pobladores. ESPECÍFICOS <ul style="list-style-type: none"> ✓ ¿Cómo la verificación de los parámetros de diseño asegura la operación segura de la red de distribución? ✓ ¿Qué impacto tiene la supervisión técnica en los costos operativos y de consumo para los usuarios finales? ✓ ¿De qué manera la instalación supervisada contribuye a la reducción de emisiones y a un entorno más limpio para la comunidad? 	PRINCIPAL La supervisión técnica del gasoducto de polietileno de suministro de gas natural en el Pueblo Joven Santa Cruz de Villacuri contribuye significativamente el beneficio de la calidad de vida de sus habitantes, al asegurar una operación segura, económica y medioambientalmente sostenible. ESPECÍFICOS <ul style="list-style-type: none"> ✓ Verificar el cumplimiento de los parámetros de diseño y estándares de seguridad en la instalación de la red de polietileno. ✓ Analizar los beneficios económicos para los usuarios a partir de la implementación de gas natural frente a otras matrices de energía. ✓ Cuantificar la reducción de emisiones de CO₂ del uso de gas natural en la comunidad. 	DEPENDIENTE Y1 = Mejoramiento en la calidad de vida INDEPENDIENTE X1 = Supervisión de la instalación X2 = Verificación del diseño X3 = Acceso al gas natural	Y1 = Costo de energía Y2 = Reducción de emisiones X1 = Diámetro de tuberías (m) X2 = Caídas de presión (bar) X3 = Ensayos a las redes de HDPE

Fuente: Elaboración propia

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Gas Natural

2.1.1.1. Productividad de Gas Natural Húmedo

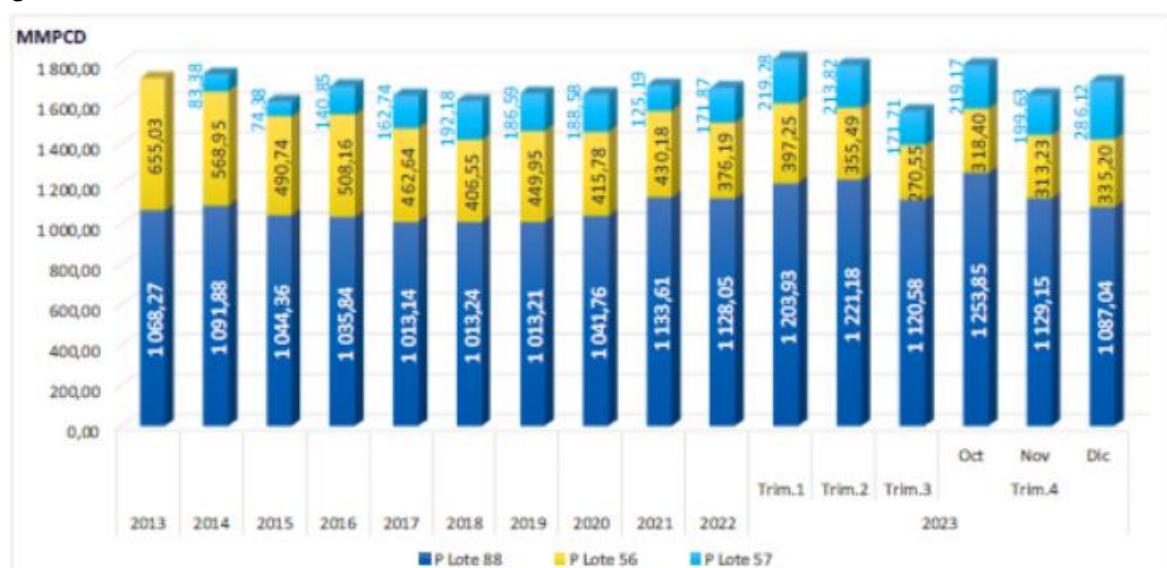
El reservorio conocido como Camisea alberga la principal fuente de gas natural del país.

Estos pozos se encuentran en las cercanías del arroyo Camisea, aproximadamente a 20 km de la margen derecha del río Urubamba, abarcando los lotes 88, 57 y 56 en la zona sur del Perú. Los lotes 56 y 88 son operados por Pluspetrol, mientras que el Lote 57 es operado por Repsol Exploración. En la

Figura 1 se muestra el promedio mensual del gas natural húmedo de los principales lotes productores de Camisea. (OSINERGMIN, 2023)

Figura 1

Representación de la producción por mes de gas natural húmedo al 2023 (en MMPCD)



Fuente: (OSINERGMIN, 2023)

El gas natural húmedo extraído de los lotes de Camisea contiene cantidades significativas de hidrocarburos líquidos y contaminantes, por lo que necesita ser procesado en la Planta de Separación de Gas Natural Malvinas. En esta planta se produce líquidos de gas natural

y gas seco. La Figura 2 muestra típicamente la composición del gas natural proveniente de los yacimientos de Camisea.

Figura 2
Composición típica de Gas Natural en el Perú

COMPONENTE	GAS NO ASOCIADO	GAS ASOCIADO			
	CAMISEA	LOTE Z - 2B	LOTE VI	LOTE X	GMP
N2	0.51	0.2796	0.2294	0.1541	0.4477
CO2	0.53	1.2703	0.3060	0.5320	0.4393
C1	83.39	86.3218	87.1112	90.2791	85.2500
C2	9.49	5.6168	6.3257	4.0699	6.3681
C3	3.39	3.0423	3.0128	1.8627	3.6630
i-C4	0.46	0.9022	0.8102	0.7231	1.0753
n-C4	0.88	1.2519	1.1895	0.9068	1.3753
i-C5	0.30	0.5093	0.4864	0.4980	0.5606
n-C5	0.28	0.3113	0.2978	0.3007	0.3138
C6	0.28	0.4945	0.2310	0.6736	0.5069
Benceno	0.01				
C7	0.18	-	-	-	-
C8	0.11	-	-	-	-
C9	0.03				
C10	0.01				
H2O	0.14				

Fuente: (Gomez Pocomucha, 2008)

2.1.1.2. Procesamiento de Gas Natural Húmedo

En la refinería de procesamiento de Malvinas, se introduce gas natural húmedo que necesita ser fraccionado para separar los líquidos de gas natural del gas natural seco, así como para eliminar otros componentes no deseados.

El gas natural seco tiene varios destinos potenciales, como centrales termoeléctricas, plantas de licuefacción, uso en viviendas y en el parque automotor, entre otros. Los hidrocarburos líquidos se transportan a las plantas de fraccionamiento para la producción principal de gas licuado de petróleo (GLP) y diésel.

En la refinería de Procesos de Malvinas, se lleva a cabo la separación de los gases secos, de los líquidos de gas natural y otros componentes no deseados. Posteriormente, estos LGN son conducidos a la Estación de Fraccionamiento de Pisco a través de un poliducto operado por Transportadora de Gas del Perú (TGP). En esta planta, mediante procesos físicos, se separan los hidrocarburos para obtener productos específicos como butano y

propano, que forman parte del gas licuado de petróleo (GLP), así como gasolina natural, nafta y el *middle distillate blending stock* (MDBS). (OSINERGMIN, 2023)

En la Tabla 2 podemos apreciar la composición típica del gas natural seco obtenido en la Planta de Separación de Gas Natural de Malvinas.

Tabla 2
Composición del gas natural seco de Camisea

Componente	Fracción Molar
N ₂	0.0054
CO ₂	0.0058
H ₂ O	0.0000
Metano	0.8854
Etano	0.1032
Propano	0.0002
i-butano	0.0000
n-butano	0.0000

Fuente: (López Moreno, 2022)

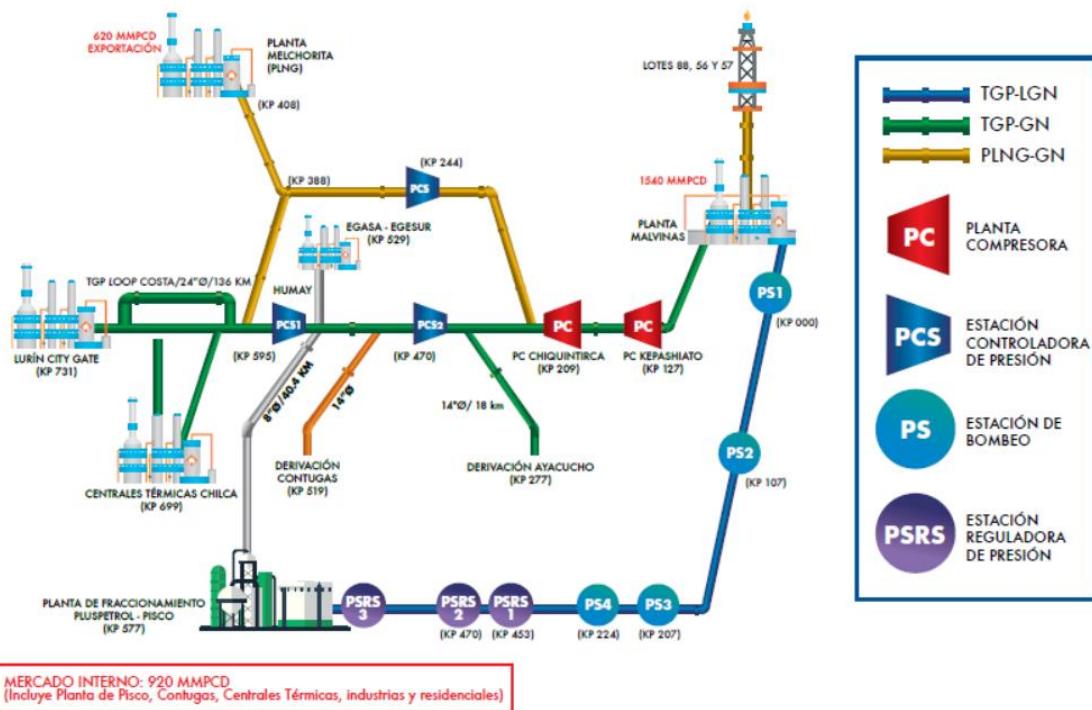
2.1.1.3. Transporte por ductos de gas natural

El transporte por redes es una función esencial en la cadena de valor del gas natural, cuyo propósito es mover el gas natural y sus derivados de una ubicación a otra. Inicialmente, el gas natural sustraído de los yacimientos se circula a través de sistemas de inyección e recolección, conocidos como *flowlines*, hacia una estación de separación. En esta estación, el gas natural se separa en dos componentes principales: gas natural seco y líquidos de gas natural.

El gas natural seco proveniente de Camisea se transporta hacia Ayacucho, Ica y Lima para su utilización en aplicaciones residenciales, comerciales, industriales, uso vehicular y generación eléctrica. Por otra parte, los líquidos de gas natural son transportados hasta la Planta de Fraccionamiento de Pisco. (OSINERGMIN, 2013)

En la Figura 3 podemos visualizar el flujo comercial del gas natural seco y los líquidos de gas natural distribuidos para el mercado interno.

Figura 3
Flujo comercial de GN y LGN en el mercado interno, 2013



Fuente: (OSINERGMIN, 2013)

2.1.2. Gas Natural Seco

El gas natural está en estado gaseoso, constituido predominantemente por metano, como se apreció en la Tabla 2. (D.S.040-EM, 2008)

Conforme con el Reglamento de Distribución de Gas Natural en el artículo 44 indica que el Gas Natural tendrá las condiciones finales por el Concesionario según la Tabla 3.

Tabla 3
Condiciones para distribuir el gas natural en Ica

Condiciones de entrega del GN	Rango
Partículas sólidas	Máximo 22.5 Kg/millón m ³ (st) $\varnothing \leq 5$ micrones Libre de gomas, aceites, glicoles y otras impurezas
Sulfuro de hidrógeno	≤ 3 mg/m ³ (st)
Azufre total	≤ 15 mg/m ³ (st)

Condiciones de entrega del GN	Rango
Dióxido de carbono	≤ 3.5% de su volumen
Gases inertes (N ₂ y otros gases)	≤ 6% de su volumen
Agua (l)	Libre de agua
Vapor de agua	≤ 65 mg/m ³ (st)
Temperatura	< 50 °C
Poder calorífico bruto	[8 450 – 10 300] Kcal/m ³ (st)

Fuente: (D.S.040-EM, 2008)

2.1.2.1. Beneficios

Ahorro: El gas natural es más económico que otros combustibles de uso similar. Al tener un medidor instalado en la vivienda, solo se paga por la cantidad de gas consumido cada mes.

Seguridad: El gas natural no es tóxico. Se dispersa rápidamente en el aire y es fácilmente detectable debido a su odorizante característico. Llega a los domicilios a través de tuberías, por lo que ya no es necesario almacenarlo en casa. Además, por ser más ligero que el aire, si se produce una fuga eventual, se disipará velozmente a través de las rejillas de ventilación.

Disponibilidad: El gas natural está siempre disponible las 24 horas del día y dentro 365 días del año.

Limpieza: El gas natural es una fuente limpia porque su uso no produce residuos sólidos como el hollín. Es menos contaminante que el gas licuado de petróleo (GLP). La llama azul intensa es indicativa de una combustión limpia, a diferencia de las llamas amarillas o rojizas que resultan de la presencia de impurezas en la combustión de otros combustibles. (OSINERGMIN, 2021)

2.1.2.2. Características

El gas natural, en su estado original, tiene la propiedad de ser incoloro e inodoro. Durante la distribución, se le agrega un aromatizador llamado metilmercaptano para que sea más fácil detectarlo en caso de una fuga. Como es más ligero que el aire, tiende a ascender rápidamente y a dispersarse en el ambiente en caso de fugas. Aunque no es tóxico, puede causar asfixia en espacios cerrados y mal ventilados al desplazar el oxígeno. (López Moreno, 2022)

2.1.3. Sistema de Suministro de gas natural por gasoducto de polietileno

Para el Sistema de Suministro de gas natural en el departamento de Ica, se considera “Red secundaria” al conjunto de ductos que transportan gas desde los *City Gate’s* hasta los usuarios residenciales.

2.1.3.1. Polietileno

El polietileno (PE) es una tubería termoplástica por el resultado de la polimerización del etileno. Cada molécula de polietileno está compuesta por un ramal largo de átomos de carbono, con dos (2) átomos de hidrógeno y (1) un átomo de carbono. A veces, algunos átomos de carbono tienen cadenas cortas de polietileno unidas en lugar de hidrógenos, lo que se conoce como polietileno ramificado o de baja densidad. Si no hubiera ramificaciones, se denomina polietileno lineal, el cual es significativamente más resistente que el polietileno con ramas. El polietileno de baja densidad es como el PE-80 y el polietileno de alta densidad es como el PE-100. Estos polímeros se producen utilizando hexeno-C6 como comonómero en tecnología de doble reactor. (Extrucol, 2016)

Por los años 70 se desarrollaron los PE63, que fueron materiales de primera generación. Posteriormente, en la década de 1980, surgió el PE 80, que mejoró la resistencia a pruebas destructivas y la resistencia a grietas y fisuras. Finalmente, en la década de 1990, se introdujo el PE 100 o PE de tercera generación, el cual mejoró significativamente la resistencia hidrostática y redujo tanto el crecimiento lento como rápido

de grietas. Esto permitió la fabricación de tuberías más livianas y capaces de resistir fisuras o rayones que pueden ocurrir durante el almacenamiento o la instalación. (Extrucol, 2016)

De acuerdo con su densidad, el polietileno se clasifica en tres tipos principales: polietileno de densidad alta (HDPE), polietileno de densidad media (MDPE) y polietileno de densidad baja (LDPE), como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4
Clasificación del polietileno según su densidad

Densidad	Rango (g/cm ³)
Baja Densidad	[0.910 – 0.925]
Media Densidad	[0.926 – 0.940]
Alta Densidad	[0.941 – 0.965]

Fuente: (ASTM D3350, 2008)

Las propiedades típicas de las tuberías de polietileno de media y alta densidad (PE-80) y (PE-100) respectivamente, utilizados para los gasoductos de suministro de gas natural de baja presión las podemos apreciar en la Figura 4.

Figura 4
Propiedades del polietileno de media y alta densidad

PROPIEDADES TÍPICAS DEL PE 80 Y PE 100 (COMPUESTOS)				
PROPIEDADES	MÉTODOS DE ENSAYO	VALORES		UNIDADES
		PE80	PE100	
DENSIDAD (PIGMENTADO)	ISO 1183	0,928	0,959	g/m ³
TASA DE FLUJO (5Kg/190°C)	ISO 1133	0,85	0,29	g/10min
RESISTENCIA A LA TENSIÓN EN EL PUNTO DE CEDENCIA	ISO 6259	19	25	MPa
RESISTENCIA A LA TENSIÓN EN EL PUNTO DE ROTURA	ISO 6259	-----	38	MPa
ELONGACIÓN (ROTURA)	ISO 6259	>350	>600	%
MÓDULO DE ELASTICIDAD	ISO 527	750	1400	MPa
PUNTO DE ABLANDAMIENTO VICAT	ISO 306	121	128	°C
PUNTO DE ABLANDAMIENTO VICAT (5Kg)	ISO 306	-----	78	°C
ESTABILIDAD TÉRMICA (OIT, 210°C)	ISO 10837	>20	>20	min
COLOR	ISO 9080	AMARILLO	NARANJA	---
RESISTENCIA MÍNIMA REQUERIDA (MRS)	ISO 12162	8	10	MPa

Fuente: (Extrucol, 2016)

Para la instalación de redes de distribución de gas natural a baja presión se utilizan principalmente tuberías de polietileno de alta y media densidad.

2.1.3.2. Características de la tubería de polietileno

Resistencia química a causa de daños agresivos externos: Las tuberías de polietileno (PE) presentan una elevada resistencia química en comparación a sustancias puras o diluidas, debido a su amplio rango de pH soportado, que va desde 1,25 hasta 14. Por lo que no se ven afectadas adversamente por la presencia de agentes orgánicos odorizantes, condensados de gas, lixiviados de rellenos sanitarios, aguas residuales u otras sustancias químicas.

Capacidad de absorción de cargas: El polietileno (PE) es un ducto viscoelástico, lo que significa que las tuberías pueden retener los esfuerzos a los que son sometidas, como impactos o golpes fuertes. Esto permite que sufran menos daños durante el almacenamiento o la instalación en comparación con materiales más quebradizos como el PVC, el concreto y el gres.

Impermeabilidad: Las tuberías de PE tienen una tasa de permeabilidad de $113 \frac{cm^3}{día} \times 100 pulg^2 \times mm$ de espesor a presión atmosférica diferencial, lo cual se considera insignificante. Por lo tanto, son impermeables al gas natural.

Alta capacidad de elongación: Cuando el polietileno (PE) se somete a fuerzas de tensión y supera el estado de cadencia, puede elongarse hasta un 500% de su longitud inicial. Esta propiedad es especialmente relevante en zonas cuando ocurren sismos, terremotos o deslizamientos de terreno. La capacidad de elongación del PE permite que las tuberías y estructuras fabricadas con este material absorban y distribuyan las fuerzas generadas por estos eventos sin romperse fácilmente, contribuyendo así a la seguridad y resistencia de las instalaciones.

Flexibilidad: La flexibilidad es la capacidad de un material para ser curvado a un radio específico y luego alinearlo repetidamente sin experimentar discontinuidades

significativas en sus propiedades físicas. Esta característica también influye en las características de resistencia a la compresión del material plástico de la tubería. En el caso del polietileno (PE), su alta flexibilidad le permite soportar deformaciones y curvaturas sin comprometer su integridad estructural, lo cual es fundamental en aplicaciones donde se requiere una instalación fácil y resistencia a condiciones adversas.

La capacidad para resistir el aplastamiento sin sufrir daños es crucial en las instalaciones de gas natural, especialmente durante operaciones donde pueden ocurrir aplastamientos comunes, emergencias o trabajos de mantenimiento. Esto asegura que las tuberías de polietileno (PE) mantengan su integridad estructural incluso bajo presiones de aplastamiento significativas, lo cual es fundamental para garantizar la seguridad y eficiencia en el transporte y distribución de gas natural.

La curvatura del material permite que se adapte a cualquier tipo de zanja sin necesidad de utilizar muchos accesorios adicionales, lo que facilita y acelera considerablemente el proceso de instalación. Esto no solo mejora la eficiencia del trabajo, sino que también resulta en ahorros significativos en los costos de instalación.

Homogeneidad en la red: El polímero de etileno permite la fabricación de accesorios utilizando el mismo grado de material empleado para fabricar las tuberías, lo que asegura la integridad de un sistema monolítico y sin fugas. Para unir estas tuberías y accesorios, se utiliza únicamente calor, sin necesidad de ningún tipo de pegamento. Esto asegura una conexión robusta y confiable, contribuyendo a la eficiencia y durabilidad del sistema de tuberías de polietileno en aplicaciones como la distribución de gas natural.
(Extrucol, 2016)

2.1.3.3. Clasificación de las tuberías de polietileno

Polietileno de Alta Densidad (PE100 – HDPE): Tubería en plástico fabricada por proceso termoplástico cuya norma de fabricación de material permite presiones de operación de hasta 10 bares y elaborada a con una resina de Polietileno de Densidad Alta (HDPE). (Contugas, 2022)

En la Figura 5 podemos apreciar los diámetros nominales en milímetros y los espesores de pared según cada relación diámetro externo/espesor de pared (RDE).

Figura 5

Tuberías serie milimétrica PE 100 (HDPE)

TUBERÍA SERIE MILIMÉTRICA PE100 (PEAD) NTC 1746						
DIÁMETRO NOMINAL mm	ESPESOR DE PARED (mm)				LONGITUD	
	RDE 11		RDE 17		METROS	
	MINIMO	TOLERANCIA	MINIMO	TOLERANCIA	ROLLOS	TRAMOS
50	4,6	+ 0,7	3,0	+ 0,5	150	-
63	5,8	+ 0,8	3,8	+ 0,6	100	-
75	6,8	+ 0,9	4,5	+ 0,7	100	-
90	8,2	+ 1,1	5,4	+ 0,8	50 - 100	10 - 12
110	10,0	+ 1,2	6,6	+ 0,9	50	10 - 12
160	14,6	+ 1,7	9,5	+ 1,2	-	10 - 12
200	18,2	+ 2,1	11,9	+ 1,4	-	10 - 12
250	22,7	+ 2,5	14,8	+ 1,7	-	10 - 12
315	28,6	+ 3,1	18,7	+ 2,1	-	10 - 12
355	32,3	+ 3,5	21,1	+ 2,4	-	10 - 12
400	36,4	+ 5,7	23,7	+ 3,8	-	10 - 12

Fuente: (Extrucol, 2016)

Polietileno de Media Densidad (PE80 – MDPE): Tubería en plástico fabricada por proceso termoplástico cuya norma de fabricación de material permite presiones de operación de hasta 5,5 bares y elaborada a partir de una resina de Polietileno de Media Densidad (MDPE). (Contugas, 2022)

En la Figura 6 podemos apreciar los diámetros nominales en milímetros y los espesores de pared según cada relación diámetro externo/espesor de pared (RDE).

Figura 6

Tuberías serie milimétrica PE 80 (MDPE)

TUBERÍA SERIE MILIMÉTRICA PE 80 (PEMD) NTC 1746											
DIÁMETRO NOMINAL (mm)	DIÁMETRO EXTERIOR		ESPESOR DE PARED (mm)						LONGITUD		
	PROMEDIO mm	TOL.* mm	RDE 17		RDE 11		RDE 9		METROS		
			MÍNIMO	TOL.*	MÍNIMO	TOL.*	MÍNIMO	TOL.*	ROLLOS	TRAMOS	
20	20,15	± 0,15	-----	-----	-----	-----	2,3	+ 0,5	150	-----	
25	25,15	± 0,15	-----	-----	2,3	+ 0,5	-----	-----	150	-----	
32	32,15	± 0,15	-----	-----	2,9	+ 0,5	-----	-----	150	-----	
63	63,20	± 0,20	-----	-----	5,8	+ 0,8	-----	-----	100	-----	
90	90,30	± 0,30	5,4	+ 0,8	8,2	+ 1,1	-----	-----	50 - 100	10 - 12	
110	110,30	± 0,30	6,6	+ 0,9	10,0	+ 1,2	-----	-----	50	10 - 12	
160	160,50	± 0,50	9,5	+ 1,2	14,6	+ 1,7	-----	-----	-----	10 - 12	
200	200,65	± 0,65	11,9	+ 1,4	18,2	+ 2,1	-----	-----	-----	10 - 12	
250	250,75	± 0,75	14,8	+ 1,7	22,7	+ 2,5	-----	-----	-----	10 - 12	
315	315,95	± 0,95	18,7	+ 2,1	28,6	+ 3,1	-----	-----	-----	10 - 12	
355	356,1	± 1,1	21,1	+ 2,4	32,3	+ 3,5	-----	-----	-----	10 - 12	
400	401,2	± 1,2	23,7	+ 3,8	36,4	+ 5,7	-----	-----	-----	10 - 12	

Fuente: (Extrucol, 2016)

Válvulas de línea (VL): Las válvulas de seccionamiento o aislamiento corresponden a válvulas ubicadas en la red de distribución, diseñadas para operar en modo on/off, es decir, totalmente abiertas o totalmente cerradas. Su función principal es bloquear posibles fallas operativas en zonas específicas o segmentos del sistema de distribución. La instalación de estas válvulas se determina de acuerdo con las especificaciones del código ASME B31.8, que regula el diseño, construcción, inspección y pruebas de sistemas de tuberías para distribución de gas natural. (Contugas, 2022)

2.1.4. Diseño del sistema de tuberías en polietileno

El sistema de tuberías de polietileno enterradas debe ser diseñado para asegurar un suministro continuo y seguro de gas natural seco. El diseño debe considerar aspectos técnicos, procedimientos adecuados, condiciones ambientales y seguridad integral. Esto implica la selección correcta de materiales, el diseño estructural de las tuberías para resistir cargas externas y condiciones climáticas, así como la implementación de medidas de seguridad que cumplan con las normativas y estándares aplicables. Garantizar estos aspectos es fundamental para mantener la integridad y eficiencia del sistema de

distribución de gas natural. Los criterios más importantes son: (NTP 111.021, 2016), (ASME B31.8, 2022), (Sifuentes Sancho, 2011), (PAVCO, 2017), (Quadri, 1988)

2.1.4.1. Presión máxima admisible de operación (MAPO)

La MAPO para un conjunto de tuberías de polietileno (PE) se selecciona por parte del Distribuidor según los requisitos operativos del conjunto de suministro de gas natural, el tipo de material y grado utilizado y las regulaciones establecidas por la Entidad Competente.

La MAPO de un conjunto de PE depende del tipo de resina utilizada (MRS), la serie SDR de la tubería y las condiciones de servicio, y está limitada por el Coeficiente Global de Servicio C (de diseño).

En resumen, la MAPO de un sistema de tuberías de PE se determina cuidadosamente considerando estos factores técnicos y normativos para garantizar la seguridad y la integridad del sistema de distribución de gas natural.

La MAPO (bar) se calculará utilizando la ecuación 1: (NTP 111.021, 2016)

$$MAPO = \frac{20 \times MRS}{C \times (SDR - 1) \times D_F} \quad (1)$$

SDR es relación entre el diámetro nominal exterior con el espesor nominal de pared.

MRS (*Minimum Required Strength*) es un valor que indica la resistencia mínima requerida del material a largo plazo. Este valor se determina mediante pruebas a presión hidrostáticas y se expresa en MPa (Megapascales). El MRS se utiliza para clasificar y especificar los materiales de polietileno, especialmente en aplicaciones de tuberías para garantizar que el material pueda soportar las condiciones operativas durante su vida útil estimada, generalmente 50 años.

De manera ejemplar, el polietileno de alta densidad (HDPE) con un MRS de 10 MPa se clasifica como PE-100, lo que indica que el material tiene una resistencia mínima requerida de 10 MPa a largo plazo. De manera similar, PE-80 tiene un MRS de 8 MPa.

El coeficiente global de servicio C para materiales termoplásticos está definido en la norma ISO 12162. Este coeficiente se utiliza para calcular la MAPO de la tubería. Para sistemas de tuberías de polietileno que transportan gas natural, el coeficiente C debe ser igual a 2, o puede ser mayor si así lo establece la Entidad Competente.

El coeficiente de reducción (D_F) es un parámetro utilizado en el cálculo de la MAPO de sistemas de tuberías, y tiene en cuenta la influencia de la temperatura de operación. Este coeficiente se utiliza para ajustar la presión máxima que puede soportar la tubería dependiendo de las condiciones térmicas a las que está expuesta. Generalmente, se presenta en forma de tabla (como se observa en la Tabla 5) donde se especifican los valores de D_F para diferentes rangos de temperatura.

Tabla 5
Coeficiente de reducción (D_F)

Temperatura promedio (°C)	D_F
10	0.9
20	1
30	1,1
40	1,3

Fuente: (NTP 111.021, 2016)

2.1.4.2. Presión de Diseño

Esta presión se refiere a la máxima valor de presión interna que una tubería puede soportar de manera segura durante su vida útil, considerando un factor de seguridad. Es un parámetro crucial para asegurar la integridad y la seguridad del gasoducto de distribución de gas natural.

De acuerdo al manual del fabricante de tuberías de polietileno para la distribución de gas natural podemos calcular la presión de diseño de la tubería con la ecuación 2:

$$P = \frac{2 \times S}{(SDR - 1)} \times F \quad (2)$$

Donde:

P: presión de diseño en psi.

SDR: Relación entre el espesor nominal de la tubería y el diámetro externo nominal.

S: Base de diseño hidrostático en psi a 73,4 °F.

F: Factor de diseño para tuberías de polietileno.

De acuerdo al manual del fabricante de tuberías de polietileno se considera un valor de S de 1450 psi para PE-100 y un factor de diseño de mínimo 0.50 para la distribución de servicio de gas natural. (PAVCO, 2017)

2.1.4.3. Caída de Presión

Dicha caída en un tramo de tubería debe ser controlada para asegurar que sea menor que la máxima caída permisible. Esto es crucial para mantener el flujo eficiente y adecuado del gas a lo largo del sistema de tuberías. La máxima caída de presión permisible se determina considerando diversos factores, incluyendo el diseño de la tubería, el diámetro, el tipo de material, la longitud del tramo, las condiciones de operación y las normativas aplicables. Entonces se representa de acuerdo a la ecuación 3.

$$p_f - p_i = \Delta p_{tramo} \leq \Delta p_{máximo\ tramo} \quad (3)$$

Para aplicaciones prácticas en redes externas, es común establecer que la máxima caída de presión en un tramo de tubería no debe exceder el 20% de la presión inicial. Esto significa que la diferencia entre la presión de ingreso y salida del tramo no debe ser mayor al 20% de la presión inicial del sistema, de acuerdo a la ecuación 4.

$$\Delta p_{tramo\ máximo} = 20\% P_{inicial} \quad (4)$$

Esta práctica ayuda a garantizar un flujo adecuado y eficiente de gas natural a lo largo de la red de distribución. Una caída de presión superior al 20% puede resultar en una disminución significativa del flujo y requeriría una presión de entrada más alta para mantener las condiciones operativas deseadas.

Por lo tanto, al diseñar y operar redes externas de distribución de gas natural, es crucial monitorear y controlar la caída de presión en cada tramo para asegurar que se mantenga dentro de estos límites permisibles, optimizando así la productividad y la eficacia del sistema en su conjunto. (Sifuentes Sancho, 2011)

Asimismo, para determinar la caída de presión utilizaremos la fórmula de Renouard en la ecuación 5:

$$P_1^2 - P_2^2 = 48600 \times S \times L \times Q^{1.82} \times D^{-4.82} \quad (5)$$

Donde:

P_1 y P_2 : Presión absoluta a la entrada y salida del tramo de la tubería (kg/cm^2);

S: Densidad relativa del gas natural ($S_{\text{gas}} = 0.61$);

L: Longitud de cálculo de la tubería (km);

Q: Caudal de gas normal a 15°C y 101.325 kPa (m^3/h);

D: Diámetro interior de la tubería (mm);

Cabe indicar que:

La presión absoluta se calcula con la presión atmosférica y adicionando la presión manométrica, lo expresamos en la ecuación 6 con unidades en kg/cm^2 :

$$P_{(\text{abs})} = P_{(\text{man})} + P_{(\text{atm})} \quad (6)$$

La longitud de cálculo L, será la real longitud del tramo más la longitud equivalente por los accesorios, expresado en la ecuación 7 con unidades en km:

$$L_{(\text{Cálculo})} = L_{(\text{real})} + L_{(\text{equivalente})} \quad (7)$$

Donde notamos que para calcular la caída de presión, es fundamental considerar la longitud equivalente por accesorios, ya que estos tienen dependencia del diámetro. (Quadri, 1988)

En la Tabla 6 visualizamos la longitud equivalente de los accesorios involucrados para la instalación del gasoducto de polietileno de suministro de gas natural.

Tabla 6
Longitud equivalente de los accesorios

Accesorio	Longitud Equivalente
Codo 45°	14 D
Codo 90°	30 D
Curva	20 D
TEE flujo	20 D
Reducciones	10 D (menor)
TEE flujo a 90°	60 D
Válvula globo	333 D
Válvula esclusa	7 D
Válvula macho	100 D
Válvula bola (Poliválvula)	10 D

Fuente: (Quadri, 1988)

2.1.4.4. Velocidad de circulación

Dicha velocidad del gas natural en las tuberías es un factor crucial para evitar problemas como el ruido y la sedimentación, y se establecen recomendaciones específicas para su control:

Evitar el ruido: Para prevenir el ruido excesivo en las tuberías, la velocidad del gas natural debe ser mantenida por debajo de ciertos límites. Generalmente, se recomienda que la velocidad no exceda los 40 m/s.

Prevenir la sedimentación: Una velocidad más baja también ayuda a minimizar la sedimentación de partículas en suspensión en el gas natural, lo cual puede ser problemático si las velocidades son demasiado altas.

Recomendación de velocidad: Es común recomendar que dicha velocidad del gas natural sea inferior a 30 m/s, lo cual será empleado en el trabajo y expresado en la ecuación 8. Esta recomendación se basa en consideraciones prácticas y operativas para asegurar un flujo estable y eficiente del gas a través de las tuberías. (ASME B31.8, 2022)

Mantener la velocidad del gas dentro de estos límites contribuye a la operación segura y sin problemas del sistema de distribución, asegurando que se cumplan los estándares de rendimiento y durabilidad de las tuberías utilizadas en la red de distribución de gas natural. (Sifuentes Sancho, 2011), (ASME B31.8, 2022)

$$v \leq 30 \text{ m/s} \quad (8)$$

El cálculo de la velocidad se realizará siguiendo la ecuación 9: (Quadri, 1988)

$$v = 365.35 \times \frac{Q}{D^2 \times P} \quad (9)$$

Donde:

v: Velocidad del gas en circulación (m/s)

Q: Caudal del gas normal (m³/h)

P: Presión absoluta al final del tramo (kg/cm²)

D: Diámetro interno de la tubería (mm)

2.1.4.5. Relación caudal – diámetro

Se debe verificar que la relación del diámetro y del caudal sea inferior a 150, tal como se expresa en la ecuación 10. (Sifuentes Sancho, 2011)

$$\frac{Q}{D} < 150 \quad (10)$$

Donde:

Q: Caudal de suministro de gas a través de la tubería (sm³/h)

D: Diámetro nominal de la tubería (mm)

Si la relación caudal – diámetro supera los 150 en tuberías de polietileno, es probable que se experimente un aumento significativo en la pérdida de presión y en la velocidad del gas. Esto puede llevar a problemas como la turbulencia excesiva, la erosión

interna de la tubería y el riesgo de daños estructurales. Además, una alta relación caudal – diámetro puede comprometer la eficiencia del sistema y requerir un rediseño de la red para asegurar un funcionamiento seguro y eficaz.

2.1.5. Supervisión de la Instalación de las redes de polietileno

2.1.5.1. Excavación de zanjas

En este proceso se debe verificar la metodología de excavación para cada tipo de sección, ya sean excavaciones manuales o con maquinaria, dependiendo del tipo de suelo o terreno a excavar según las circunstancias y/o condiciones.

Una vez efectuada la excavación, se procede al refine de las paredes o cualquier punto sobresaliente que pudiera dañar el revestimiento de la tubería. (Contugas, 2022)

Clasificamos cuatro tipos de terreno como:

Terreno normal, terreno que consta de grava, grava limosa, grava arcillosa, arcilla semidura, arcilla dura, canto rodado, hormigón compactado, afirmado, los cuales pueden ser excavados manualmente sin problemas y/o con equipo mecánico tipo retroexcavadora, ver Figura 7.

Terreno arenoso, consta de suelos tales como arena, limo, arena limosa, arcilla blanda, arena arcillosa o mezcla de ellos, que no puede estabilizarse como un talud estable superior de 5:1, los cuales pueden ser realizados por excavación manual sin problemas y/o con equipo mecánico por retroexcavadora, ver Figura 8.

Terreno semi-rocoso, constituido por suelo normal, mezclado con bolonería de diámetros de 200 mm hasta 500 mm y/o con roca con fragmentos de volúmenes de 4 dm³ hasta 66 dm³. La excavación se realiza con equipo mecánico y se complementa con la excavación manual, ver Figura 9.

Terreno rocoso, Conformado por roca en descomposición y/o roca fija, y/o bolonería mayores de 500 mm de diámetro, sin presencia de otros tipos de suelos. Cuando se

presente este tipo de terreno se utilizará el martillo hidráulico o neumático, ver Figura 10.

(División de Supervisión Regional de Gas Natural - OSINERGMIN, n.d.)

Figura 7

Tipo de terreno – terreno normal



Fuente: Elaboración propia

Figura 8

Tipo de terreno – terreno arenoso



Fuente: Elaboración propia

Figura 9

Tipo de terreno – terreno semirocoso



Fuente: Elaboración propia

Figura 10

Tipo de terreno – terreno rocoso



Fuente: Elaboración propia

Asimismo, clasificamos en cuatro tipos de pavimentos, los mismos que se muestran en la Figura 11:

Pavimento afirmado: Pavimento compuesto por una capa de material granular compactado sobre la superficie del terreno. No tiene ningún tipo de tratamiento superficial con asfalto o concreto.

Pavimento flexible: Pavimentos asfálticos comunes, que están formados por capas de mezclas asfálticas y agregados.

Pavimento rígido: Pavimento compuesto principalmente de concreto (hormigón), armado o no, que proporciona una superficie muy resistente y duradera.

Pavimento mixto: Combina características de pavimentos flexibles y rígidos. Típicamente, tiene una base de concreto (hormigón) con una capa superior de asfalto.

Figura 11 a,b,c,d
Tipos de pavimentos



Fuente: Elaboración propia

Para el ancho mínimo de la zanja previo al tendido de la tubería de polietileno se debe realizar conforme con lo establecido en el Anexo 2 del manual de construcción del concesionario, tal como se aprecia en la Tabla 7. (Contugas, 2022)

Tabla 7

Profundidades y ancho de zanja para instalación de tuberías de polietileno

Tapada (m)	Diámetro Tubería Serie Milimétrica	Ancho Mínimo (m)
	20	
	25	≥ 0.20
	32	
	63	
$1 \geq H \geq 0.61$	90	≥ 0.30
	110	
	160	≥ 0.35
	200	
	20	
	25	
	32	≥ 0.30
	63	
$1.30 \geq H \geq 1.01$	90	
	110	≥ 0.35
	160	
	200	

Fuente: (Contugas, 2022)

- **Proceso de Calicatas:**

El proceso de calicatas en proyectos de instalación de tuberías de polietileno es una técnica empleada para evaluar las condiciones del terreno donde se instalarán las tuberías. Las calicatas son excavaciones pequeñas y controladas que permiten a los ingenieros y técnicos obtener información crucial sobre el suelo y las condiciones subterráneas.

1. Se determinan los puntos específicos donde se realizarán las calicatas a lo largo del trazado propuesto para la tubería. Estas ubicaciones se seleccionan estratégicamente para obtener una representación adecuada del terreno.
2. Se realiza la excavación de pequeñas zanjas o agujeros (calicatas), generalmente de 1 a 2 metros de profundidad. La dimensión puede variar según las necesidades del estudio y las características del proyecto.
3. Se realiza una inspección visual del terreno expuesto en las calicatas. Se documenta la estratigrafía del suelo y se toman fotografías y notas detalladas sobre cualquier característica relevante, como la presencia de rocas, raíces o estructuras subterráneas. (Contugas, 2022)

2.1.5.2. Instalación de tuberías de polietileno

Previo al tendido de las tuberías de polietileno se debe verificar que se colocó una cama de arena de mínimo 10 cm de altura, no debe haber rocas ni cualquier material extraño que pueda causarle daños a las tuberías. (Contugas, 2022)

Según el ASME B31.8; para el caso de las tuberías de polietileno deberá tener una tapada mínima de 0.61 m.

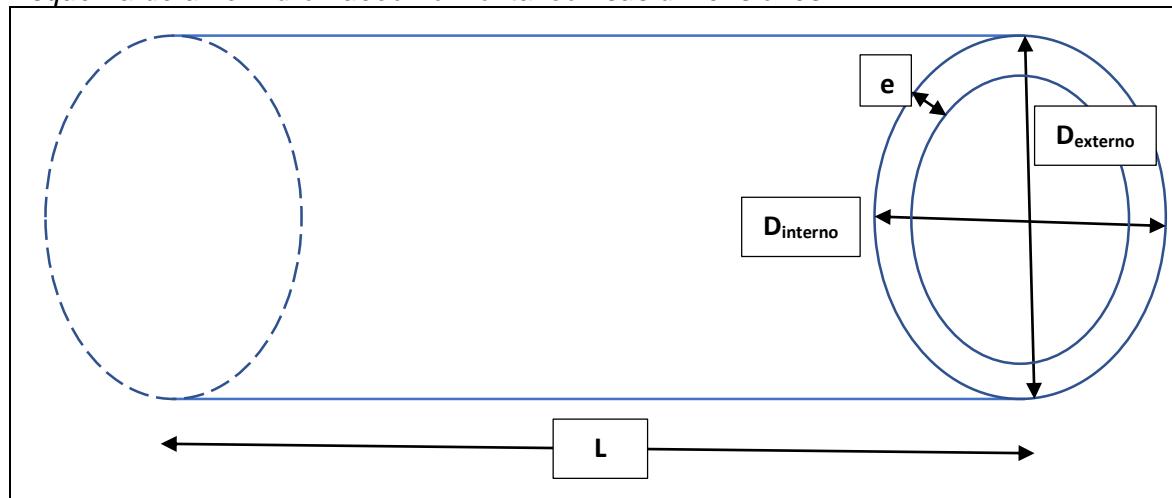
Se deberá respetar las distancias mínimas de seguridad a otros servicios y edificaciones de acuerdo a la Figura 12.

Figura 12*Distancias mínimas de seguridad y Sistemas de Protección Aplicables*

Ítem	Tipo De Interferencia	Tubería de Polietileno	
		Distinta /Separación -Dpe (m) (3)	Sistema de Protección Alterno (2) (4) (5)
1	Edificación (1)	1,0	PM1, PM2, PM3, PM4 o PM5
2	Tubería de agua	0,3	PM1, PM2, PM3, PM4 o PM5
3	Tubería de desagüe	0,3	PM1, PM2, PM3, PM4 o PM5
4	Buzón de desagüe	0,3	PM1, PM2, PM3, PM4 o PM5
5	Línea telefónica	0,3	PM1, PM2, PM3, PM4 o PM5
6	Cámara de Registro (para telefonía y televisión)	0,3	PM1, PM2, PM3, PM4 o PM5
7	Línea de televisión por cable	0,3	PM1, PM2, PM3, PM4 o PM5
8	Línea de media y baja tensión enterrada	0,3	PM2, PM3, PM4 o PM5
9	Línea de alta tensión enterrada	1,5	PM3 o PM4
10	Electrodo de puesta a tierra de torres de alta tensión (4)	1,5	PM3 o PM4
11	Electrodo de puesta a tierra de torres de media y baja tensión	0,5	PM2, PM3, PM4 o PM5
12	Electrodo de puesta a tierra de torres de baja tensión	0,5	PM2, PM3, PM4 o PM5

Fuente: (Contugas, 2022)

La tubería matriz de polietileno se representa como un cilindro hueco, como se aprecia en la Figura 13.

Figura 13*Esquema de un cilindro hueco horizontal con sus dimensiones*

Fuente: Elaboración propia

De la Figura 13 tenemos que:

D_{interno}: Diámetro interno de la tubería, en mmD_{externo}: Diámetro externo de la tubería, en mm

e: Espesor de pared de la tubería, en mm

L: Longitud de la tubería, en m

Ahora considerando la fórmula de la densidad, tenemos en la ecuación 11:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (11)$$

Donde:

m: masa de la tubería de polietileno, en kg

V: Volumen de la tubería de polietileno, en m³

Despejando la ecuación 11 tenemos la ecuación 12:

$$m = \rho \times V \quad (12)$$

Ahora para calcular el volumen de la tubería de polietileno (V) debemos utilizar la ecuación 13.

$$V_{\text{tubería}} = V_{\text{externo}} - V_{\text{interno}} \quad (13)$$

Simplificando obtenemos la ecuación 14:

$$V_{\text{tubería}} = \text{Área base } \text{externo} \times L - \text{Área base } \text{interno} \times L$$

$$V_{\text{tubería}} = L \times \left(\frac{\pi \times D_{\text{externo}}^2}{4} - \frac{\pi \times D_{\text{interno}}^2}{4} \right)$$

$$V_{\text{tubería}} = \frac{\pi \times L}{4} \times (D_{\text{externo}}^2 - D_{\text{interno}}^2) \quad (14)$$

Sabiendo que: $D_{\text{externo}} = D_{\text{interno}} + 2e$

Tenemos: $D_{\text{interno}} = D_{\text{externo}} - 2e$

Reemplazando en la ecuación 14 obtenemos la ecuación simplificada del Volumen de la tubería, expresada en la ecuación 15:

$$V_{\text{tubería}} = \frac{\pi \times L}{4} \times (D_{\text{externo}}^2 - (D_{\text{interno}} - 2e)^2)$$

$$V_{\text{tubería}} = \frac{\pi \times L}{4} \times (D_{\text{externo}}^2 - (D_{\text{externo}}^2 - 4eD_{\text{externo}} + 4e^2))$$

$$V_{\text{tubería}} = \frac{\pi \times L}{4} \times (D_{\text{externo}}^2 - D_{\text{externo}} + 4eD_{\text{externo}} - 4e^2)$$

$$V_{\text{tubería}} = \frac{\pi \times L}{4} \times (4eD_{\text{externo}} - 4e^2) = \frac{4 \times \pi \times e \times L}{4} \times (D_{\text{externo}} - e)$$

$$V_{\text{tubería}} = \pi \times e \times L \times (D_{\text{externo}} - e) \quad (15)$$

2.1.5.3. Soldadura de tubería de polietileno

El procedimiento de unión de tuberías de plástico en el Sistema de Distribución de gas natural sigue las directrices establecidas por la Norma ANSI/ASME B31.8. Según esta normativa, se pueden emplear métodos de fusión por calor, electrofusión o métodos mecánicos para unir las tuberías.

Para garantizar la integridad y seguridad de las uniones, es fundamental seguir procedimientos previamente calificados. Estos procedimientos deben haber sido probados y certificados para asegurar que las uniones sean tan fuertes como las propias tuberías que se están uniendo. Esto implica que los métodos de unión deben cumplir con estándares rigurosos para evitar fugas y asegurar la durabilidad del sistema.

Además, antes de realizar cualquier trabajo de unión, es necesario calificar a los operarios. Esto incluye proporcionar la capacitación adecuada y certificar que los operarios están competentes para llevar a cabo los procedimientos de unión según las normas y prácticas aceptadas.

Cumplir con estas prácticas asegura que las tuberías de material plástico utilizadas en el sistema de distribución de gas natural mantengan su integridad estructural y operativa, minimizando riesgos de seguridad y garantizando un funcionamiento eficiente del sistema en su conjunto. (D.S.040-EM, 2008)

El Concesionario Contugas para unir las tuberías de polietileno lo realiza por medio de accesorios de electrofusión o por termofusión. En ambos métodos se debe garantizar

la calidad de la unión. Contugas SAC definirá cual método aplicar, en función a su eficacia. (Contugas, 2022)

- **Proceso de termofusión:** El proceso de termofusión es una técnica utilizada para unir tuberías y accesorios de material plástico en sistemas de distribución, incluidos los sistemas de gas natural, siguiendo los siguientes criterios: (Contugas, 2022)

Preparación: Se preparan las tuberías y los accesorios que se van a unir, asegurándose de que estén limpios y libres de contaminantes.

Calentamiento: Mediante el uso de una plancha polifusora o una máquina específica, se calienta simultáneamente el área exterior de la tubería y el área interior del accesorio a unir. La temperatura de calentamiento es crítica y debe estar dentro de los rangos especificados por el fabricante del material plástico.

Fusión: Una vez que las superficies están correctamente calentadas y alcanzan la temperatura adecuada, se retira la plancha polifusora y se aplica presión controlada. Esto facilita que el material plástico en contacto se funda y se mezcle entre sí, formando una unión sólida y homogénea.

Enfriamiento: Despues de aplicar presión durante un tiempo determinado, se permite que la junta fundida se enfríe y solidifique completamente. Es crucial mantener las piezas unidas bajo presión durante este proceso para asegurar una fusión adecuada.

La termofusión es un método eficaz y ampliamente utilizado debido a su capacidad para crear uniones robustas y duraderas en tuberías de material plástico. Es importante seguir las especificaciones y procedimientos recomendados por el fabricante del material y las normativas aplicables para asegurar la integridad y hermeticidad de las uniones en sistemas de distribución de gas natural.

En la Figura 14 podemos visualizar la preparación para realizar los trabajos de termofusión a tope para unir tuberías de 160 mm de diámetro del mismo SDR.

Figura 14

Proceso de termofusión a tope



Fuente: Elaboración propia

- **Proceso de Electrofusión:** La electrofusión es un método de soldadura utilizado para unir tuberías y accesorios de polietileno en sistemas de distribución, como los de gas natural. Siguiendo los siguientes criterios: (Contugas, 2022)

Preparación: Se preparan las superficies de las tuberías y los accesorios, asegurándose de que estén limpias y libres de contaminantes para asegurar una unión adecuada.

Montaje del accesorio: El accesorio, que contiene electrodos internos, se coloca en la posición deseada entre las tuberías que se van a unir.

Conexión de la máquina de electrofusión: Se utiliza una máquina de electrofusión específica que está diseñada para el tipo particular de accesorio y tubería. Esta máquina aplica una corriente eléctrica controlada a través de los electrodos del accesorio.

Calentamiento: La corriente eléctrica pasa a través de los electrodos dentro del accesorio, generando calor. Este calor funde el material plástico en las superficies de las tuberías y el accesorio, suavizando el material en los puntos de contacto.

Fusión: A medida que el material se derrite, las partes se presionan juntas para asegurar una fusión completa y uniforme entre la tubería y el accesorio. Durante este proceso, el material fundido se mezcla íntimamente, formando una unión sólida.

Enfriamiento y solidificación: Una vez completada la fusión, se permite que la junta fundida se enfríe y solidifique completamente. Es importante mantener las piezas unidas bajo presión durante este tiempo para asegurar una unión resistente y duradera.

La electrofusión es preferida en muchas aplicaciones debido a su precisión y capacidad para crear uniones consistentes y confiables. Este método asegura una conexión hermética y duradera en sistemas de distribución de gas natural que requieren un alto nivel de integridad estructural y seguridad operativa. En la Figura 15 podemos apreciar el alineamiento de las tuberías previo a los trabajos de electrofusión.

Figura 15
Proceso de electrofusión



Fuente: Elaboración propia

2.1.5.4. Pruebas de Resistencia y Hermeticidad

Máxima presión de operación admisible (MAPO): Es la presión suprema a la cual un gasoducto de distribución de gas natural o cualquier sistema de tuberías puede operar de manera segura y continua bajo condiciones normales o máxima demanda.

Prueba de Hermeticidad: Es la prueba que se realiza para verificar que el sistema sea estanco, por lo que no permitirá escapes de gas durante la operación. Normalmente se realiza a la presión a la que trabajará el sistema o a alguna ligeramente mayor.

Prueba de resistencia: Es la presión a la que se somete el sistema, a una presión mayor a la de hermeticidad, a fin de comprobar que el sistema no fallará por partes débiles que no cumplan con la resistencia requerida para la operación. Para el caso de las redes de distribución o redes secundarias, estas se realizarán a no menor de 1.5 veces la presión máxima permisible de operación.

El reglamento de Distribución de gas natural señala que “Las redes del Sistema de suministro deben ser probadas a presión una vez culminada su instalacion total y antes de que el Sistema comience su puesta en marcha”. Estas pruebas son fundamentales para asegurar que no haya fugas ni fallos estructurales que puedan comprometer la seguridad del sistema y la calidad del servicio de distribución. (D.S.040-EM, 2008)

Durante la ejecución de la prueba se verificará que se debe probar los gasoductos y las líneas principales de plástico a una presión no inferior a 1.5 veces la máxima presión de funcionamiento o MAPO, no se debe superar 2 veces la presión de diseño de la tubería. (ASME B31.8, 2022)

Es importante asegurarse de que, al utilizar aire como fluido de prueba, se controle para evitar la introducción del aceite de la compresora en el sistema de tuberías, y que la temperatura del aire no exceda los 40 °C. Esto es crucial para prevenir cualquier riesgo de deterioro de los tubos y accesorios. (NTP 111.021, 2016)

Durante la ejecución de la prueba de hermeticidad se debe registrar de manera continua y redundante con instrumentos analógicos y digitales la presión y la temperatura

del fluido, los cuales serán lecturados cada media hora para verificar la precisión y la exactitud del funcionamiento de los instrumentos. (D.S.040-EM, 2008)

Una vez finalizada la prueba de presión y hermeticidad se debe verificar que todos los instrumentos asociados a la prueba cuenten con un certificado de calibración vigente, se verificará que cuentan con un protocolo de prueba de hermeticidad y esté aprobado por el concesionario o su representante, se verifica el Acta de Prueba de Hermeticidad, la hoja de datos donde registraron la presión manométrica y temperatura del fluido y en caso la caída de presión de la prueba es inferior a 0.1 bar el concesionario da por aprobada la prueba.

En la Figura 16 se visualiza los instrumentos asociados a la prueba de hermeticidad del proyecto para monitorear la presión y temperaturas, tanto analógicas como digitales.

Figura 16

Instrumentos asociados a la prueba de hermeticidad del proyecto



Fuente: Elaboración propia

2.1.5.5. Gasificación de la red

La gasificación de la red representa la etapa final de la construcción de las redes, ya que luego de ser aprobado la prueba de presión y hermeticidad por el concesionario se despresuriza la red y se realiza una unión por electrofusión (empalme) a una red existente

y en servicio para habilitar la nueva red. Dicha unión es realizada en caliente y por el método de electrofusión mediante un accesorio compatible, realizada por personal calificado (fusionista) para dichas tareas.

Durante el proceso de puesta en servicio de la línea, es fundamental asegurar que al finalizar la actividad no quede remanente de aire en el interior de la tubería gasificada. (NTP 111.021, 2016)

2.1.6. Cálculo del precio de Gas Natural

El precio por consumo de gas natural al mes será determinado sumando todos los costos de suministro, transporte y distribución por ductos y luego multiplicando por el consumo promedio mensual de los hogares de la región de Ica, tal como se expresa en la ecuación 16. (Contugas, 2023b)

$$PGN = CPM \times (\sum CMS + CMT + MDV) + MCV \quad (16)$$

Donde:

PGN: Precio por Consumo de Gas Natural Mensual, expresado en ($\frac{\text{Soles}}{\text{mes}}$)

CPM: Consumo Promedio Mensual, expresado en ($\frac{\text{Sm}^3}{\text{mes}}$)

CMS: Costo Medio de Suministro, expresado en ($\frac{\text{Soles}}{\text{Sm}^3}$)

CMT: Costo Medio de Transporte, expresado en ($\frac{\text{Soles}}{\text{Sm}^3}$)

MDV: Margen de Distribución Variable, expresado en ($\frac{\text{Soles}}{\text{Sm}^3}$)

MCV: Margen Comercial Variable, expresado en ($\frac{\text{Soles}}{\text{mes}}$)

Para realizar dichos cálculos se debe utilizar el Pliego de tarifas máximas de gas natural de la región de Ica, tal como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8
Pliego de Tarifas Máximas Gas Natural Región Ica

RANGO (Sm ³ /mes)	SUMINISTRO		TRANSPORTE		DISTRIBUCIÓN POR DUCTOS
	COSTO MEDIO	RECARGO FISE	COSTO MEDIO	MARGEN DISTRIBUCIÓN	MARGEN COMERCIAL
	S/Sm ³	S/Sm ³	S/Sm ³	S/Sm ³	S/cliente
0 a 30	0.22330780	0.00558066	0.17983467	1.10614244	2.3660
31 a 300	0.22330780	0.00558066	0.17983467	1.08358661	2.3660
301 a 10000	0.27912111	0.00558066	0.17983467	0.84789401	29.7721
10001 a 100000	0.27912111	0.00558066	0.17983467	0.48061260	0

Fuente: (Contugas, 2023b)

2.1.7. Estimación de emisiones de CO₂

Para cuantificar las emisiones de CO₂ de una cocina que utiliza gas natural como fuente de energía implica conocer dos factores, agotamiento de gas natural y el factor de dispersión de CO₂ producido por la combustión del gas natural, tal como se expresa en las ecuaciones 17, 18 y 19. (Comision Interdepartamental del Cambio Climatico, 2011)

$$\text{Emisiones de CO}_{2\text{GN}} = \text{CPM} \times \text{FE}_{\text{GN}} \quad (17)$$

Donde:

Emisiones de CO₂_{GN}, expresado en $\left(\frac{\text{kg}}{\text{mes}}\right)$

CPM: Consumo Promedio Mensual de Gas Natural, expresado en

$\left(\frac{\text{Sm}^3}{\text{mes}}\right)$

FE: Factor de Emisión de CO₂ producido por la combustión del gas natural, expresado en $\left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{Sm}^3}\right)$

$$\text{Emisiones de CO}_{2\text{GLP}} = \text{CPM} \times \text{FE}_{\text{GLP}} \quad (18)$$

Donde:

Emisiones de CO₂_{GLP}, expresado en $\left(\frac{\text{kg}}{\text{mes}}\right)$

CPM: Consumo Promedio Mensual de GLP, expresado en $(\frac{\text{kg GLP}}{\text{mes}})$

FE: Factor de Emisión de CO₂ producido por la combustión del GLP, expresado en $(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg GLP}})$

$$\text{Emisiones de CO}_2_{\text{leña}} = \text{CPM} \times \text{FE}_{\text{leña}} \quad (19)$$

Donde:

Emisiones de CO₂_{leña}, expresado en $(\frac{\text{kg}}{\text{mes}})$

CPM: Consumo Promedio Mensual de leña, expresado en $(\frac{\text{kg leña}}{\text{mes}})$

FE: Factor de Emisión de CO₂ producido por la combustión de la leña, expresado en $(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg leña}})$

Utilizando las guías prácticas para la evaluación de la dispersión de gases de efecto invernadero el Factor de Emisión de CO₂ se obtiene a partir de la Tabla 9. (Comision Interdepartamental del Cambio Climatico, 2011)

Tabla 9
Factor de emisión por combustible

Combustible	Factor de Emisión
Gas natural (m ³)	2.15 kg CO ₂ /Sm ³ de gas natural
Gas butano (kg)	2.96 kg CO ₂ /kg de gas butano
Gas propano (kg)	2.94 kg CO ₂ /kg de gas propano
Gasoil (litros)	2.79 kg CO ₂ /L de gasoil
Fuel (kg)	3.05 kg CO ₂ /kg de fuel
GLP genérico (kg)	2.96 kg CO ₂ /kg de GLP genérico
Carbón nacional (kg)	2.30 kg CO ₂ /kg de carbón nacional
Carbón de importación (kg)	2.53 kg CO ₂ /kg de carbón de importación
Coque de petróleo (kg)	3.19 kg CO ₂ /kg de coque de petróleo

Fuente: (Comision Interdepartamental del Cambio Climatico, 2011)

2.2. Marco conceptual

Coeficiente global de servicio (C): También conocido como factor de seguridad o factor de diseño, es un valor utilizado en el diseño y cálculo de tuberías y sistemas de presión para garantizar la seguridad y confiabilidad operativa.

City Gate (CG): Una Estación de Filtración, Medición y Regulación de Presión ubicada estratégicamente en la red, destinada a efectuar el cambio de presión entre los niveles utilizados típicamente en las troncales y ramales del Sistema de Transporte (alta presión) y el nivel estándar de las tuberías que alimentan a las acometidas industriales directamente desde la Red Troncal o las Redes de Distribución (líneas primarias o media presión). (Contugas, 2022)

Estación de Distrito (ED): Es una estación de regulación de presión, instalada aguas debajo de los CG, en donde se da el salto de presión entre los niveles típicos de las líneas primarias de distribución (entre 5,5 y 28 bar) y el nivel típico de presión de las líneas secundarias de distribución (entre 1 y 5,5 bar). Están dotadas o no de sistemas de filtración y/o medición utilizadas por la distribuidora para alimentar redes de polietileno o acero. (Contugas, 2022)

Equipo de Protección Personal (EPP): Son un conjunto de equipos para las actividades de excavación como lo son el casco, lentes, tapa oído, guantes, zapatos punta de acero, camisa de algodón. En el caso de una excavación cercana a interferencias eléctricas se debe utilizar los zapatos dieléctricos. (Contugas, 2022)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático responsable de evaluar la ciencia relacionada con el cambio climático.

Líneas primarias: Tuberías en acero, parte de la red secundaria conformando el gasoducto urbano, que llevará el gas desde cada City Gate (CG) hasta las Estaciones de Distrito (ED), operando a presiones de hasta 19 barg. (Contugas, 2022)

Minimum Required Strength (MRS): Resistencia Mínima Requerida, es una medida crucial en la evaluación y clasificación de tuberías termoplásticas. Se refiere a la tensión mínima a la que una tubería de plástico puede ser sometida sin fallar, bajo condiciones normales de operación, durante un periodo de 50 años a una temperatura específica. Este valor se utiliza para asegurar la durabilidad y la seguridad de las tuberías plásticas en aplicaciones a largo plazo.

Pressure Nominal (PN): Presión nominal. Es una medida estandarizada que indica la capacidad máxima de presión que una tubería, válvula, brida u otro componente de un sistema de tuberías puede soportar de manera segura bajo condiciones normales de operación.

PN10: Es una designación que se utiliza en el contexto de tuberías, válvulas,bridas y otros componentes de sistemas de tuberías para indicar la presión nominal que dichos componentes pueden soportar. El 10 indique que el componente está diseñado para sustentar una presión máxima de trabajo de 10 bares a una temperatura de referencia.

Red de distribución de Gas Natural: Se refiere a la sección de los Activos del Concesionario que incluye los recintos de regulación de la puerta de la ciudad (city gate), las gasoductos de distribución y las estaciones reguladoras que son gestionadas por el Concesionario, de acuerdo con los términos establecidos en el Reglamento y el Contrato. (D.S.040-EM, 2008)

Red de Baja Presión: Red de distribución de Gas Natural que opera a presiones menores a 20 barg.

Red de Alta Presión: Red de distribución de Gas Natural que opera a presiones iguales o mayores a 20 barg. (D.S.040-EM, 2008)

Standard Dimension Ratio (SDR): Relación Dimensional Estándar, es una medida que describe la relación entre el diámetro nominal de una tubería y su espesor de pared. Específicamente, el SDR se define como el diámetro externo nominal de la tubería dividida por el espesor de su pared. Está relacionado con la presión nominal que puede soportar la tubería, ejemplo un SDR 11, es un PN16; mientras que un SDR 17, es un PN10.

Capítulo III: Desarrollo del trabajo de investigación

3.1. Verificación de parámetros de diseño de la red de polietileno

De acuerdo al documento de inicio de obra del proyecto Santa Cruz de Villacuri con código PE-23-301, el concesionario remitió al OSINERGMIN los documentos relacionados al inicio del proyecto como: Memoria Descriptiva, Plano Constructivo, Cronograma de Obra y Solicitud de Interferencias.

En la Memoria Descriptiva se especifica la zona de trabajo, especificaciones técnicas de los materiales, especificaciones técnicas de la instalación y describe los parámetros técnicos para la instalación de la red troncal. En la Figura 17 visualizamos el certificado de calidad de la tubería matriz a emplear en el proyecto.

Figura 17
Certificado de calidad de tuberías T-PIPE

T & T T & T INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.		T & T T & T INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.																																																													
PCOM-03-F-02 CERTIFICADO DE CALIDAD DE TUBERIAS T-PIPE ^{MR}		PCOM-03-F-02 CERTIFICADO DE CALIDAD DE TUBERIAS T-PIPE ^{MR}																																																													
Actualizado al 14/10/2016		Actualizado al 14/10/2016																																																													
Control de Calidad /QC – Producto terminado																																																															
<table border="1"><thead><tr><th>Descripción</th><th>Método</th><th>Valor</th><th>Unidad de medida</th><th>Requisito</th><th>Resultado</th></tr></thead><tbody><tr><td>Condiciones generales</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Apariencia</td><td>EN 1555</td><td>Cumple con requisito.</td><td>---</td><td>Las superficies internas y externas deben presentar a simple vista, un aspecto liso, limpio y libre de grietas, cañadones u otros defectos superficiales que impidan la conformidad con la norma. Además, los accesorios que las tubos deben tener un acabado limpio y estar cortados perpendicularmente al eje del tubo.</td><td>Conforme</td></tr><tr><td>Color</td><td>EN 1555</td><td>Anaranjado</td><td>---</td><td>Anaranjado</td><td>Conforme</td></tr><tr><td>Rotulado</td><td>EN 1555</td><td>Cumple con requisito.</td><td>---</td><td>T-PIPE EN 1555 160 mm SDR 17 PE 100 GAS Ex4 2023</td><td>Conforme</td></tr><tr><td>Tapas de protección</td><td>EN 1555</td><td>Cumple con requisito.</td><td>---</td><td>Las tuberías que sean suministradas deberán contener tapas de protección en ambos extremos, para evitar que se dañen los extremos y que se introduzcan polvo, impurezas y agua a la tubería.</td><td>Conforme</td></tr><tr><td colspan="6">Control dimensional</td></tr><tr><td>Diametro externo (D)</td><td>ISO 3126</td><td>160.5</td><td>mm</td><td>160.0 ≤ D ≤ 161.0</td><td>Conforme</td></tr><tr><td>Ovalidad (Ov)</td><td>ISO 3126</td><td>2.0</td><td>mm</td><td>Ov ≤ 3.2</td><td>Conforme</td></tr><tr><td>Espesor de pared min. (e)</td><td>ISO 3126</td><td>9.8 – 10.3</td><td>mm</td><td>9.5 ≤ e ≤ 10.6</td><td>Conforme</td></tr></tbody></table>				Descripción	Método	Valor	Unidad de medida	Requisito	Resultado	Condiciones generales						Apariencia	EN 1555	Cumple con requisito.	---	Las superficies internas y externas deben presentar a simple vista, un aspecto liso, limpio y libre de grietas, cañadones u otros defectos superficiales que impidan la conformidad con la norma. Además, los accesorios que las tubos deben tener un acabado limpio y estar cortados perpendicularmente al eje del tubo.	Conforme	Color	EN 1555	Anaranjado	---	Anaranjado	Conforme	Rotulado	EN 1555	Cumple con requisito.	---	T-PIPE EN 1555 160 mm SDR 17 PE 100 GAS Ex4 2023	Conforme	Tapas de protección	EN 1555	Cumple con requisito.	---	Las tuberías que sean suministradas deberán contener tapas de protección en ambos extremos, para evitar que se dañen los extremos y que se introduzcan polvo, impurezas y agua a la tubería.	Conforme	Control dimensional						Diametro externo (D)	ISO 3126	160.5	mm	160.0 ≤ D ≤ 161.0	Conforme	Ovalidad (Ov)	ISO 3126	2.0	mm	Ov ≤ 3.2	Conforme	Espesor de pared min. (e)	ISO 3126	9.8 – 10.3	mm	9.5 ≤ e ≤ 10.6	Conforme
Descripción	Método	Valor	Unidad de medida	Requisito	Resultado																																																										
Condiciones generales																																																															
Apariencia	EN 1555	Cumple con requisito.	---	Las superficies internas y externas deben presentar a simple vista, un aspecto liso, limpio y libre de grietas, cañadones u otros defectos superficiales que impidan la conformidad con la norma. Además, los accesorios que las tubos deben tener un acabado limpio y estar cortados perpendicularmente al eje del tubo.	Conforme																																																										
Color	EN 1555	Anaranjado	---	Anaranjado	Conforme																																																										
Rotulado	EN 1555	Cumple con requisito.	---	T-PIPE EN 1555 160 mm SDR 17 PE 100 GAS Ex4 2023	Conforme																																																										
Tapas de protección	EN 1555	Cumple con requisito.	---	Las tuberías que sean suministradas deberán contener tapas de protección en ambos extremos, para evitar que se dañen los extremos y que se introduzcan polvo, impurezas y agua a la tubería.	Conforme																																																										
Control dimensional																																																															
Diametro externo (D)	ISO 3126	160.5	mm	160.0 ≤ D ≤ 161.0	Conforme																																																										
Ovalidad (Ov)	ISO 3126	2.0	mm	Ov ≤ 3.2	Conforme																																																										
Espesor de pared min. (e)	ISO 3126	9.8 – 10.3	mm	9.5 ≤ e ≤ 10.6	Conforme																																																										

Fuente: (Contugas, 2023a)

En la denominación del producto indica que la red matriz a utilizar será polietileno de alta densidad (HDPE) de 160 mm de diámetro, fabricado bajo la norma EN-1555, SDR 17 y que para la fabricación de todo el material se utilizarán resinas tipo PE 100 de clasificación MRS 10.00 MPa. En la Tabla 10 se definen los estándares de diseño del

gasoducto de distribución de gas natural de polietileno, a fin de verificar las consideraciones de diseño mediante las ecuaciones descritas en el marco teórico.

Tabla 10
Parámetros de diseño de una red troncal de distribución de polietileno

Parámetro	Valor
Diámetro nominal (mm)	160
MRS (MPa)	10
SDR (adimensional)	17
MAPO (bar)	5

Fuente: (Contugas, 2023a)

3.1.1. Cálculo de la MAPO

En la región de Ica la temperatura promedio es de 30 °C por lo que el Coeficiente de Reducción (D_F) será de 1.1, de acuerdo con la Tabla 5.

El Coeficiente global de servicio C para materiales termoplásticos debe ser igual a 2.

Con los parámetros de diseño descritos en la Tabla 10 y utilizando la ecuación 1 obtenemos.

$$MAPO = \frac{20 \times MRS}{C \times (SDR - 1) \times D_F}$$

$$MAPO = \frac{20 \times 10}{2 \times (17 - 1) \times 1.1}$$

$$\mathbf{MAPO = 5.68 bar}$$

Donde se verifica que la MAPO calculada es mayor a la MAPO definida por el concesionario, lo que significa que la tubería y el sistema de distribución están diseñados para soportar una presión mayor que la considerada segura por el concesionario, proporcionando un nivel adicional de seguridad.

3.1.2. Cálculo de la Presión de diseño de la tubería termoplástica

Calculamos la presión de diseño de la tubería termoplástica utilizando la ecuación 2 y las consideraciones descritas en el marco teórico de acuerdo con el fabricante, donde el factor de diseño para tuberías de polietileno utilizado será de 0.50 y la base de diseño hidrostático (S) será de 1450 psi.

$$P = \frac{2 \times S}{(SDR - 1)} \times Df$$

$$P = \frac{2 \times 1450}{(17 - 1)} \times 0.5$$

$$\mathbf{P = 90.625 \text{ psi}}$$

Equivalencia: 0.980 bar = 14.22334 psi

$$P = 90.625 \text{ psi} \times \frac{0.980 \text{ bar}}{14.22334 \text{ psi}} = 6.244 \text{ bar}$$

$$P = 6.244 \text{ bar}$$

Asimismo, el ASME B31.8 establece que la presión de diseño de la tubería termoplástica no puede superar a una presión manométrica de 100 psig (6.89 barg) para el sistema de distribución de gas natural.

Por lo que concluimos que la MAPO establecida por el concesionario contugas se encuentra por debajo de la Presión de diseño de la tubería, de manera que se garantiza la integridad operacional de las tuberías.

3.1.3. Verificación de la caída de presión

La instalación de la red de polietileno de una longitud de 1279.70 metros comprende desde la derivación de empalme con la línea existente hasta el punto de llegada.

De acuerdo con las especificaciones técnicas, el caudal y la presión de operación en el tramo inicial son valores conocidos.

El caudal en el punto de empalme para abastecer el Pueblo Joven de Santa Cruz de Villacuri es de 4 MMPCD.

Equivalencia: 1 ft³ = 0.0283168 m³

$$Q = 4 \times 10^6 \frac{ft^3}{día} \times \frac{0.0283168 m^3}{1 ft^3} \times \frac{1 día}{24 horas} = 4720 \frac{m^3}{h}$$

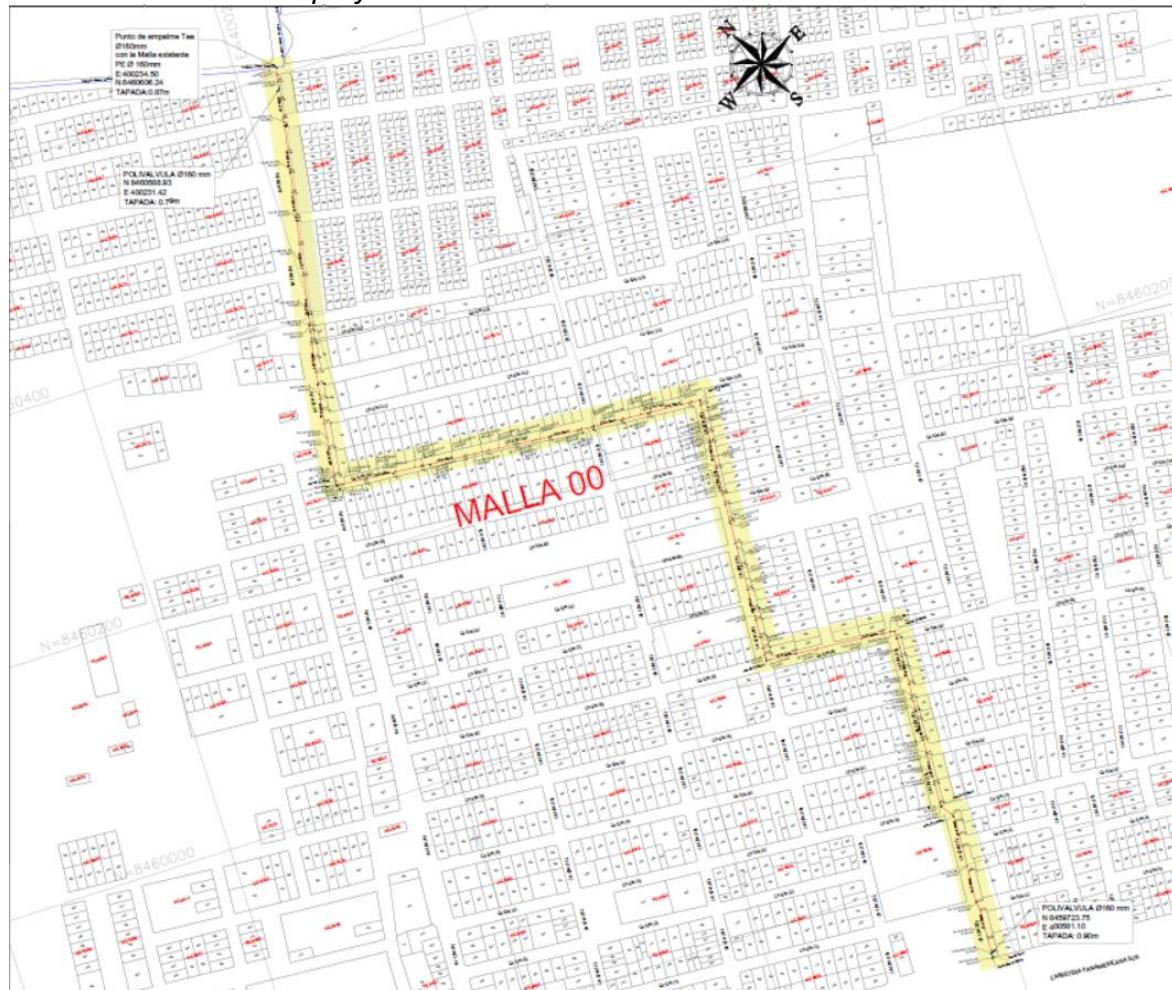
$$Q = 4720 \frac{m^3}{h}$$

La presión inicial del gasoducto de distribución es de 4.9 bar.

La longitud de la red es de 1279.70 m de tubería de polietileno (PE-100) de 160 mm de diámetro, de alta densidad (HDPE), SDR 17. Para la instalación de la red proyectada se utilizó accesorios de polietileno compatibles con la tubería y dos poliválvulas de 160 mm de diámetro de alta densidad (PE-100), SDR 17. En la Figura 18 podemos apreciar el plano constructivo del proyecto y en la Tabla 11 se detalla la cantidad y metrado de la tubería y accesorios a utilizar en el proyecto.

Figura 18

Plano Constructivo del proyecto Sector Santa Cruz de Villacuri Malla 00



Fuente: (Contugas, 2023a)

Tabla 11
Tuberías y accesorios involucrados en el proyecto

Tubería y Accesarios	Cantidades
Tubería de PE (160 mm)	1279.70 m
TEE (160x160mm)	1
Codo 90° (160mm)	4
Codo 45° (160mm)	2
Poliválvula de PE (160mm)	2

Fuente: Elaboración propia en base al (Contugas, 2023a)

De la Tabla 6 tomamos la longitud equivalente para cada accesorio y con la Tabla 11 obtenemos la longitud calculada, lo cual expresamos en la Tabla 12.

Tabla 12
Longitud equivalente de los accesorios en (km)

Tubería y Accesarios	Longitud Equivalente (km)
Tubería de PE (160 mm)	1.27970
1 TEE (160x160mm)	0.0096
4 Codo 90° (160mm)	0.0192
2 Codo 45° (160mm)	0.00448
2 Poliválvula de PE (160mm)	0.0032

Fuente: Elaboración propia

De la ecuación 7 tenemos, en km:

$$L_{(Cálculo)} = L_{(real)} + L_{(equivalente)}$$

$$L_{(Cálculo)} = 1.27970 + 0.0096 + 0.0192 + 0.00448 + 0.0032 = 1.31618 \text{ km}$$

De la ecuación 6 tenemos, en $(\frac{kg}{cm^2})$:

$$P_{(abs)} = P_{(man)} + 1.033 (\frac{kg}{cm^2})$$

La presión manométrica en el inicio del tramo es un valor conocido de 4.9 bar, lo cual equivale a 4.9966 kg/cm².

$$P_{(abs)1} = P_{(man)1} + 1.033$$

$$P_{(abs)1} = 4.9966 + 1.033 = 6.0296 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

El diámetro interno de la tubería se calcula como el diámetro exterior menos 2 veces el espesor de la tubería.

$$D_{interior} = D_{exterior} - 2 \text{ espesor}$$

$$D_{interior} = 160 - 2 \times 10.3 = 139.4 \text{ mm}$$

Ahora en la Tabla 13 tenemos todos los datos para calcular la caída de presión de la tubería.

Tabla 13
Parámetros para calcular la caída de presión de la tubería

Parámetro	Valor
Caudal (m ³ /h)	4720
Presión inicial absoluta (kg/cm ²)	6.0296
Longitud calculada (km)	1.31618
Diámetro interior de la tubería (mm)	139.40
Densidad relativa del gas	0.61

Fuente: Elaboración propia

Ahora calculamos la presión final utilizando la ecuación 5, fórmula de Renouard:

$$P_1^2 - P_2^2 = 48600 \times S \times L \times Q^{1.82} \times D^{-4.82}$$

$$6.0296^2 - P_2^2 = 48600 \times 0.61 \times 1.31618 \times 4720^{1.82} \times 139.40^{-4.82}$$

$$P_2^2 = 6.0296^2 - 48600 \times 0.61 \times 1.31618 \times 4720^{1.82} \times 139.40^{-4.82}$$

$$P_{(abs)2} = 5.2532 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$P_{(abs)2} = P_{(man)2} + 1.033 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$P_{(man)2} = P_{(abs)2} - 1.033$$

$$P_{(man)2} = 5.2532 - 1.033 = 4.2202 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

$$P_{(man)2} = 4.2202 \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \times \frac{1 \text{ bar}}{1.01972 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)} = 4.1386 \text{ bar}$$

La caída de presión de la red troncal será:

$$P_{(man)2} - P_{(man)1} = 4.9 - 4.1386 = 0.7614 \text{ bar}$$

Ahora compararemos nuestra caída de presión de la red troncal con la caída de presión máxima permitida que para redes externas es del 20% de la presión inicial, de acuerdo con la ecuación 4. (Sifuentes Sancho, 2011)

$$\Delta P \text{ máxima} = 20\% P \text{ inicial}$$

$$\Delta P \text{ máxima} = 20\% (4.9 \text{ bar}) = 0.98 \text{ bar}$$

Utilizando la Ecuación 3 tenemos:

$$\Delta P \text{ red} = 0.7614 \text{ bar} < \Delta P \text{ máxima} = 0.98 \text{ bar}$$

Notamos que la caída de presión de la red de polietileno es inferior al 20% de la presión inicial, lo cual indica que el sistema va a operar de forma adecuada.

3.1.4. Verificación de la velocidad

Para calcular la velocidad del gas natural en la red utilizaremos la ecuación 9 descrita en el marco teórico y los parámetros mencionados en la Tabla 14.

$$v = 365.35 \times \frac{Q}{D^2 \times P}$$

Tabla 14
Parámetros para calcular la velocidad del gas natural

Parámetro	Valor
Caudal (m ³ /h)	4720
Presión final absoluta (kg/cm ²)	5.2532
Diámetro interior de la tubería (mm)	139.40

Fuente: Elaboración propia

$$v = 365.35 \times \frac{4720}{139.40^2 \times 5.2532}$$

$$v = 16.8927 \text{ m/s} \leq 30 \text{ m/s}$$

Por lo que se concluye que siguiendo los parámetros de diseño se cumple con el criterio de que la velocidad del gas natural en la red va a ser menor a 30 m/s.

3.1.5. Verificación de la relación Caudal – Diámetro

Debemos verificar que se cumpla la ecuación 10: (Sifuentes Sancho, 2011)

$$\frac{Q}{D} < 150$$

Donde:

Q: Caudal del gas que circula dentro de la tubería. (sm³/h)

D: Diámetro nominal de la tubería. (mm)

$$\frac{4720}{160} = 29.50 < 150$$

Se cumple la relación, por lo que se concluye que el flujo es manejable dentro de los límites aceptables de diseño. Esto implica que la velocidad del gas y la pérdida de presión están en niveles seguros, lo que ayuda a mantener la integridad de la tubería y la eficiencia del sistema. Además, se reduce el riesgo de problemas como la turbulencia excesiva y la erosión interna, asegurando un funcionamiento más seguro y duradero de la red de distribución de gas.

3.2. Identificación de los parámetros críticos en obras civiles

Antes de la ejecución de las obras civiles se debe tener en cuenta ciertos documentos y consideraciones, las cuales se detallan en la Tabla 15.

Tabla 15

Consideraciones antes del inicio de las obras civiles

Documento	Consideración
Plano de proyecto aprobado	Debe contener las interferencias de otros servicios incluyendo gas natural.
Cronograma de obra	Debe indicar la fecha de prueba de hermeticidad y gasificación.
Autorizaciones de obra	Contar con los permisos municipales, provinciales y regionales, etc.
Cargo de ingreso de expediente al OSINERGMIN	El proyecto debe ser notificado al OSINERGMIN con una anticipación no menor de 10 días hábiles.
Certificado de habilidad de los fusionistas	El personal encargado de realizar las uniones de tuberías deberá tener un certificado de habilidad vigente y aprobada por el concesionario

Fuente: (OSINERGMIN, 2015)

Todo el personal involucrado en las obras civiles deberá ser capacitado y calificado por cada tarea desarrollada, sea corte, demolición, excavación en frío y caliente, colocación de cama de soporte, trabajos de tapada de tubería, compactación y reposición de la línea. Asimismo, todos estos trabajos tienen que ser monitoreados y controlados por los prevencionistas de manera de asegurar la seguridad del personal verificando que se realice lo descrito en la Tabla 16.

Tabla 16

Seguridad durante las obras civiles

Acción	Consideración
Análisis de Trabajo Seguro (ATS)	Se deberá realizar un ATS para cada actividad independiente, donde se evalúa los peligros, se analiza los riesgos e implementar medidas de mitigación adecuadas.
Permiso de Trabajo (PDT)	Se deberá realizar un PDT en frío o caliente de acuerdo a la actividad, la cual se encuentra asociada con el ATS.

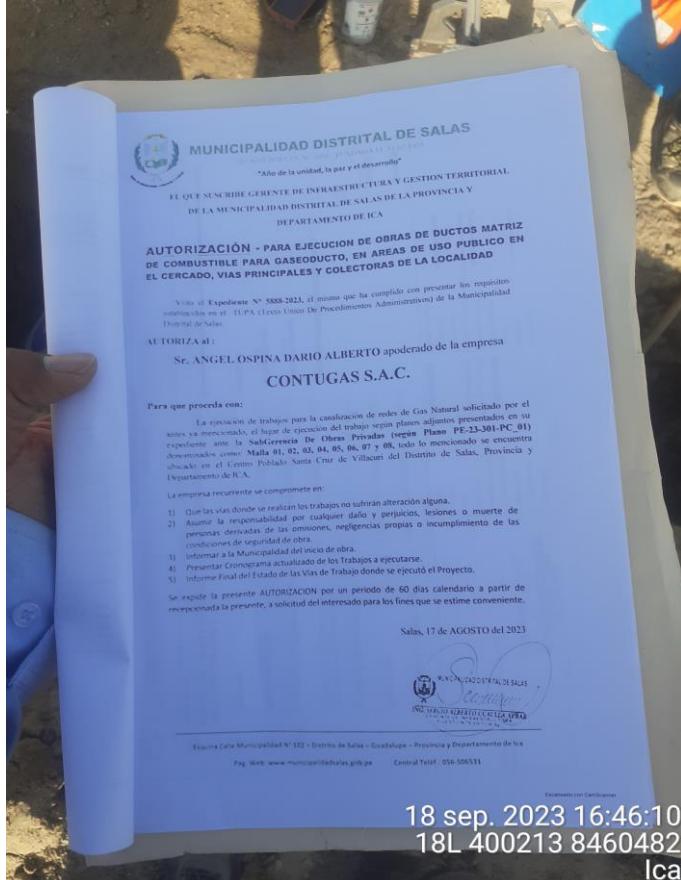
Acción	Consideración
Equipo de Protección Personal (EPP)	De acuerdo con la actividad a desarrollarse y en base al ATS se define el equipo a utilizar.
Calificación de personal	Todos los trabajadores deberán tener un certificado de calificación por cada tarea a cubrir de acuerdo a las normativas nacionales.
Difusión de obra	La concesionaria debe notificar a toda la población que se encuentre dentro del sector de trabajo, a fin de informar respecto a los trabajos a realizarse.
Atención de emergencia	Se verifica la implementación de procedimientos de emergencia, donde se incluyen detectores de gas, extintores portátiles y botiquines de emergencias. Asimismo, el sector debe encontrarse con todos los elementos de señalización adecuados y necesarios para cumplir con las medidas de seguridad y cuidado del medio ambiente.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 19 podemos apreciar el permiso municipal del distrito de Salas Guadalupe con fecha 17 de agosto del 2023, donde se autoriza la ejecución de obras de ductos matriz de combustible para gasoducto.

Figura 19

Autorización municipal distrito de Salas Guadalupe, Ica



Fuente: Elaboración propia

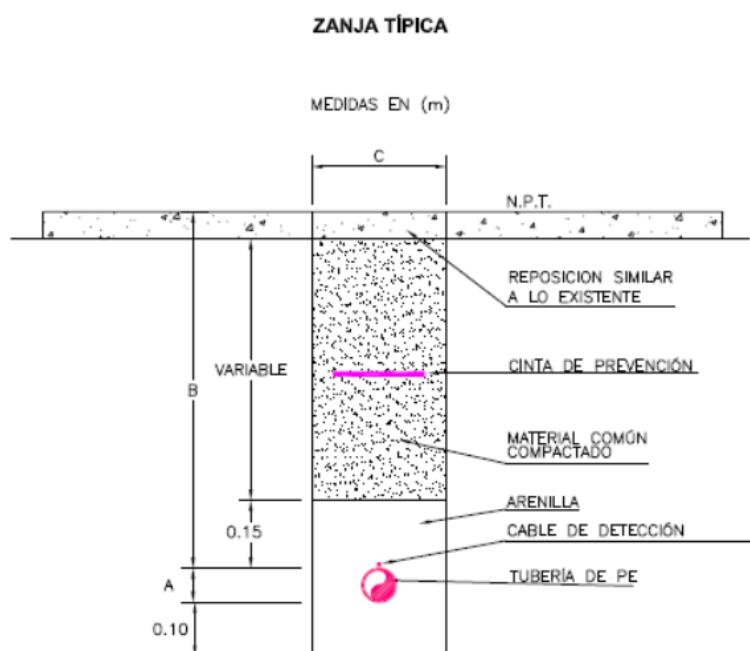
Asimismo, al tener el Plano del proyecto aprobado se verifica las interferencias enterradas y se proyecta realizar un muestreo cada 50 metros de manera de definir la traza de la red de gas natural, las condiciones del terreno donde se instalarán las tuberías y evaluar las interferencias para poder cumplir con las distancias de seguridad mínimas establecidas en los reglamentos nacionales, proceso denominado calicatas.

Las características del tipo de terreno es un favor importante, ya que con ello el concesionario evalúa si realizará una excavación manual o una excavación con maquinarias.

Otro factor de seguridad importante es realizar los trabajos de excavación con los planos constructivos aprobados por el concesionario, el cual contiene las interferencias a lo largo del tramo, a fin de estar advertidos de lo que vamos a encontrar a medida que avanza la excavación. De tal manera que los empleados cuenten con el Equipo de Protección Personal (EPP) apropiado para realizar los trabajos.

En la Figura 20 podemos apreciar la zanja típica realizada en las obras civiles, y las consideraciones al realizar la instalación de la tubería de polietileno.

Figura 20
Preparación de zanja típica – Contugas región Ica



Fuente: (Contugas, 2022)

Donde:

A: Diámetro de la tubería de polietileno

D: Tapada de tubería

C: Ancho de zanja

En la Figura 14 podemos apreciar una calicata con las siguientes dimensiones: 1.50 m de largo, 0.70 m de ancho y una profundidad de 1.51 m, se visualiza que el tipo de terreno es normal y la reposición es afirmado. Asimismo, se puede visualizar que hay una interferencia de fibra óptica, por lo que el concesionario deberá de realizar una proyección para la instalación de la red de polietileno tomando en cuenta las interferencias encontradas.

Figura 21
Calicata del Proyecto Sector Santa Cruz de Villacuri Malla 00



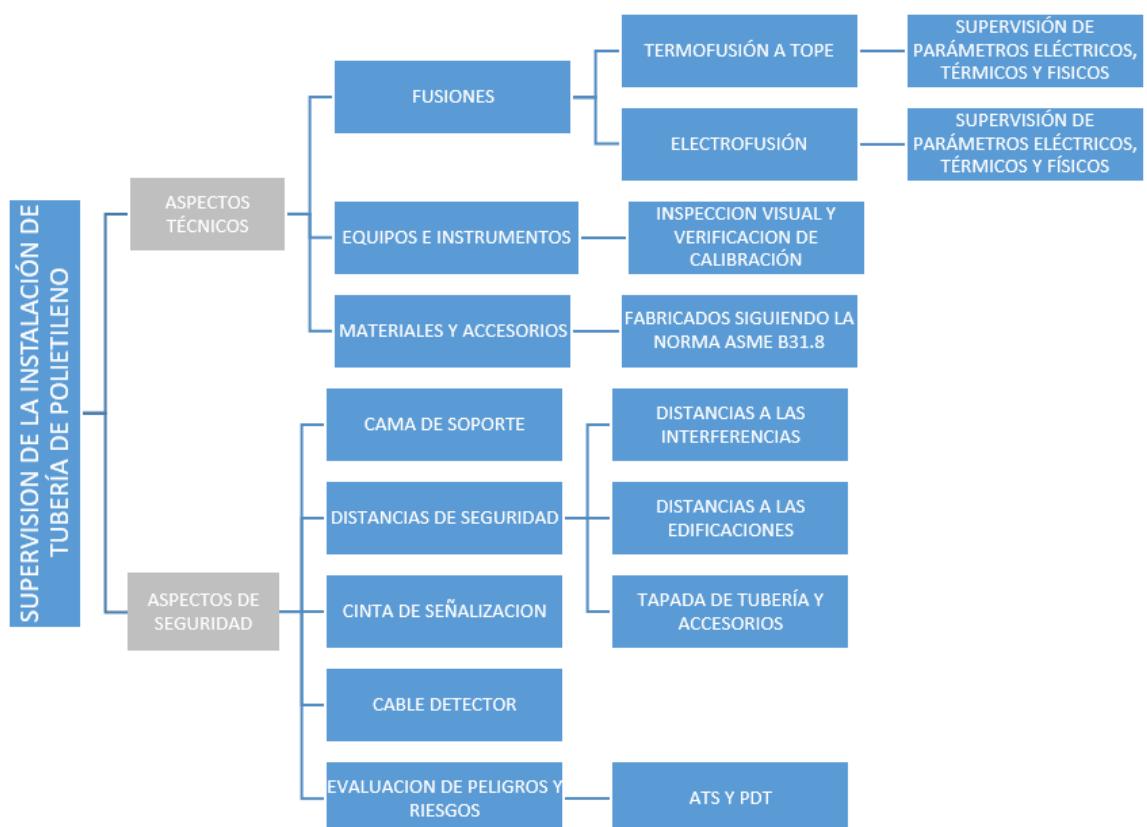
Fuente: Elaboración propia

3.3. Identificación de los parámetros críticos en la red de polietileno

En las Figuras 22, 23 y 24 se muestran mediante diagramas de bloques la secuencia y criterios de supervisión durante las etapas del proyecto.

Figura 22

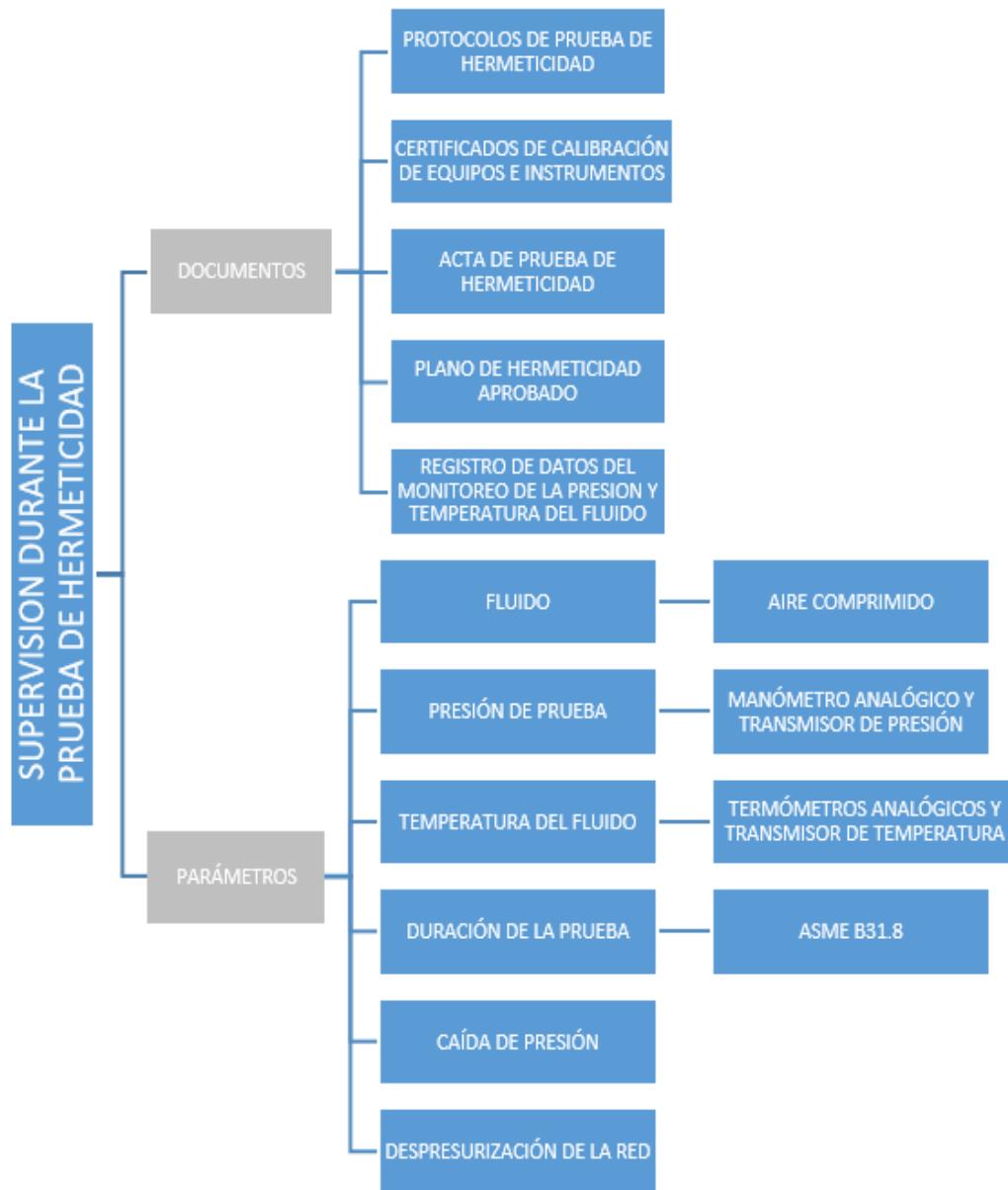
Diagrama de bloques de la supervisión durante la etapa de instalación de tuberías de polietileno



Fuente: Elaboración propia

Figura 23

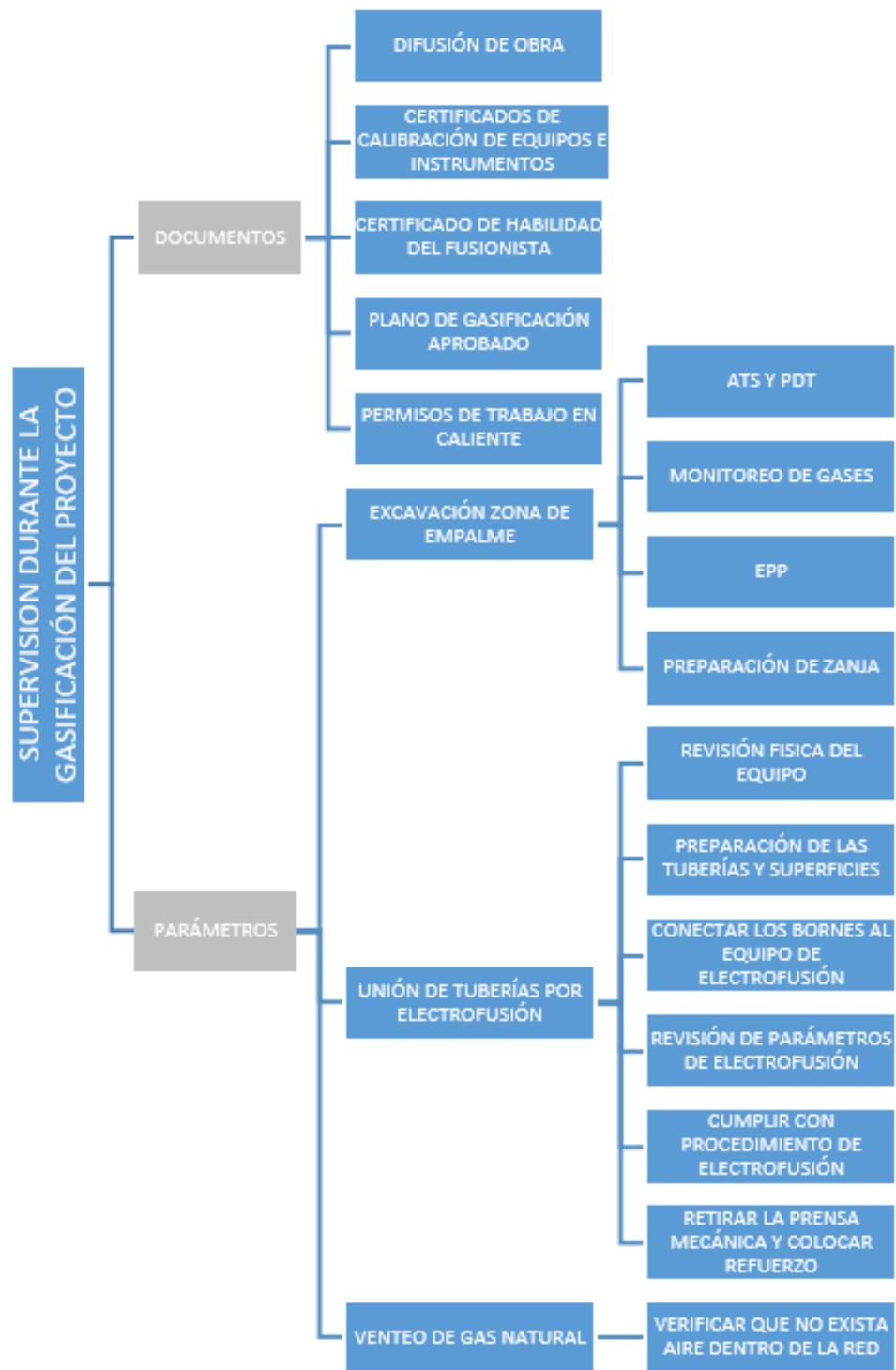
Diagrama de bloques de la supervisión durante la prueba de hermeticidad de la red



Fuente: Elaboración propia

Figura 24

Diagrama de bloques de la supervisión durante la etapa de gasificación del proyecto



Fuente: Elaboración propia

3.3.1. Parámetros críticos en la Instalación de la red

Una vez la zanja se encuentra preparada respetando el ancho establecido en el manual de construcción del concesionario y con las condiciones adecuadas, la concesionaria procede a realizar el tendido de tubería de polietileno. Donde el supervisor de control de calidad realiza un recorrido para verificar lo descrito en la Tabla 17.

Tabla 17

Supervisión durante la tendido de tuberías de polietileno de diámetro 160 mm

Acción	Consideración
Ancho de la zanja	De acuerdo con la Tabla 7 para tuberías de 160 mm de diámetro, el ancho mínimo es 35 cm.
Profundidad	La profundidad de la zanja deberá asegurar que la tubería tenga una tapada de mínimo 61 cm.
Cama de soporte	La cama de soporte superior e inferior debe tener un espesor de arena de mínimo 10 cm.
Instalación de la tubería	La tubería deberá ir en el centro de la zanja manteniendo una distancia de 10 cm a las paredes de la zanja
Distancias de seguridad	Las distancias a las interferencias acorde a la Figura 7. La tapada de tubería debe ser como mínimo 0.61 m. Las distancias a las edificaciones debe ser como mínimo 1 m.
Cable detector	Se instala a lo largo de la red, para poder ubicar la tubería de polietileno.
Cinta de señalización	Se instala a lo largo de la red para advertir la presencia de gas natural enterrado.

Fuente: Elaboración propia en base al (Contugas, 2022)

En la Figura 25 se puede apreciar la medición de la cama de arena realizada por el supervisor de control de calidad del proyecto, donde se verifica que el espesor de la arena sea de mínimo 10 cm a lo largo de todo el tramo, que la arena se encuentre libre de impurezas y cualquier material que pudiera afectar la integridad de la tubería de polietileno.

Asimismo, se verifica que de acuerdo al manual de construcción del concesionario Contugas, para realizar el tendido de tubería de polietileno de 160 mm de diámetro, el cual

irá enterrado a una profundidad mayor a 61 cm el ancho de la zanja debe tener un mínimo de 35 cm, de tal forma que la tubería debe ir instalada en el centro de la zanja manteniendo una distancia mínima con las paredes de 10 cm.

Figura 25
Verificación de la cama de arena en el tramo



Fuente: Elaboración propia

Una vez el supervisor de control de calidad de la empresa concesionaria realiza la verificación de la zanja durante su recorrido, da la autorización para el inicio de la instalación de la tubería matriz de polietileno.

De acuerdo al manual técnico para la dimensión e inspección de riesgos relacionados con la manipulación manual de carga, no se debe permitir que se sometan a cargas superiores de 25 kg para varones o 20 kg para damas y menores de 18 años. (Subsecretaría de Prevención Social, 2017)

Por otro lado, cada tramo de tubería de polietileno de la marca T-PIPE utilizado en el proyecto tiene las características descritas en la Figura 17, entonces para calcular el

peso de la tubería por tubo debemos realizarlo con las consideraciones descritas en la Tabla 18, mediante el esquema mostrado en la Figura 13 y utilizando la ecuación 15.

Tabla 18
Características de la tubería de polietileno de la marca T-PIPE

Acción	Consideración
Longitud	10 m
Diámetro nominal	160 mm
Diámetro externo (D)	160.5 mm
Espesor de pared mínimo (e)	9.8 – 10.3 mm
Densidad de la tubería (ρ)	952 kg/m ³
Gravedad	9.81 m/s ²

Fuente: Elaboración en base al (Contugas, 2023a)

Ahora reemplazamos la ecuación 12 en la ecuación 15 tenemos la ecuación 20:

$$m = \rho \times \pi \times e \times H \times (D_{externo} - e) \quad (20)$$

Reemplazando los valores de la Tabla 18 obtenemos que:

$$m = 952 \times \pi \times 0.0103 \times 10 \times (0.1605 - 0.0103)$$

$$m = 46.27 \text{ kg}$$

Para el cálculo anterior, ya que necesitamos el peso máximo de la tubería hemos utilizado el espesor (e) máximo indicada en su ficha técnica, la cual fue de 10.3 mm.

Entonces una tubería de polietileno de 160 mm de diámetro tiene una masa de 46.27 kg, para calcular su peso debemos multiplicarlo por la gravedad.

$$Peso_{tubería} = 46.27 \text{ (kg)} \times 9.81 \left(\frac{m}{s^2} \right) = 453.90 \text{ N}$$

$$Peso_{tubería} = 0.454 \text{ kN}$$

De acuerdo a las guías de prevención de salud ocupacional que establecen que una persona solo puede cargar a lo mucho 25 kg, veremos cuantas personas se necesitan como mínimo para levantar la tubería de 10 m de largo de 160 mm de diámetro.

$$\text{Peso carga}_{\text{hombre}} = 25 \text{ (kg)} \times 9.81 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = 245.25 \text{ N}$$

$$\text{Peso carga}_{\text{hombre}} = 0.245 \text{ kN}$$

En resumen para cargar la tubería de polietileno se requiere:

$$\# \text{ Personal} = \frac{0.454 \text{ kN}}{0.245 \text{ kN}} = 1.85$$

Por lo tanto se requieren mínimo 2 personas como mínimo por cada 10 metros de gasoducto de polietileno de diámetro 160 mm para realizar el traslado de las tuberías de un punto a otro y así poder realizar la instalación de tubería en zanja. Y una vez verificado todo el tramo se procede a realizar el tendido de tubería, como se visualiza en la Figura 26.

Figura 26
Traslado de la tubería matriz de polietileno



Fuente: Elaboración propia

Una vez trasladada la tubería matriz en la línea, el supervisor de control de calidad debe realizar una inspección visual de las tuberías de polietileno, a fin de verificar si existiera algún desperfecto en las tuberías como rayones, cortes, fisuras, ocasionadas durante el almacenamiento o traslado de la tubería. En la Figura 27 podemos apreciar al supervisor realizando la inspección visual de la tubería.

Figura 27

Inspección visual a la tubería matriz de polietileno



Fuente: Elaboración propia

Una vez instalada la tubería matriz de 160 mm de diámetro, dentro de la zanja, el supervisor de control de calidad realiza la verificación de las distancias de seguridad, tales como medidas a otros servicios, tapada de tubería que es la profundidad a la cual la tubería va enterrada desde la superficie del tubo, distancia a las edificaciones, de acuerdo a la Figura 7.

En la Figura 28 se puede apreciar el cumplimiento de las distancias de seguridad, en este caso se aprecia la distancia de la red troncal instalada de 160 mm de diámetro a una red de polietileno de 32 mm de diámetro, la cual debe tener una separación mínima de 30 cm. Mientras que en la Figura 29 se aprecia que la tapada de la tubería matriz fue de 88 cm.

Figura 28

Distancias de seguridad – distancia a otro gasoducto



Fuente: Elaboración propia

Figura 29

Distancias de seguridad – tapada de tubería



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, debido a que las tuberías de polietileno de 160 mm de diámetro vienen en bloques de 10 metros, es necesario realizar soldadura en polietileno para unir las tuberías antes y después del tendido. Para unir las tuberías de polietileno se puede realizar de dos maneras, termofusión a tope o electrofusión. De acuerdo a las facilidades del proyecto y en base al manual de construcción de Contugas, los trabajos de termofusión

a tope se realizarán en la zona de almacenamiento uniendo 8 varillas de tuberías, dando una longitud de 80 metros que se irán trasportando a la línea del proyecto, para ir instalándose en zanja. Posterior a ello, cada 80 metros de longitud se realiza trabajos de electrofusión mediante un accesorio tipo unión de 160 mm de diámetro dentro de zanja, debido a que el equipo de termofusión a tope es robusto y debe tener un lugar fijo para realizar las uniones, mientras que el equipo de electrofusión es más ligero y permite realizar las uniones dentro de la zanja.

En la Tabla 19 realizamos las consideraciones generales para realizar los trabajos de termofusión a tope para unir tuberías de polietileno de 160 mm de diámetro.

Tabla 19
Consideraciones generales para realizar trabajos por termofusión a tope en tuberías de polietileno

Acción	Consideración
Inspección visual	El fusionista debe realizar la inspección visual a las tuberías de polietileno, a fin de verificar que no hayan sufrido daños que afecten la calidad del proceso.
Limpieza	Se debe asegurar la limpieza de los componentes a unir, una vez se preparan las superficies, empleando un trapo limpio y seco. No se permiten trapos de material sintético o que suelten partículas que puedan contaminar la unión.
Certificados de calidad	Se debe disponer de la información de los materiales involucrados en la actividad.
Certificados de calibración	Los equipos involucrados deben contar con la calibración y el mantenimiento acorde las especificaciones del fabricante.
Cuidados	Durante los procesos de preparación, las superficies limpiadas para las fusiones no deben ser contaminadas.
Fusión defectuosa	En caso de alguna fusión defectuosa, se procederá al cambio de la tubería y del accesorio instalado.
Prohibición	No acelerar el enfriamiento con agua, trapo húmedo, solventes ni corrientes de aire usando ventalador u otro elemento mecánico.
Seguridad	Se debe instalar polo a tierra para aterrizar la corriente estática.

Fuente: (CONTUGAS, 2023)

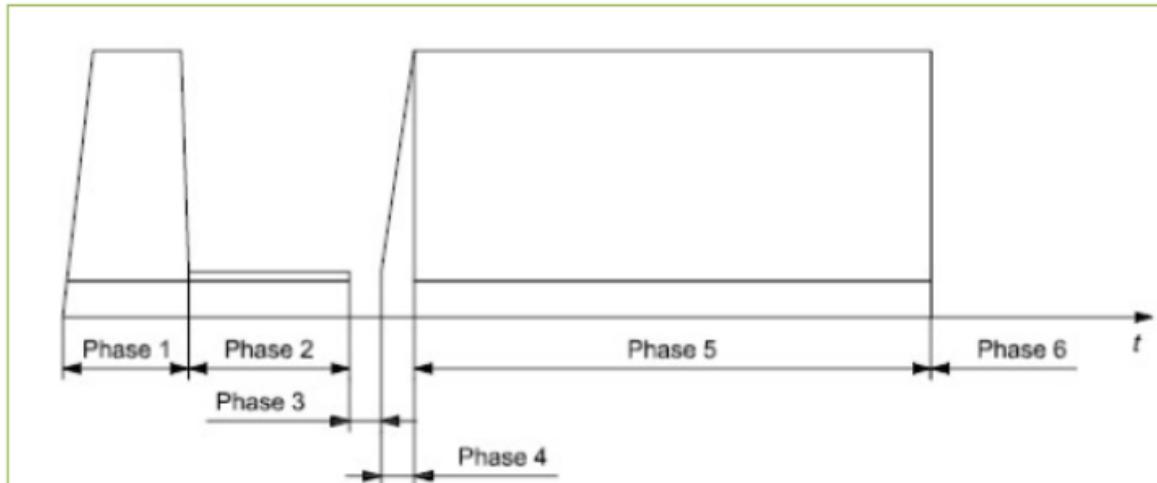
A continuación, describimos el proceso de fusión a tope, en la etapa de preparación:

1. Colocar las caras de las tuberías en el soporte de alineamiento dejando que sobresalga lo necesario desde las mordazas del carro alineador para realizar las actividades de refrentado, alineación, limpieza y pega.
2. Insertar el disco refrentador entre las tuberías y ponemos en marcha, mediante el dispositivo de cierre automático de la máquina, aproxime las tuberías a las cuchillas circulares perpendiculares al eje axial de la tubería y moldear los extremos de estas, hasta lograr una película continua y de espesor uniforme según inspección visual.
3. Cuando la película sea continua en ambas caras disminuya paulatinamente la presión; y separe los tubos. Retire la máquina refrentadora y desinfecte las cuchillas y las caras de las tuberías de las películas residuales. El acabado superficial debe ser plano y liso. No contaminar los extremos de las caras de las tuberías.
4. Verificar mediante inspección visual que los extremos de las caras estén perpendiculares al eje axial de la tubería y que estén correctamente alineados y paralelos.
5. Luego realice la alineación de las tuberías y con las caras axiales en contacto verifique que los bordes no estén desalineados.
6. Limpiar la superficie del tubo con trapo limpio, seco y con alcohol isopropílico eliminando cualquier contaminante.
7. Antes de realizar el procedimiento de calentamiento, se debe verificar la temperatura de la plancha según el indicador del mismo equipo, con el fin de constatar que este dentro del rango definido.

Para el proceso de termofusión a tope se va seguir las indicaciones y parámetros definidos en las Tablas del procedimiento de soldadura por termofusión de redes de polietileno incluida en el manual de construcción del concesionario, donde se define las fases y parámetros de termofusión y parámetros de fusión de acuerdo con el espesor nominal (mm).

Para los ciclos de fusión a tope, se realizará de acuerdo a la Figura 30.

Figura 30
Ciclo de fusión a tope



Fuente: (Contugas, 2022)

Fase 1: Calentamiento.

P1: Presión de interfaz, durante la fase de calentamiento, es decir, la presión aplicada en la zona de contacto.

B1: Ancho del cordón de la soldadura, en milímetros, se tomará con el ancho inicial de la fase de calentamiento.

t1: Tiempo de calentamiento, será el necesario hasta obtener el ancho B1, en el área conjunta durante la fase de calentamiento.

Fase 2: Aplicación del calor.

P2: Presión trasmisida al tubo mediante la etapa de calentamiento.

t2: Duración en segundos del calentamiento interno, durante la fase de calentamiento.

Fase 3: Retiro de la Placa Calefactora.

t3: tiempo en segundos, comprendido entre el retiro de la placa calefactora y el momento en que se enfrentan un tubo contra otro.

Fase 4: Aumento de Presión.

t4: tiempo en segundos, necesario para establecer la presión de fusión a tope.

Fase 5: Fusión a Tope.

P5: Presión aplicada a la zona de contacto durante la fase de fusión a tope.

t5 (en minutos): la presión de fusión debe permanecer durante el tiempo indicado para alcanzar el ensamble de las tuberías.

Fase 6: Enfriamiento.

t6: tiempo de enfriamiento en minutos, durante el cual la unión de fusión debe permanecer sin ninguna manipulación brusca, este proceso puede realizarse con la junta montada en la máquina o fuera de la máquina.

A continuación describimos las fases y parámetros de termofusión en la Tabla 20 y en la Tabla 21 mostramos los parámetros de fusión de acuerdo con el espesor nominal (mm).

Tabla 20

Fases y parámetros de termofusión a tope

Parámetros		Valores	Unidades
Temperatura de la Plancha (T).		200 a 230	°C
Fase 1	Presión, P1 Tiempo, t1 Espesor del cordón, B1	1.3 – 1.7 Tomar la medida hasta alcanzar aprox. B1 (ver Tabla 22)	Bar s mm
Fase 2	Presión, P2 Tiempo, t2	≤ 0.3 (ver Tabla 22)	Bar s
Fase 3	Tiempo, t3	Máximo Valor, Ver Tabla 22	s
Fase 4	Tiempo, t4	Máximo Valor, Ver Tabla 22	s
Fase 5	Presión, P5 Tiempo, t5	1.3 – 1.7 Mínimo Valor, Ver Tabla 22	Bar s

Parámetros		Valores	Unidades
Fase 6	Tiempo, t6	Igual al tiempo 5	s

Fuente: (Contugas, 2022)

Tabla 21

Parámetros de fusión de acuerdo con el espesor nominal (mm)

Espesor de Paredes (e)	B1 (mm)	t2 s	t3 s	t4 s	t5 min
≤ 4.5	0.5	45	5	5	6
4.5 < e ≤ 7	1.0	45 a 70	5 a 6	5 a 6	6 a 10
7 < e ≤ 12	1.5	70 a 120	6 a 8	6 a 8	10 a 16

Fuente: (Contugas, 2022)

En base a la experiencia y de acuerdo a los manuales de los fabricantes de las tuberías se establece las siguientes recomendaciones para la prevención de fallas en la Tabla 22

Tabla 22

Recomendaciones para la prevención de fallas en termofusión a tope

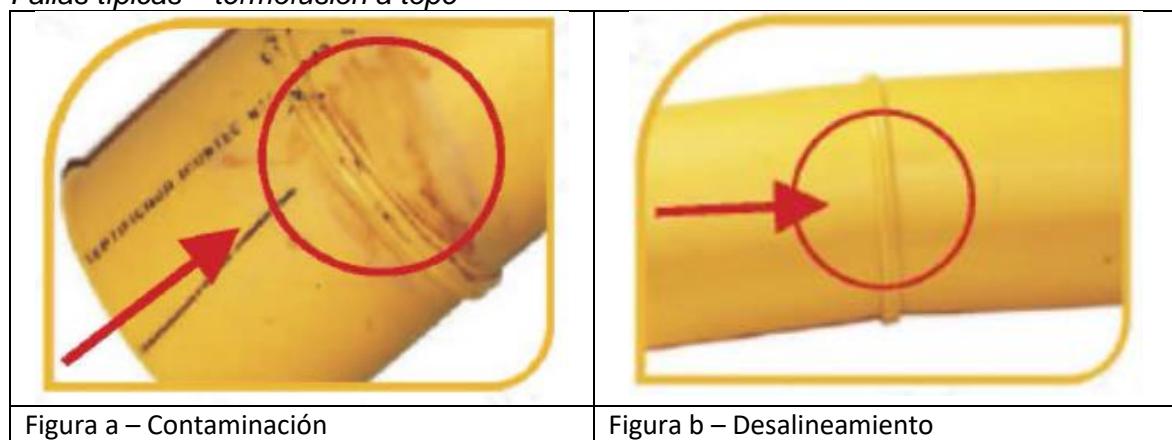
Acción	Consideración
Contaminación	Limpie toda la suciedad en los extremos del tubo con un trapo limpio y alcohol isopropílico. Si la contaminación persiste, lo más recomendable es cortar el tubo hasta encontrar una sección menos contaminada. Además, cada vez que se realice el procedimiento, debe limpiarse las superficies teflonadas de la plancha de calentamiento para eliminar el polvo o la tierra acumulada. Proteja el área de trabajo de corrientes de aire para evitar que estas esparzan partículas sobre las áreas fundidas. Cubra la plancha de calentamiento con una lona aislante térmico o colóquela en su base de soporte para prevenir el contacto con superficies ásperas que puedan dañar su recubrimiento.
Reborde excesivo	Verifique periódicamente la temperatura de la plancha de calentamiento en ambas caras usando un instrumento calibrado. Las diferencias de temperatura no deben superar los 10 °C, y deben estar dentro del rango de 210 °C ± 10 °C. Si el equipo cuenta con un manómetro, asegúrese de que esté calibrado para garantizar que las presiones aplicadas sean las correctas en cada fase del procedimiento. Controle el tiempo de calentamiento con un cronómetro o reloj, ya que el conteo manual no es recomendable, ya que puede ser impreciso y resultar en una fusión inadecuada del material.

Acción	Consideración
Reborde pequeño o en forma de (V)	Ajuste la temperatura de la plancha de calentamiento para que esté dentro del rango de $210\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Verifique que el manómetro del equipo esté correctamente calibrado para asegurar que el valor registrado sea preciso. Controle el tiempo de calentamiento, incluyendo su duración y el inicio del control. Además, asegúrese de que los tubos estén correctamente ajustados en el carro alineador para evitar que se deslicen en las mordazas cuando se les aplique presión.
Reborde no simétrico	Verifique la posición y el ajuste del refrentador sobre las guías del carro alineador para asegurar que no haya movimiento de "cabeceo" del equipo en ninguna de las dos direcciones (transversal y longitudinal). Si se observa dicho movimiento, es necesario rectificar o recalzar las guías de encaje del refrentador. Al finalizar el procedimiento de refrentado, compruebe que el corte sea a escuadra, alineando los dos extremos de los tubos al cerrar el carro alineador. También asegúrese de que el corte de las cuchillas sea uniforme a ambos lados, lo cual debe evidenciarse con una tira continua en el refrentador; de no ser así, revise el afilado de las cuchillas.
Desalineación	Ajuste correctamente las mordazas del carro alineador, tratando de igualar al máximo posible la diferencia de alturas entre los extremos de los tubos. Es recomendable orientar los rótulos hacia el mismo lado siempre que sea posible, utilizando el rotulado como guía.
Deformación local	A menudo, al aplicar la presión de calentamiento y después de su tiempo, la plancha de calentamiento puede quedar adherida a algunos de los lados. Se recomienda dar un pequeño golpe lateral en el lado donde está adherida y luego retirar la plancha de forma vertical y rápida para continuar con el procedimiento, evitando golpear el material fundido.
Inspección visual	Finalmente para una tubería de polietileno de alta densidad PE-100, debe verificar que el reborde final sea simétrico y el ancho debe estar entre 10 a 15 mm.

Fuente: (Extrucol, 2007)

En la Figura 31 se muestra las fallas comunes durante el proceso de termofusión a tope.

Figura 31 a,b,c,d
Fallas típicas – termofusión a tope



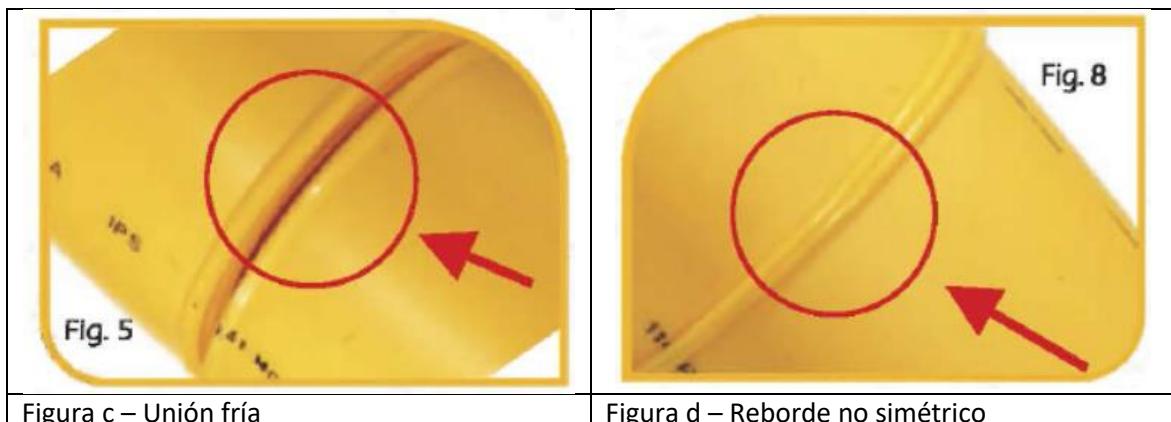


Figura c – Unión fría

Fuente: (Extrucol, 2007)

Figura d – Reborde no simétrico

Se realiza la visita de fiscalización en campo y almacén de manera aleatoria a los procesos de unión, de acuerdo a los criterios ya establecidos y mencionado en las tablas correspondientes. En la Figura 32 podemos apreciar la medición del ancho del reborde final de la unión por termofusión a tope, la cual tiene una medida de 12 mm.

Figura 32

Inspección visual del reborde – termofusión a tope



Fuente: Elaboración propia

Asimismo, durante los trabajos de instalación de tubería dentro de zanja, el concesionario realiza la soldadura de polietileno por electrofusión, donde describiremos el proceso de unión mediante electrofusión de tuberías y accesorios en la Tabla 23.

Tabla 23*Descripción de la unión por electrofusión de tuberías y accesorios de polietileno*

Acción	Consideración
Corte de tubería	Se debe cortar la tubería con una herramienta adecuada, dicho corte deberá ser perpendicular al eje de la tubería.
Medición y marcado	Se mide la longitud y se marca el tramo de la tubería que debe insertarse en el accesorio, para que sirva de guía.
Limpieza de zona a fusionar	Se limpia la zona a fusionar del tubo con un trapo limpio.
Raspado de zona marcada	Raspar toda la zona marcada de la tubería con un raspador mecánico en una sola dirección, el raspado se hará en la parte externa de dicho tubo; retirando la película de oxidación con un espesor que garantice la uniformidad del raspado según inspección visual.
Limpieza de zonas a soldar	Se deben limpiar las zonas a soldar con alcohol y trapo limpio seco o papel, eliminando cualquier contaminante.
Marcado final	Volver a marcar la longitud de la tubería que será insertada o cubierta por el accesorio.
Tiempo de espera al inicio	Antes de iniciar el proceso de Electrofusión de las tuberías entre ellas o con el accesorio, se deberá dejar un tiempo prudencial para que el alcohol se evapore.
Empuje o montaje del accesorio	Empuje o realice el montaje del accesorio hasta la longitud marcada sobre el extremo o superficie del tubo.
Alineamiento de elementos a soldar	Se deben alinear los elementos a soldar de manera simultánea de tal forma que la tubería se encuentre centrada con respecto al accesorio, para esto se usarán los dispositivos y/o herramientas de sujeción adecuada.
Conexión de cable de Electrofusión	Conectar los cables de electrofusión a las conexiones que presentan los accesorios. Pasar el lápiz o lector óptico sobre el código de barras que tiene el accesorio para que el equipo asuma de manera automática los parámetros de fusión, la trazabilidad, o también podrá realizar dicha labor manualmente. Es necesario verificar que los parámetros (tiempos) correspondan entre lo indicado en la etiqueta del accesorio, lo visualizado en el equipo y a lo ejecutado.
Ingreso de datos	Ingresar en la máquina de electrofusión los demás datos de referencia del proyecto, zona, sector o malla, el código de fusionista y otros que apliquen.
Inicio de la Electrofusión	Una vez cumplidos los pasos anteriores se podrá dar inicio el proceso de electrofusión presionando el botón de inicio de la máquina.
Soldadura y enfriamiento inicial	Durante el proceso de soldadura y enfriamiento inicial deberá permanecer montado el accesorio en el dispositivo de sujeción, pudiéndose desconectar los cables del equipo de electrofusión después del tiempo de calentamiento.

Acción	Consideración
Verificación de enfriamiento de junta	Se debe asegurar que la junta esté libre de esfuerzos o movimientos bruscos mientras dure su enfriamiento: aplique el tiempo más largo entre el indicado en la impresión del accesorio y lo que pre establece la máquina (equipo de fusión).
Finalización del pegado	Una vez se finalice el proceso de pega se deberá rotular con tinta indeleble o similar en el accesorio y/o tubería los siguientes datos: Código del fusionista, número de fusión, fecha y hora de fusión, temperatura de calentamiento y tiempo de calentamiento. El fusionista deberá verificar que el resultado de la máquina sea satisfactorio, realizar una inspección visual y calificar la junta como satisfactoria o no conforme y consignar en el respectivo registro.
Registro	Se deben registrar las actividades y parámetros según los formatos definidos para facilitar su trazabilidad.

Fuente: (Contugas, 2022)

Finalmente, la soldadura correcta puede ser controlada visualmente por el indicador de soldadura del accesorio o punto de testigo, el cual debe sobresalir en el accesorio. Asimismo, no debe observarse material fundido que sobresalga entre el punto de unión accesorio – tubería.

3.3.2. Parámetros durante las pruebas de hermeticidad de la red

Al concluir el proceso constructivo del proyecto Santa Cruz de Villacuri, se debe garantizar la hermeticidad de la red de polietileno, a fin de evitar posibles puntos de fugas de gas natural. Toda prueba se realizara después de la construcción del gasoducto y antes de que el sistema entre en operación.

En la Tabla 24 definimos los parámetros críticos durante la prueba de hermeticidad de la red y su criterio de evaluación.

Tabla 24
Parámetros críticos durante la prueba de hermeticidad de la red

Parámetro	Evaluación
Caída de Presión del fluido (barg)	Debe ser menor a 0.1 barg
Temperatura del fluido (°C)	Debe ser menor a 40 °C.

Fuente: (NTP 111.021, 2016)

Se definen dos puntos de monitoreo de presión y temperatura denominados cabezales de prueba principal y secundario, los cuales se ubican generalmente en los extremos de la red.

La prueba consiste en suministrar un fluido de prueba en este caso se utilizó aire comprimido, a toda la red de polietileno de 160 mm de diámetro instalada. La concesionaria realiza un monitoreo de la presión y temperatura del fluido durante un periodo de 8 horas, de acuerdo a la Tabla 25, donde registra cada 15 minutos dichos parámetros. Asimismo, se tiene que registrar en forma constante la presión y temperatura del fluido durante la prueba de presión y de manera redundante, por lo que la concesionaria utiliza en el cabezal principal un tablero de adquisición de datos, el cual consiste en un equipo conectado a unos transmisores de presión y temperatura de manera que realiza la lectura durante todo el tiempo de prueba.

Tabla 25
Presiones y Tiempos de Prueba para Redes de PE

Estructura y/o Longitud Tubería	Presión de Prueba (Bar)	Tiempo de Estabilización (min)	Duración de Prueba (horas)
$L \leq 1000$	7.5	30	4
$1000 < L \leq 2000$	7.5	60	8
$2000 < L \leq 5000$	7.5	90	12
$L > 5000$	7.5	90	24
Tuberías derivación o conexión	7.5	5	0.25

Fuente: (Contugas, 2022)

El cabezal principal del proyecto se ubicó en la Calle S/N (15) Mz. 5888 frente al predio L040, donde se encontró el tablero de adquisición de datos y los instrumentos analógicos, tal como se aprecia en las Figuras 33 y 34.

Figura 33
Tablero de adquisición de datos del proyecto



Fuente: Elaboración propia

Figura 34
Cabezal principal – instrumentos analógicos y digitales



Fuente: Elaboración propia

El cabezal secundario del proyecto se ubica en la Av. S/N (A) Mz. 6334 frente al predio L050, donde se encuentra solo los instrumentos analógicos de presión y temperatura, tal como se aprecia en las Figuras 35.

Figura 35
Cabezal secundario – instrumentos analógicos



Fuente: Elaboración propia

Finalizando la prueba de resistencia y hermeticidad, se verifica el registro del monitoreo de presión y temperatura del fluido de acuerdo a los criterios mencionados en la Tabla 24, resultando aprobado o no aprobado, según sea el análisis del concesionario. En la Figura 36 podemos apreciar el cierre de la prueba de hermeticidad, donde se verifica en el manómetro analógico que la presión se mantuvo constante durante las 8 horas de prueba.

Figura 36
Manómetro analógico – monitoreo de la presión del fluido

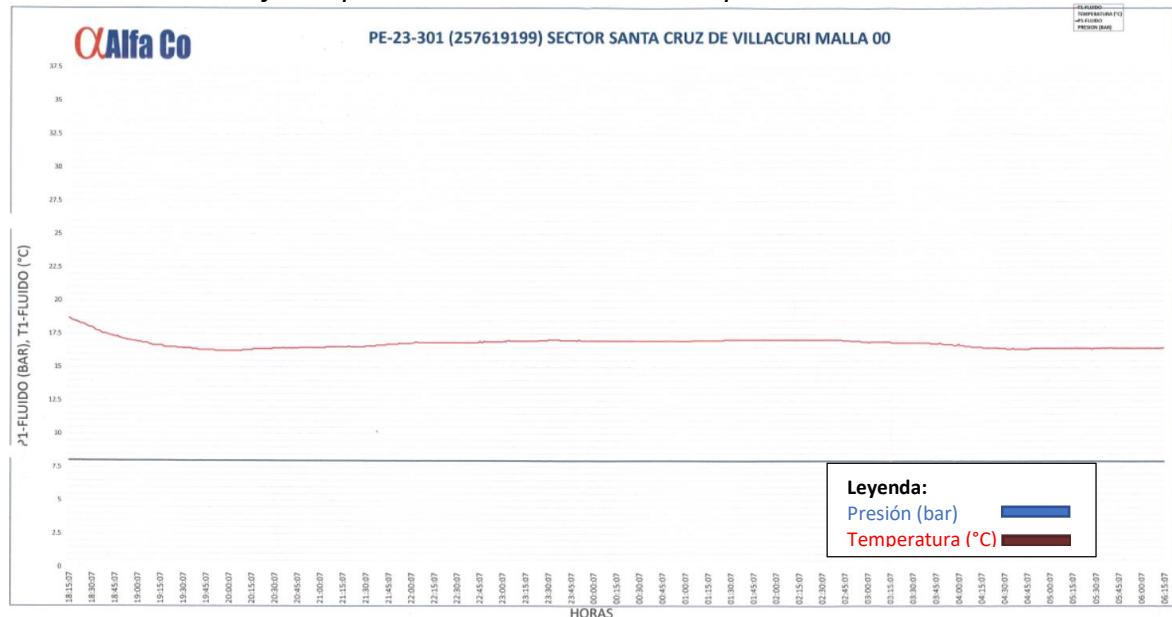


Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se realiza la verificación en el tablero de adquisición de datos, el cual nos proporciona una base de datos en Excel del registro del monitoreo continuo y con dichos valores se puede realizar las gráficas de presión y temperatura vs tiempo, lo cual visualizamos en la Figura 37.

Figura 37

Gráfica de Presión y Temperatura del fluido durante la prueba de hermeticidad



Fuente: (Contugas, 2023a)

En la Tabla 26 verificamos los parámetros involucrados durante la prueba de hermeticidad y evidenciamos que no hubo una caída de presión mayor a 0.1 barg ni la temperatura del fluido superó los 40 °C durante las 8 horas de prueba. El fluido utilizado fue aire comprimido.

Tabla 26

Parámetros críticos durante la prueba de hermeticidad

Parámetro	Valor inicial (Instrumentos Analógicos)	Valor inicial (Instrumentos Digitales)	Valor final (Instrumentos Analógicos)	Valor final (Instrumentos Digitales)
Presión (barg)	8.0	8.0048	8.0	8.0009
Temperatura (°C)	20	21.2350	19	19.7985

Fuente: Elaboración propia

Una vez que el concesionario verifica que no hubo una caída de presión mayor a 0.1 bar y que la temperatura del fluido no superó los 40 °C, evidenciándose mediante

registros y gráficas, procede a firmar un registro de Acta de Conformidad de Prueba de Resistencia y Hermeticidad, caso contrario se procede a investigar la causa de la fuga de aire y una vez solucionado se repite la prueba con la misma duración. Cabe indicar que se verifica todos los documentos previos al inicio de la prueba, los cuales son el Protocolo de Prueba de Hermeticidad, certificados de calibración de todos los equipos e instrumentos asociados a la prueba, Plano de Prueba de Hermeticidad aprobado por el concesionario y los Registros de Prueba de Resistencias de ambos cabezales.

Para culminar el proceso de la prueba de hermeticidad se debe despresurizar el aire comprimido a una presión de 1 barg, con el fin de no quedar expuesto a una alta presión que podría afectar la seguridad de las personas aledañas.

3.3.3. Parámetros durante la gasificación de la red

El proceso de gasificación involucra trabajos en caliente para realizar la unión de la red de polietileno instalado con una red de polietileno existente y en servicio de gas natural, por lo que la supervisión debe garantizar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la Tabla 27.

Tabla 27

Parámetros críticos durante la gasificación de la red de polietileno

Parámetro	Evaluación
Presión del aire (barg)	Verificar hermeticidad en la red
Excavación en el punto empalme	Monitoreo de concentración gas/aire
Proceso de soldadura de PE	Procedimiento de electrofusión
Venteo de aire de la red	Procedimiento de Vento de gas natural

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al Plano de Hermeticidad y Gasificación aprobado por el concesionario los puntos de venteo de gas natural de la red troncal serán en los extremos y en ellos se hace la verificación de la presión del aire, a fin de garantizar la hermeticidad de la tubería

y prevenir cualquier falla u afectación ocasionado después de la prueba de hermeticidad.

En la Figura 38 podemos apreciar un manómetro analógico certificado donde se realizó la medición de la presión de aire en la red antes de iniciar con la gasificación del proyecto, donde se encontró que la red se encontraba hermética a una presión de 1 barg.

Figura 38

Verificación de la presión de aire en la red de polietileno



Fuente: Elaboración propia

Después que se aseguró que no hubo fugas de aire post prueba de hermeticidad se procede a realizar la excavación en la zona de empalme, donde se tiene que realizar con todas las precauciones debido a que es un trabajo en caliente, ya que se encuentra la red troncal de 160 mm de diámetro existente y en servicio de gas natural. Los excavadores cuentan con su equipo de protección personal (EPP) apropiado y medidas de seguridad definidas en su Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y Permisos de Trabajo en caliente (PDT). Asimismo, el prevencionista encargado de supervisar los trabajos monitorea la concentración de gas natural en aire, a fin de detectar posible mezcla explosiva gas/aire que se pueda formar debido a una afectación a la tubería existente.

De presentarse alguna fuga de gas por afectación a la tubería existente, el concesionario procede a activar el mecanismo de atención de emergencias siguiendo su procedimiento establecido. En la Figura 39 vemos que terminado el proceso de excavación los técnicos gasistas del concesionario comienzan a realizar la preparación de los trabajos de soldadura por electrofusión, de tal forma que realizan un prensado mecánico de la red existente y en servicio, a fin de cortar el flujo de gas natural en ese tramo y poder realizar trabajos en caliente.

Figura 39
Empalme de tuberías de 160 mm de diámetro



Fuente: Elaboración propia

Después de cortar el flujo de gas natural se procede a realizar los trabajos de unión mediante la electrofusión, donde como ya se mencionó, la parte crítica de la fusión vendría a ser la preparación de las tuberías de polietileno y accesorio de electrofusión a utilizar, en este caso se utilizó una TEE de 160 mm x 160 mm de diámetro.

La preparación consiste en:

1. Utilizar un equipo alineador para evitar cualquier desplazamiento de la tubería.
2. Eliminación de impurezas y/o contaminantes en la red, mediante un raspado mecánico, el raspado debe ser menor al 10% del espesor de pared.
3. Medición del área a fundir, entre las tuberías y accesorios.
4. Limpieza del tubo y accesorio con alcohol isopropílico y utilizar trapos de algodón.
5. Insertar los bornes del equipo al accesorio de polietileno.
6. Verificación de los parámetros del equipo de electrofusión, corriente, voltaje.
7. Escanear y/o digitar manualmente los parámetros de fusión.
8. Verificación de los parámetros de electrofusión del accesorio en la pantalla.

Culminado el tiempo de calentamiento y enfriamiento se retira los alineadores y se realiza la inspección visual a través del accesorio. En la Figura 40 podemos visualizar la soldadura por electrofusión una vez culminado el proceso. Finalmente se apertura la prensa mecánica y se procede a realizar la prueba de la solución jabonosa a través del accesorio, a fin de detectar posibles puntos de fuga.

El proceso de electrofusión en caliente es realizado por un fusionista calificado por el concesionario y un ayudante calificado, los cuales se encargan de realizar la preparación adecuada a la tubería de acuerdo al procedimiento de electrofusión vigente del concesionario. En la Figura 41 podemos apreciar el certificado de calificación del fusionista que realizó los trabajos de electrofusión.

Figura 40

Proceso de electrofusión mediante accesorio tipo TEE



24 sept 2023 11:50:43
181_400237_8460605

Fuente: Elaboración propia

Figura 41

Certificado de calificación del fusionista



Fuente: Elaboración propia

El concesionario realizará el venteo de gas natural a fin de eliminar todo el aire dentro de la red, de manera de prevenir presencia de aire dentro de la tubería gasificada. En los puntos extremos de la red se realiza la verificación del 100% de gas natural en la red mediante a un detector multigas tipo ALTAIR 4X. Finalizado el proceso la red queda

gasificada sin presencia de aire. En la Figura 42 podemos apreciar los trabajos de venteo de gas natural de la red.

Figura 42
Proceso de venteo de gas natural



Fuente: Elaboración propia

3.4. Estimación económica de ahorro por consumo de gas natural

De acuerdo al último informe de resultados de consumo y usos del gas natural realizado por el ERCUE 2019 - 2020 (Encuesta Residencial de Uso y Consumo de Energía), los usuarios residenciales consumen aproximadamente 17 m³ por mes, y equivale a 1.3 balones de GLP. (OSINERGMIN, 2020b)

De acuerdo a la Tabla 28, Pliego de Tarifas Máximas Gas Natural expresado en soles de la concesionaria de la región Ica del 2023, se establece lo siguiente: (Contugas, 2023b)

Tabla 28
Pliego de Tarifas Máximas Gas Natural Región Ica

RANGO (Sm ³ /mes)	SUMINISTRO		TRANSPORTE		DISTRIBUCIÓN POR DUCTOS	
	COSTO MEDIO	RECARGO FISE	COSTO MEDIO	MARGEN DISTRIBUCIÓN	MARGEN COMERCIAL	
	S/Sm ³	S/Sm ³	S/Sm ³	S/Sm ³	S/Sm ³	S/cliente
0 a 30	0.22330780	0.00558066	0.17983467	1.10614244	2.3660	

Fuente: (Contugas, 2023b)

Para calcular el precio por consumo de gas natural al mes de un hogar promedio de la región del norte de Ica utilizaremos la ecuación 16 y reemplazaremos los valores de la Tabla 28.

$$PGN = CPM \times (\sum CMS + CMT + MDV) + MCV$$

$$PGN = 17 \times (0.22330780 + 0.00558066 + 0.17983467 + 1.10614244) + 2.3660$$

$$PGN = 17 \times 1.51486557 + 2.3660$$

$$PGN = 28.1187 \left(\frac{\text{Soles}}{\text{mes}} \right)$$

El SCOP (Sistema de Control de Órdenes de Compra) este programa de control de demandas de hidrocarburos que vigila, en tiempo real, las transacciones entre los agentes autorizados, de tal manera que controla la informalidad. En este sentido en el SCOP podemos encontrar los registros de los precios de los balones de GLP en todas las regiones, clasificados por empresas distribuidores y fechas.

De acuerdo al SCOP de OSINERGMIN en setiembre 2023, el precio del balón de GLP de 10 kg en el distrito de Guadalupe, provincia y departamento de Ica, comercializado por la empresa Distribuidora de Gas Ica Norte E.I.R.L. tenía un valor promedio de 42 soles. (SCOP, 2023)

$$\text{Precio por Consumo de GLP envasado} \left(\frac{\text{Soles}}{\text{mes}} \right) = 1.3 \times \text{Precio de GLP envasado} \left(\frac{\text{Soles}}{\text{mes}} \right)$$

$$\text{Precio por Consumo de GLP envasado} \left(\frac{\text{Soles}}{\text{mes}} \right) = 1.3 \times 42 \left(\frac{\text{Soles}}{\text{mes}} \right)$$

$$\text{Precio por Consumo de GLP envasado} \left(\frac{\text{Soles}}{\text{mes}} \right) = 54.6 \left(\frac{\text{Soles}}{\text{mes}} \right)$$

3.5. Estimación de emisiones en el escenario con gas natural

Para cuantificar las emisiones de CO₂ bajo un escenario con gas natural, GLP y leña debemos utilizar las ecuaciones 17 y 18 del marco teórico.

$$\text{Emisiones de CO}_2_{\text{GN}} = \text{CPM}_{\text{GN}} \times \text{FE}_{\text{GN}}$$

$$\text{Emisiones de CO}_2_{\text{GLP}} = \text{CPM}_{\text{GLP}} \times \text{FE}_{\text{GLP}}$$

Para calcular el factor de emisión de CO₂ a partir de la combustión del gas natural, nos basamos en el manual práctica para determinar las emisiones de gases por efecto invernadero mostrado en la Tabla 9, donde menciona que el gas natural presenta un factor de emisión de 2.15 kg de CO₂/Sm³.

Entonces tenemos lo siguiente:

$$\text{Emisiones de CO}_2_{\text{GN}} = 17 \times 2.15$$

$$\text{Emisiones de CO}_2_{\text{GN}} = 36.55 \left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{mes}} \right)$$

Los balones de gas licuado de petróleo (GLP) domésticos utilizados son de 10 kg, por lo que en la región Ica se utiliza en promedio 1.3 balones, los cuales representarían a 13 kg de GLP. Entonces utilizando la Tabla 50, el cual menciona que el GLP presenta una constante de emisión de 2.96 kg de CO₂/ kg de GLP.

$$\text{Emisiones de CO}_2 = 13 \times 2.96$$

$$\text{Emisiones de CO}_2_{\text{GLP}} = 38.48 \left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{mes}} \right)$$

Para el caso de la leña utilizada por los pobladores del Pueblo Joven Santa Cruz de Villacuri debemos de considerar el contenido de carbón en la leña. En las Directrices de los Inventarios Nacionales de Gases de Efectos Invernaderos del IPCC se estima que el contenido de carbono de la madera seca representa un 50%.

De acuerdo a encuestas locales el consumo promedio diario de leña en la región de Ica es de 8.42 kg. Entonces al mes tendríamos un consumo de 252.6 kg de leña, pero debido a que el contenido de carbono de la leña representa un 50%.

Carbono en la leña sería el 50% de 252.6 kg de leña, por lo que tenemos 126.3 kg de Carbono en la leña.

Ahora procederemos a convertir el carbono en CO₂. Dado que la combustión completa del carbono produce CO₂, la relación estequiométrica es que 1 mol de carbono produce 1 mol de CO₂.

Entonces tenemos que:

$$1 \text{ mol de C} = 1 \text{ mol de CO}_2$$

$$\frac{\text{masa de C}}{M_C} = \frac{\text{masa de CO}_2}{M_{CO_2}}$$

$$\text{masa de CO}_2 = \text{masa C en la leña} \times \frac{M_{CO_2}}{M_C}$$

$$\text{masa de CO}_2 = \text{masa C en la leña} \times \frac{44 \left(\frac{g}{mol} \right)}{12 \left(\frac{g}{mol} \right)}$$

$$\text{masa de CO}_2 = 126.3 \times 3.67$$

$$\text{Emisiones de CO}_2_{leña} = 463.52 \left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{mes}} \right)$$

Capítulo IV. Análisis de Resultados

En dicho capítulo se analizará y revisará los resultados descritos en el presente trabajo.

- Verificación de parámetros de diseño de la red de polietileno
- Identificación de los parámetros críticos en obras civiles
- Identificación de los parámetros críticos en la red de polietileno
- Estimación económica al emplear gas natural
- Estimación de emisiones de CO₂ al emplear gas natural

4.1. Resultados

4.1.1. Parámetros de diseño de la red de polietileno

Una vez definido los parámetros de diseño de la ficha técnica de la tubería a emplear se realizaron los cálculos en el capítulo anterior, resultando como indica la Tabla 29.

Tabla 29
Evaluación de resultados

Condición	Valor	Evaluación
MAPO	5.68 bar	La MAPO calculada es mayor a la MAPO definida por el concesionario (5 bares), entonces se garantiza que el concesionario va trabajar a una condición más segura a la calculada.
Presión de diseño	6.24 bar	La presión de diseño de la tubería termoplástica es mayor que la MAPO del concesionario, por lo que se garantiza la integridad operacional de las tuberías.
Relación Caudal – Diámetro	29.50	Cumple la condición de $Q/D < 150$, por lo que el flujo es manejable dentro de los límites aceptables de diseño. Esto implica que la velocidad del gas y la pérdida de presión están en niveles seguros, lo que ayuda a mantener la integridad de la tubería y la eficiencia del sistema.
Caída de presión	0.7614 bar	Cumple la condición de ser menor a la máxima caída de presión que es representada por el 20% de la presión inicial, la cual resultó 0.98 bar.
Velocidad del gas	16.89 m/s	Cumple la condición de ser menor o igual a 30 m/s, representando una condición segura y sin problemas en el sistema de distribución.

Fuente: Elaboración propia

En conclusión, se verificó que los parámetros de diseño cumplen con todas las condiciones mostradas de acuerdo a las normativas nacionales e internacionales vigentes.

4.1.2. Identificación de los parámetros críticos en obras civiles

Antes de iniciar con las obras civiles se verificó que el concesionario cumplía con la presentación de toda la documentación descrita en la Tabla 15 del capítulo anterior, y en la Tabla 16 se mostró todos los controles de seguridad que se deben tener. Asimismo, en este punto se identifica el tipo de terreno, tipo de pavimento y se prepara la zanja típica de acuerdo a la Figura 20.

4.1.3. Identificación de los parámetros críticos en la red de polietileno

En el presente trabajo se estableció criterios de control para la supervisión de los trabajos clasificándolos en: Instalación de la red de polietileno, soldadura de polietileno, pruebas de hermeticidad y gasificación del proyecto.

Donde se concluyó que para la instalación de la red de polietileno se debe respetar las distancias de seguridad de acuerdo al manual de construcción del concesionario, el cual se muestra en la Figura 12.

Para el traslado y tendido de tubería mostrado en la Figura 26 se realizó el cálculo para determinar cuántas personas como mínimo deben de realizar el trabajo por cada 10 metros de tubería, obteniéndose que se requieren mínimo 2 personas por cada 10 metros.

Se presentó figuras con controles de seguridad, donde se verifica mediante inspección visual la tubería de polietileno, a fin de detectar alguna anomalía presente, que se pudo occasionar durante el almacenamiento, traslado o por la manipulación.

Para la soldadura de polietileno por termofusión a tope se concluye que el factor humano es la fuente de falla más recurrente, por lo que debe realizarse por personal calificado y aplicando los criterios mencionados, del mismo modo la supervisión en esta etapa es crítica, ya que se debe cumplir con la temperatura de fusión establecida, las

presiones y tiempos de cada fase del proceso para cada unión por termofusión, lo cual será un proceso de soldadura repetitivo.

Para la soldadura de polietileno por electrofusión se concluye que el factor recurrente de fallas es durante la preparación de la tubería, por lo que debe realizarse por personal calificado y aplicando los criterios mencionados, en esta etapa de preparación se debe centrar la supervisión, verificándose siempre los parámetros de fusión como la energía eléctrica (voltaje y corriente), tiempo de calentamiento y enfriamiento, y registrarlos en una base de datos de manera de ser trazable.

4.1.4. Estimación económica al emplear gas natural

Utilizando el pliego tarifario del concesionario Contugas para la región Ica y mediante el SCOP de OSINERGMIN se pudo estimar el gasto promedio mensual por hogar al utilizar como recurso de energía para la preparación de alimentos el gas natural y el GLP.

Resultando que para una familia promedio de Ica, el costo al utilizar gas natural resulta 28.12 soles mensuales; mientras que utilizando el GLP envasado la misma familia gastaría 54.6 soles por mes, entonces se concluye que el ahorro es de 26.48 soles por mes, el cual resulta bastante significativo y beneficioso para la población del Pueblo Joven Santa Cruz de Villacuri.

4.1.5. Estimación de emisiones de CO₂ por fuente de energía

Utilizando factores de emisión de gases conocidos se obtuvo que:

$$\text{Emisiones de CO}_2_{GN} = 36.55 \left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{mes}} \right)$$

$$\text{Emisiones de CO}_2_{GLP} = 38.48 \left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{mes}} \right)$$

$$\text{Emisiones de CO}_2_{leña} = 463.52 \left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{mes}} \right)$$

Donde se concluye que utilizar el gas natural como fuente de energía para la cocción de alimentos es más amigable con el medio ambiente.

Conclusiones

- La supervisión técnica de la red de distribución de gas natural en polietileno ha demostrado mejorar la calidad de vida de los habitantes del Pueblo Joven Santa Cruz de Villacuri en términos de ahorro y sostenibilidad ambiental.
- Luego del análisis técnico de los parámetros de diseño del gasoducto de polietileno para el suministro de gas natural se encontró que la red de 160 mm de diámetro, de alta densidad (PE-100) y SDR 17 cumple con las condiciones necesarias. La caída de presión de la red es de 0.7614 bar, siendo la máxima caída de presión de 0.98 bar, inferior al límite permitido. Además, la velocidad del gas se mantiene por debajo del umbral de 30 m/s, con un valor de 16.89 m/s. Esto garantiza que la red operará en condiciones seguras, de manera eficiente y sin problemas en el sistema de distribución.
- Con la ejecución de un gasoducto de polietileno para la distribución de gas natural permite un ahorro significativo en costos de energía y una disminución de emisiones de CO₂, en comparación con el GLP, ya que al reemplazar el gas licuado de petróleo envasado se estimó que el ahorro mensual por familia sería de 26.48 soles y se reduce las emisiones mensuales de CO₂ en 1.93 kg CO₂, evidenciándose una mejora económica y medio ambiental.
- Durante los trabajos de instalación, se verificó el cumplimiento de los criterios de almacenamiento, traslado y tendido de tuberías, siguiendo las normativas nacionales vigentes, los manuales de los fabricantes y los procedimientos elaborados por el concesionario. En particular, se aseguró la correcta verificación de las uniones en frío de las tuberías de polietileno. Durante las pruebas de

resistencia y hermeticidad de la red, se constató que la concesionaria cumplió con el tiempo de prueba establecido, sin evidenciar caídas de presión, lo que garantiza la resistencia y hermeticidad de las tuberías a la presión de prueba. En la fase de gasificación del proyecto, se cumplió con los estándares técnicos y de seguridad para unir las tuberías del proyecto con la red existente, y se comprobó que la red quedó libre de aire tras el venteo de gas natural en los dos puntos extremos.

Recomendaciones

- Antes de supervisar los proyectos del sistema de distribución se debe realizar la verificación de los parámetros de diseño con las fichas técnicas elaboradas por el concesionario de modo de garantizar la integridad de la red de acuerdo a la vida útil estimada que son de 50 años.
- Realizar una supervisión eficaz a los procesos de instalación de tuberías, cumpliendo con todos los criterios técnicos y de seguridad mencionados en el presente trabajo. Asimismo, antes de intervenir un proyecto se debe contar con toda la documentación propia del proyecto.
- Realizar una adecuada supervisión a los procesos de soldadura de polietileno tanto por el método de termofusión a tope o electrofusión mediante un accesorio, ya que frecuentemente los puntos débiles o recurrentes de fugas se da en las uniones, por lo que se debe tener mayor atención a estos procedimientos descritos, así mismo se debe contar con personal calificado para estas labores.
- Continuar con la masificación del gas natural en zonas donde no se tiene una red troncal de gas natural, favorece a la población tanta en aspectos medio ambientales y sobre todo económicos.

Referencias bibliográficas

- ASME B31.8. (2022). Gas Transmission and Distribution Piping Systems. ASME, 1(1).
- ASTM D3350. (2008). Standard Specification for Polyethylene Plastics Pipe and Fittings. ASTM, 1(1), 7.
- Cabrera Beltran, M., & Martínez Hernandez, A. Vi. (2017). Diseño de la ampliación de la red de distribución de gas natural en el centro poblado San Antonio De Anapoima. In *Fundación Universidad De América*. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/6451>
- Carranza Soto, A. M. (2022). *Diseño de red de distribución de gas natural de polietileno para abastecer a la zona de Julio Cesar Tello, Lurín.*
- Comision Interdepartamental del Cambio Climatico. (2011). Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). *Canvi Climátic*, 1, 0–66.
file:///D:/INFORMES FINALES TRABAJNDO/AVANZAR/ARCHIVOS
ABRAHAM/PARA REFERENCIAS/110301_Guia practica calcul
emissions_rev_ES.pdf
- Congreso de la República. (2012). Ley N° 29852 “Ley que crea el Sistema de Seguridad Energética en Hidrocarburos y el Fondo de Inclusión Social Energético.” *DIARIO EL PERUANO*, 1(1), 1–3.
- Contugas. (2022). Manuales y Procedimientos de Construcción de Redes Externas de PE. *Contugas*, 1(1), 199.
- Contugas. (2023a). Documento de Fin de Obra - Sector Santa Cruz de Villacuri Malla 00. OSINERGMIN, 1(1), 136.
- Contugas. (2023b). Pliego de Tarifas Máximas de Gas Natural de la Concesion Ica. *Contugas*, 25(04), 2023.
- CONTUGAS. (2023). *Soldadura por termofusión de redes de PE*. 1–7.

D.S.040-EM. (2008). REGLAMENTO DE DISTRIBUCION DE GAS NATURAL POR RED DE DUCTOS, DECRETO SUPREMO N° 040-2008-EM. *DIARIO EL PERUANO*, 1(1), 136.

División de Supervisión Regional de Gas Natural - OSINERGMIN. (n.d.). Supervisión de proyectos – Tipo de terreno DSR Tipo de terreno según Normas E.050 Suelos y cimentaciones. OSINERGMIN.

Extrucol. (2007). *Manual de Instalación Tubería y Accesorios de polietileno para la conducción de gas*. 57.

Extrucol. (2016). Manual de Tuberías y accesorios de polietileno. *Extrucol*, 1(1), 43.

Gomez Pocomucha, J. (2008). Operación De Plantas De Procesamiento De Gas Natural. OSINERGMIN, 1(1), 45–47.

López Moreno, F. (2022). Aspectos Generales de la Industria del Gas Natural y Supervisión de Ductos de Transporte de Gas Natural y Líquidos de Gas Natural. OSINERGMIN, 6–42.

Muñoz Vasquez, W. K. (2023). *Análisis técnico-económico de la implementación del sistema de distribución de gas natural por red de ductos en la región Piura*.

NTP 111.021. (2016). Gas Natural Seco. Distribución de gas natural seco por tuberías de polietileno. *INDECOP*, 1(Lima 27), 66.

OSINERGMIN. (2013). La Industria del Gas Natural en el Perú. Mirando al Bicentenario y perspectivas recientes. OSINERGMIN, 19(75), 256.

OSINERGMIN. (2015). Resolución que aprueba las “Disposiciones para la presentación de información sobre proyectos nuevos , ampliaciones o modificaciones en los sistemas de distribución de gas natural.” *DIARIO EL PERUANO*.

OSINERGMIN. (2020a). *Encuesta Residencial de Consumo y Usos de Energía - ERCUE*

GLP 2019-2020.

OSINERGMIN. (2020b). *Encuesta Residencial de Consumo y Usos de Energía - GN*

ERCUE 2019-2020. 1–17.

https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2665716/ERCUE_Gas_Natural_2019-2020.pdf

OSINERGMIN. (2021). Gas natural en tu hogar. OSINERGMIN, 1(1), 8.

OSINERGMIN. (2023). *Boletín Estadístico - Procesamiento, Producción, Transporte y Consumo de Gas Natural.*

PAVCO. (2017). Manual Técnico Tubosistemas de conducción de gas. PAVCO, 01, 1–7.

Quadri, N. P. (1988). *Instalaciones de Gas.*

Ramos Loayza, D. (2022). *Diseño y análisis de la calidad en la tubería de conexión entre la estación de servicio “La Reserva” y el ducto principal de Calidda.*

Rincón Santillán, J. R. (2015). *Determinación, mediante GC, del contenido de CO₂ y H₂S para el control de calidad del gas natural.*

SCOP. (2023). *Registro de Precios de Establecimiento de Venta al Público y Locales de Venta.* OSINERGMIN.

<https://www.osinergmin.gob.pe/empresas/hidrocarburos/scop/documentos-scop>

Sifuentes Sancho, J. (2011). Instalaciones industriales de Gas Natural. *Universidad Nacional de Ingeniería, 1(1), 63.*

Subsecretaría de Prevención Social. (2017). Guía Técnica Para La Evaluación Y Control De Riesgos Asociados Al Manejo O Manipulación Manual De Carga. GOBIERNO DE CHILE, 63–64.

Anexos

Anexo 1	102
Anexo 2	103
Anexo 3	105
Anexo 4.1. Constancia de originalidad.....	107
Anexo 4.2. Reporte de análisis de originalidad.....	108

Anexo 1

Acta de sustentación

Anexo 2

Autorización para la publicación en Acceso Abierto en el Repositorio institucional de la UNI

Datos del autor

Nombre y Apellidos:

DNI / Carné de extranjería / Pasaporte No:

Correo electrónico:

Teléfono:

Datos del documento:

Modalidad de sustentación:

- Tesis
- Trabajo de suficiencia profesional
- Tesina

	X

Nombre del grado o título:

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Petroquímico

Ejm: para obtener el grado de bachiller en ciencias con mención en física

Nombre del documento:

[Empty box for document name]

Asesor(es):

[Empty box for advisor information]

Facultad:

[Empty box for faculty]

Declaración:

Con la presentación de este documento, el (la) autor (a) confirman la originalidad de la obra y que el contenido redactado es producto de su trabajo. Asimismo, garantiza ser el legítimo, único y exclusivo

titular de todos los derechos de propiedad intelectual. También, acepta que los contenidos entregados se pueden leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna para su posterior registro en el Repositorio Institucional -UNI.

Por lo tanto, Autorizo a la Universidad Nacional de Ingeniería a publicar la obra en el Repositorio Institucional de la UNI avalado por la Ley N° 30035 que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, su Reglamento (DS N° 006-2015-PCM), así como sus modificatorias, sustitutorias y conexas con el propósito de conservar, preservar y dar acceso abierto a estos recursos.

En consecuencia, la Universidad Nacional de Ingeniería tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna en los medios, canales y plataformas que la Universidad, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los contenidos, e incluirlos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover la investigación y el trabajo colaborativo. Autorizo que el documento sea puesto a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartirlgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Firma: _____

Nombre:

DNI / Carné de extranjería / Pasaporte N°:

Domicilio:

____/____/
Fecha

Anexo 3

Hoja de Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y Apellidos	
DNI o Pasaporte	
ORCID	
Datos de asesor	
Nombres y Apellidos	
DNI o pasaporte	
ORCID	
Presidente del jurado 1	
Nombres y Apellidos	
DNI	
Miembro del Jurado 2	
Nombres y Apellidos	
DNI	
Miembro del Jurado 3	
Nombres y Apellidos	
DNI	

Datos de investigación	
Línea de investigación	
Grupo de investigación	
Agencia financiadora	
Ubicación geográfica de la investigación	
Año o rango de años en que se realizó la investigación	
URL de disciplinas OCDE	

Anexo 4.1. Constancia de originalidad

Anexo 5.2. Reporte de análisis de originalidad